

# La ingeniería química

EL PODER DE LA  
TRANSFORMACIÓN

Antonio Valiente Barderas  
2008

<b>Introducción</b>	<b>Página 2</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>Página 7</b>
<i>La industria de procesamiento de materiales</i>	
<b>Capítulo 2</b>	<b>Página 15</b>
<i>Historia de la industria química</i>	
<b>Capítulo 3</b>	<b>Página 29</b>
<i>El ingeniero químico</i>	
<b>Capítulo 4</b>	<b>Página 36</b>
<i>El ingeniero químico y la investigación</i>	
<b>Capítulo 5</b>	<b>Página 44</b>
<i>El ingeniero químico en el diseño y la construcción de plantas</i>	
<b>Capítulo 6</b>	<b>Página 54</b>
<i>El ingeniero químico en la operación y producción</i>	
<b>Capítulo 7</b>	<b>Página 60</b>
<i>El ingeniero químico y las ventas</i>	
<b>Capítulo 8</b>	<b>Página 66</b>
<i>El ingeniero químico y la administración</i>	
<b>Capítulo 9</b>	<b>Página 71</b>
<i>El ingeniero químico en otras áreas de trabajo</i>	
<b>Capítulo 10</b>	<b>Página 78</b>
<i>La enseñanza de la ingeniería química</i>	
<b>Capítulo 11</b>	<b>Página 94</b>
<i>La enseñanza de la ingeniería química en México</i>	
<b>Capítulo 12</b>	<b>Página 102</b>
<i>La ética y el ingeniero químico</i>	
<b>Bibliografía</b>	<b>Página 112</b>

## Introducción

**LA** QUÍMICA es la ciencia que estudia la materia, su estructura, sus cambios y transformaciones, sus relaciones con la energía y las leyes que rigen esos cambios y esas transformaciones. Esta ciencia que empezó a enseñarse formalmente en el siglo XVIII, ha dado origen a numerosas profesiones como las del químico, metalurgista, farmacéutico, ingeniero químico, ingeniero o químico en alimentos, farmacobiólogo, ingeniero o químico ambiental, químico analista, químico nuclear, etcétera.

Cada una de las profesiones antes mencionados tienen un campo específico de acción, aunque todos consideren a la química como la ciencia central. En este libro se da una visión muy amplia de la ingeniería química y la labor profesional de quienes se dedican a ella.

¿Qué es la ingeniería química?

La ingeniería química, tomando palabras del filósofo Manuel García Morente<sup>1</sup>, es algo que el hombre hace, que el hombre ha hecho. Lo primero que debemos intentar, pues, es definir ese “hacer” que llamamos ingeniería. Deberemos por lo menos dar un concepto general de ingeniería y quizás exponer que es lo que es la ingeniería. Pero esto es imposible. Es absolutamente imposible decir de antemano qué es ingeniería. No se puede definir la ingeniería antes de hacerla; como no se puede definir en general ninguna ciencia, ni ninguna disciplina, antes de entrar directamente en el trabajo de hacerla.

Una ciencia, una disciplina, un “hacer” humano cualquiera, recibe su concepto claro, su noción precisa, cuando ya el hombre ha dominado ese hacer. Sólo sabrán ustedes qué es ingeniería cuando realmente sean ingenieros, sin embargo se puede adelantar que ingeniería es lo que van a hacer ahora, juntos, durante los cursos en la universidad. Ingeniería es lo que van a hacer durante toda su vida una vez que terminen sus cursos, se gradúen y trabajen como ingenieros.

¿Qué quiere decir esto? Esto quiere decir que la ingeniería química más que ninguna otra disciplina necesita ser vivida. Necesitamos tener de ella “una vivencia”. La palabra significa lo que tenemos realmente en nuestro ser psíquico; lo que es real y verdaderamente estamos sintiendo, teniendo, en la plenitud de la palabra tener.

Una persona puede estudiar minuciosamente el plano, las descripciones que existen en enciclopedias y las guías turísticas de la ciudad de México; estudiar todo muy bien; notar uno por uno los diferentes nombres de las calles; estudiar sus direcciones; luego puede estudiar los diferentes edificios y monumentos que hay en cada calle, aprenderse historias, anécdotas y comentarios; puede estudiar los planos y fotos de edificios históricos; puede estudiar las fotografías del museo de

---

<sup>1</sup> García Morente, Manuel – Lecciones preliminares de filosofía – Ed. Porrúa – México – 1989.

Antropología y del museo Tamayo y aún viajar por Internet a través de las guías que existen de la Ciudad. Después de haber estudiado los planos, las guías y todos los documentos, fotos y películas o C.D. puede esta persona tener una idea bastante clara, clarísima, detalladísima de la ciudad de México. Esta idea podrá ir perfeccionándose cada vez más, conforme los estudios de este hombre sean cada vez más minuciosos; pero siempre será una mera idea. En cambio veinte minutos de paseo a pie por la ciudad de México, son una vivencia.

Entre veinte minutos de paseo a pie por una calle de México y la más larga y minuciosa colección de fotos, videos y datos hay un abismo. La una es una mera idea, una representación, un concepto, una elaboración intelectual; mientras que la otra es ponerse uno realmente en presencia del objeto, esto es: vivirlo, vivir con él; tenerlo propia y realmente en la vida; no es el concepto que lo sustituya; no el plano, no el esquema que lo sustituya, sino él mismo. En estas páginas y a través de los cursos, lo que vamos a hacer es tratar de dar una guía de la ingeniería. Para vivirla es indispensable entrar en ella como se entra a una selva; entrar en ella y explorarla. En esta primera exploración con la guía en la mano, evidentemente no viviremos la totalidad de ese territorio que se llama Ingeniería Química. Los llevaremos de paseo virtualmente por alguna de sus avenidas; entraremos en algunos de sus parques. Podremos de lo que veamos tener alguna idea, algún esquema, como cuando preparamos un viaje de antemano. Pero vivir, vivir la realidad de la ingeniería, es algo que no podrán hacer más que cuando comiencen a trabajar como ingenieros. Cuando pasen años y sean ustedes viajeros del continente ingenieril, más avezados y más viejos, sus vivencias ingenieriles serán más abundantes, y entonces podrán ustedes tener una idea cada vez más clara, una definición o concepto cada vez más claro de la ingeniería química.

De vez en cuando, en esos viajes, se podrán detener y hacer un balance, hacer un recuento de conjunto de sus experiencias, de las vivencias que hayan tenido; y entonces podrán formular alguna definición general de la ingeniería, basadas en esas auténticas vivencias que hayan tenido hasta entonces. Esa definición entonces tendrá sentido, estará llena de sentido, porque habrá dentro de ella vivencias personales. Una definición de la ingeniería química, antes de haberla vivido, no va a tener quizás mucho sentido para ustedes. Parecerá acaso inteligible en sus términos; estará compuesta de palabras que ofrecen un sentido; pero ese sentido no estará lleno de la vivencia real. No tendrá para ustedes esas resonancias largas de algo que se ha estado viviendo y meditando, sin embargo, nos atrevemos a darles esta definición que es una de las más en boga y que dice:

*La ingeniería química es la profesión en la que el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias naturales adquirido por el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con adecuado*

*criterio para desarrollar métodos económicos para el aprovechamiento de materiales y energía en beneficio de la humanidad.*<sup>2</sup>

Para completar la definición anterior se podría añadir que el ingeniero químico es aquel profesionalista que se encarga de la plantación, diseño, construcción, operación, y administración de las plantas químicas o especialmente de las plantas de procesamiento de materiales.

La ingeniería química es la actualidad una profesión madura, con mas de cien años de existencia, la cual ha dado origen a los conocimientos y procedimientos que se han exportado a otras profesiones y ramas del saber.

La ingeniería química no es una ciencia, es tecnología, o mejor dicho un estudio sistemático de procedimientos para innovar, modificar y fabricar concientemente los productos químicos. Aunque hoy en día se hable del dúo ciencia-tecnología, los alcances y finalidades de una y otra son diferentes. Actualmente los ingenieros químicos se apoyan mucho en la ciencia, pero los problemas que deben solucionar requieren de procedimientos que también se apoyan de la experiencia, el sentido común y de la llamada *heurística* o proceso para resolver problemas que tienen múltiples soluciones.

La tecnología química y en especial la relacionada con el diseño, construcción y operación de plantas químicas, es uno de los *know how* más caros del mundo: entendiéndose por know how, al conjunto de conocimientos técnicos, científicos y administrativos que permiten fabricar y ofrecer bienes y servicios.

La industria química es una industria estratégica al contribuir en forma notable al desarrollo de un país, además de que los productos que de ella emanan son vitales para el funcionamiento de la economía, por ejemplo las gasolinas y sus derivados, los fertilizantes, las medicinas y los productos plásticos.

Por esa razón en casi todos los países del orbe se forman profesionales en las diferentes ramas de la química, entre ellos los ingenieros químicos. Estos no pueden trabajar en forma aislada, sino que requieren de otros profesionalistas, como los químicos que son científicos que generan las nuevas sustancias químicas, o de los ingenieros mecánicos, eléctricos, civiles, petroleros, metalúrgicos y electrónicos, etcétera, quienes laboran con los ingenieros químicos formando el equipo indispensable para la creación de nuevas plantas.

En este libro el lector podrá informarse en cada capítulo de la historia de la ingeniería química, sus alcances, sus problemas, así como de las distintas actividades de los profesionalistas que se dedican a ella; además

---

<sup>2</sup> T.K. Derry y T.1. Williams, Historia de la tecnología, Siglo XXI Editores, México, 1977.

se incluyen varios capítulos sobre la enseñanza, la evolución de la misma y el futuro de la carrera.

# Capítulo 1

## La industria de procesamiento de materiales

**LAS** sociedades industriales modernas son el resultado de la gran revolución industrial que comenzó en Inglaterra en el siglo XVII y que transformó para siempre los métodos de producción empleados por el hombre.

Antes de esa época la economía de las naciones se basaba principalmente en una agricultura primitiva. Los productos que el incipiente comercio distribuía se elaboraban a mano o por medio de máquinas muy rudimentarias. La energía empleada era la que los propios hombres o las bestias aportaban. En ciertos casos se utilizaba el viento o el agua para mover maquinarias: barcos, molinos, norias, etcétera.

Durante la Revolución Industrial se inventaron las primeras máquinas movidas por vapor; su uso transformó la manera de producir las cosas.

Esas maquinarias se acoplaron a todo tipo de aparatos, que de esa manera aumentaron notablemente la productividad ( los bienes producidos por personas). Las máquinas de vapor ( que era generado por la combustión del carbón, que hacía hervir el agua) se utilizaron para mover telares y locomotoras, barcos, prensas, tornos, etcétera.

La producción dejó de ser artesanal y empezó la producción en serie y masiva. Los productos se abarataron y se mejoró el nivel de vida de la humanidad.

Posteriormente, el descubrimiento de la electricidad y sus usos hicieron que esa energía se incorporara a la industria. La electricidad se generaba también por medio del vapor, y en algunos casos se aprovechaban las caídas de agua. La electricidad hizo posible el uso de motores más pequeños y seguros para mover máquinas, que cada vez se diversificaban más; abrió el camino a la telegrafía, el teléfono, la iluminación artificial, los rayos X, etcétera. En este siglo, la creciente sed de energía se ha satisfecho con el uso del petróleo, que ha reemplazado al carbón. Con el petróleo está asociado el uso de los motores de combustión interna, que llevaron a la creación del automóvil y el avión.

Al tener mejores medios de transporte, las ciudades crecieron, las carreteras enlazaron hasta los rincones más apartados del país, abriendo nuevos mercados y posibilidades de vida a esas poblaciones aisladas.

La sociedad moderna se diferencia de las que la precedieron por la gran cantidad de artículos y productos que genera y el gran consumo *per capita* que se hace de ellos. Muchos de los productos que hoy usamos con tanta familiaridad no existían a principios de siglo y cada día aparecen en el mercado más productos, aparatos o sustancias nuevas.

La sed de novedades parece insaciable, la gente exige mayores comodidades, mejores casas, escuelas, ropas, diversiones, alimentos, medicinas, etcétera.

Las máquinas y las técnicas empleadas son cada vez más eficientes, la productividad va en aumento y la gente tiene más tiempo y dinero para comprar los satisfactores que desea. Hoy, en casi todos los países desarrollados, la industria es la actividad más importante del país. Los economistas para estudiar la generación de riqueza de un país, han dividido la actividad económica en tres sectores: el primario, el secundario y el terciario.

Se da el nombre de *sector primario* a todas aquellas actividades relacionadas con la extracción de los bienes que nos ofrece la tierra, como por ejemplo la agricultura, la ganadería, la pesca, la minería, la extracción de petróleo, etcétera.

El *sector secundario* agrupa todas aquellas actividades que de alguna forma procesan o transforman los productos primarios de la tierra, como lo hace la industria automotriz, la industria de la construcción, la industria química, la eléctrica, etcétera.

El *sector terciario*, por último, agrupa las actividades relacionadas con los servicios que se ofrecen al público en general, como el comercio, la banca y los transportes, las comunicaciones y la educación.

Refrendamos que la actualidad, los países más desarrollados son aquellos que tienen un sector secundario más importante que los demás. Esto no indica que los otros sectores no sean importantes, al contrario,

son necesarios para un desarrollo armonioso, pero es el sector secundario con todos sus bienes generados el que hace posible que se tenga agricultura o un comercio bien desarrollado y moderno.

La industria química forma parte del sector secundario y también de la llamada *industria de procesamiento de materiales*.

En el sector secundario se pueden distinguir tres grandes grupos industriales:

1. La industria de la transformación.
2. La industria de la construcción.
3. La industria de procesamiento de materiales.

En la *industria la transformación* se produce el cambio de la forma de materiales procedentes de otras industrias.

Las sustancias no sufren ninguna modificación química, sino cambios de forma y posición. Para ello se emplean diversos aparatos llamadas *máquinas-herramientas* que son capaces de producir artículos para el consumo final, o máquinas para usarse en otras industrias.

En esta industria el acero en lingotes se transforma en placas, en cables, en automóviles, en relojes; el polietileno se transforma en juguetes, en utensilios de cocina y en bolsos; las fibras textiles pasan a ser telas, alfombras y cortinas; los materiales conductores se convierten en radios, teléfonos y aparatos de televisión, todo basándose en máquinas y sin reacciones químicas, o con algunas pocas que se utilizan para mejorar el acabado o las propiedades superficiales de los productos que se van a vender al consumidor final.

En la *industria de la construcción* el problema es similar al de la industria de la transformación, pero los objetos producidos son de mayor tamaño y suelen estar fijos en un lugar.

En la industria de la construcción los ladrillos, cementos y varillas se transforman en casas y edificios. La industria de la construcción fabrica obras de infraestructura muy necesarios para el desarrollo de un país; por ejemplo, presas, carreteras, puentes, puertos, escuelas, casas, etcétera.

Por último, *la industria de procesamiento de materiales* recibe *materias primas* que provienen directamente de la naturaleza y las transforma, ya sea en productos para consumo directo de los seres humanos o bien en las materias primas que consumen otras industrias de transformación, de construcción o de proceso.

Es decir, a partir de carbón, minerales, petróleo, leche, carne, madera, caña, etcétera, produce artículos como: azúcar, aceite, jabones, quesos, mantequillas, gasolinas, acero, cemento, plásticos, vidrio, pigmentos, papel y muchos otros.

Existen, también las interrelaciones de la industria de procesamiento de materiales con otras industrias y sectores. ( Véase figura 1)

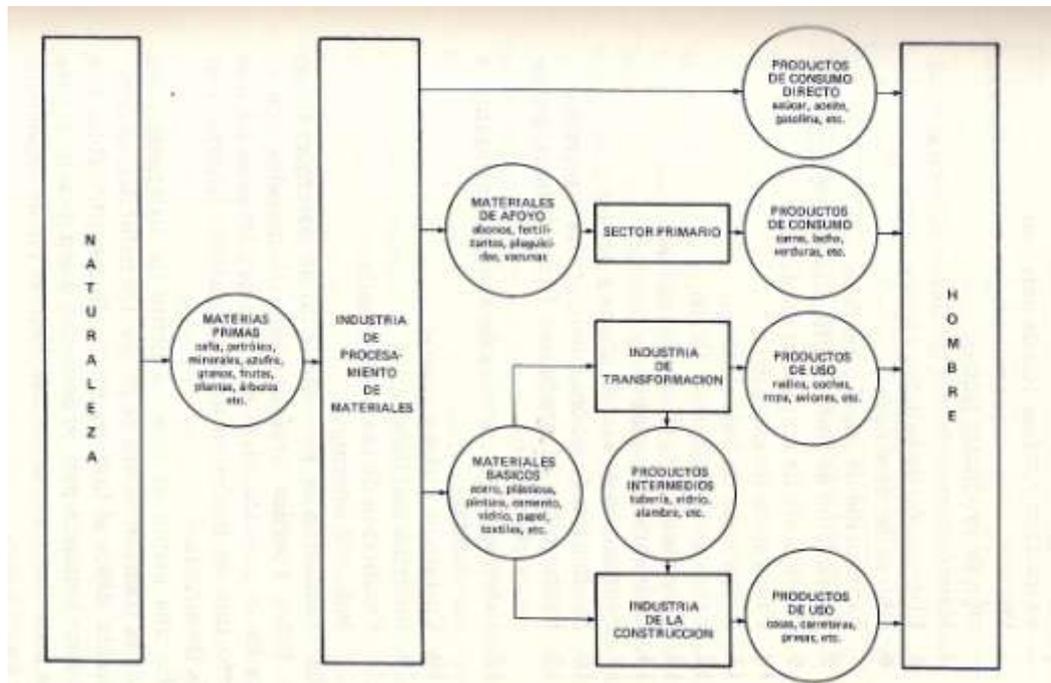


Figura 1. Interrelaciones de la industria de procesamiento de materiales

En la industria de procesamiento de materiales, las sustancias pueden sufrir un cambio en su estructura química o en su concentración.

Para que se tenga una idea más clara de la importancia de esta industria damos a continuación una lista de grupos industriales que se consideran dentro de esa clasificación. Esta lista no pretende ser exhaustiva, sino que presenta algunas de las industrias más típicas.

- Productos minerales no metálicos
- Extracción y refinación de petróleo
- Preparación y conservación de carnes
- Elaboración de productos lácteos
- Manufactura de productos alimenticios en general
- Elaboración de bebidas, vinos y licores
- Obtención de azúcar
- Fabricación de papel y celulosa.
- Fabricación de fibras artificiales y sintéticas
- Fabricación de materiales plásticos
- Fabricación de explosivos
- Fabricación de hule sintético
- Fabricación de cloro y álcalis
- Fabricación de película fotográfica
- Elaboración de pinturas y barnices
- Fabricación de ácidos, grasas y aceites
- Producción de jabones, detergentes y glicerina

- Fabricación de productos farmacéuticos, perfumes y cosméticos
- Fabricación de mezclas de abonos, fertilizantes o insecticidas
- Curtido de pieles y cueros
- Industria metálica básica
- Producción de gases industriales
- Industria siderúrgica

En la industria de procesamiento de materiales trabajan todos aquellos profesionistas relacionados con el área de la química; claro está que hay áreas en las que cierto tipo de profesional de la química laborará con más frecuencia.

En una planta de procesamiento de materiales tiene lugar la transformación de productos naturales no directamente útiles al hombre en productos utilizables por los seres humanos para su consumo o uso directo, o para una posterior transformación. Esto se puede esquematizar como sigue:

En una planta de proceso de materiales, generalmente el aspecto fundamental es una reacción química; ahora bien, los reactivos que se introducen a un reactor y los productos que de él salen, requieren de una serie de pasos o maniobras previos o posteriores necesarios para que los reactivos lleguen con la pureza, concentración y temperatura deseados para que los productos obtenidos sean adecuados para su venta.

Por esta razón, en cualquier planta de proceso de materiales, paralelamente a las reacciones químicas (*proceso unitario*) se verifican muchos y diferentes procesos físicos y mecánicos, como son: calentamiento y enfriamiento de materiales, transporte de fluidos, vaporización, cristalización, secado, destilación, mezclado, disminución de tamaño y clasificación de materiales, etcétera. Todas estas operaciones son secundarias respecto a la tarea principal, que consiste en crear las condiciones óptimas para el desarrollo de las reacciones químicas, pero en algunos casos llegan a ser tan o más importantes que la reacción.

El estudio de tales operaciones se engloba bajo el nombre de *operaciones unitarias*, o bien operaciones unidad. Hay muchas industrias de proceso de materiales en las que no hay reacciones químicas, o éstas son de mínima importancia en comparación con los procesos físicos que se llevan a cabo. El objeto del estudio de esas *operaciones unitarias* es determinar el tamaño del equipo necesario y las condiciones de operación óptimas para calentar o enfriar un reactivo o un producto, para separar un producto de una mezcla o para formar una mezcla, para enviar un producto de un lugar de la planta a otro, etcétera. Son muchas las ocasiones en que el costo del producto se ve influido de manera importante por la organización de estas *operaciones unitarias*.

Un ejemplo de esto sería el siguiente: en la producción de  $H_2SO_4$  el principal problema no es el de la reacción química, sino el aprovechamiento del calor generado en el proceso.

En las plantas modernas reviste gran importancia la existencia de instrumentos de control, regulación y mando automático, también necesarios para la organización del trabajo y la dirección de los procesos en cada sección o en toda la planta. En este aspecto, el desarrollo de la electrónica ha sido un gran apoyo para la industria de procesamiento de materiales.

La planta de procesamiento de materiales produce una gran variedad de productos, que se pueden clasificar de la siguiente manera :

- Productos de consumo directo
  - Materiales de apoyo al sector primario
  - Materiales básicos
  - Materias primas

Los *productos de consumo directo* llegan sin intermediarios al hombre y pueden ser alimentos o de otro tipo. Los alimentos pueden ser azúcar, bebidas (alcohólicas y no alcohólicas), almidón, aceite, café soluble, etcétera. Entre los productos de consumo directo que no son alimento se encuentran: gasolina, aceite, medicinas, detergentes, vacunas y cosméticos.

Entre los *materiales de apoyo* al sector primario se tienen principalmente: fertilizantes, pesticidas, herbicidas, alimentos para ganado y vacunas.

Los *materiales básicos* son materias primas para las industrias de transformación y para la de la construcción. Principalmente se tienen: acero, plástico, cemento, fibras textiles, papel y vidrio.



Fig. 2. Esquema de funcionamiento de una planta de procesamiento de materiales.

La industria de procesamiento de materiales se puede dividir en varios grandes subgrupos.

- Industria química.
- Industria farmacéutica.
- Industria alimentaria.
- Industria siderúrgica y metálica básica

La *industria siderúrgica y metálica básica* se centra en los procesos para la transformación de los minerales en metales útiles para el hombre. Desde luego, el hierro es el metal más empleado en la actualidad, pero hay cierto número de otros metales, como el cobre, el aluminio, el plomo y el estaño, sin los cuales no sería posible la civilización moderna. En este tipo de industrias el profesional más frecuente es el químico metalurgista, el ingeniero metalúrgico o el ingeniero químico metalurgista.

La *industria farmacéutica* está relacionada con la preparación y obtención de los medicamentos, ya sea a partir de productos naturales o a partir de síntesis. Su importancia es *vital* para el desarrollo de una comunidad sana. El profesional típico en esta industria es el químico farmacéutico y el químico biólogo y parasitólogo.

La *industria alimentaria* está relacionada con la transformación de los productos básicos del campo en productos más elaborados o más perdurables. Son ejemplo de estas industrias las enlatadoras, las fábricas de productos lácteos, las embotelladoras de refrescos, la industria vitivinícola, las empacadoras de carnes y embutidos y los ingenieros azucareros.

En estas industrias se encuentran químicos farmacéuticos biólogos, ingenieros bioquímicos, ingenieros bromatólogos, químicos en alimentos e ingenieros químicos.

Por último, la *industria química* propiamente dicha está dedicada a la fabricación de productos químicos como fertilizantes, azúcar, ácidos, plásticos, gasolina, pigmentos y pinturas, hule, jabones, explosivos y papel. Muchas de las sustancias químicas no se venden directamente al público, sino que son utilizadas por otras industrias, ya sean de proceso, de transformación, de construcción o en el sector primario.

Las sustancias químicas descubiertas hasta la fecha son innumerables, pero sólo una pequeña fracción de ellas se ha industrializado.

Los profesionistas que con más frecuencia laboran en la industria química son los ingenieros químicos y los químicos.

Los primeros están encargados del diseño y manejo de las plantas, mientras que los segundos se dedican a la investigación de nuevas sustancias y al control y análisis de los materiales procesados.



Fig.3.- La instrumentación y el control de proceso es básico en la industria de procesamiento de materiales.

# Capítulo 2

## Historia de la industria química

**EL** primer proceso químico usado por el hombre fue la combustión. El fuego proporcionó al hombre calor, luz y más tarde el medio para cocinar sus alimentos, primero asándolos, ahumándolos y muy posteriormente cociéndolos.

El fuego fue también la clave para el descubrimiento y utilización de la cerámica y después para la obtención de metales y el vidrio.

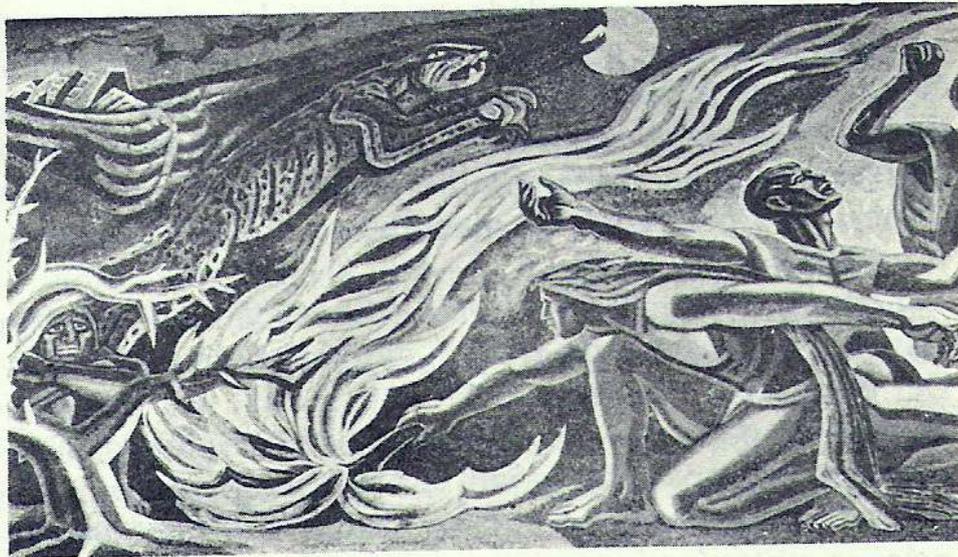


Fig. 4. Uno de los más grandes progresos culturales se produjo cuando un ser humano audaz, en vez de huir, recogió un tizón llameante y lo examinó con reverencia.

El hombre utilizó el fuego para ahumar los alimentos y así preservarlos y conservarlos para un periodo de escasez, pero también utilizó otros métodos, como el secado de la carne y otros alimentos al sol y la salazón de los mismos, para lo cual obtuvo sal por evaporación solar. Relacionado con la preservación de los artículos orgánicos

necesarios para el hombre está el curtido de cuero y la conservación de pieles, que ya se efectuaba desde tiempo muy remotos utilizando alumbre y taninos.

También casi tan antigua como la humanidad es la preparación de pinturas y pigmentos con los que se coloreaban el cuerpo, se pintaban las cuevas y se teñían las pieles y otros artefactos.

A partir del desarrollo de la agricultura y la ganadería y el asentamiento del hombre en pequeñas colectividades, que posteriormente darían principio a las grandes ciudades - estado, los procesos químicos siguieron mejorando y aumentando en importancia.

La convivencia con los animales domésticos llevó al hombre a una serie de innovaciones en el uso de sus productos (carne, leche, lana, cueros, pieles, huesos, cuernos, etcétera.). Estas fueron, entre otras, el teñido de telas de lana, la confección de quesos, mantequillas, yoghurt y grasas animales, la fabricación de cola (a base de huesos de animales), etcétera.

Con la vida en las ciudades se mejoró la cerámica, que en un principio se usó para guardar granos y luego, con el invento de recipiente resistentes al calor, para cocer a fuego lento cereales. Con la cerámica nació la práctica perfeccionista en el manejo de fuego basándose en hornos y dispositivos para elevar y mantener el fuego a temperaturas altas.

Los primeros imperios florecieron cercanos al Mediterráneo, en áreas donde crecían nativos el olivo y la viña. Del primero se obtenía aceite, con el cual se cocinaban alimentos, pero con él se alimentaban también las lámparas de la época. De la vid se obtenía el vino por fermentación. Además, si el vino se dejaba fermentar aún más, se obtenía vinagre que, aparte de su uso culinario era el ácido más fuerte de que se disponía.

La decoración de las casas de los ricos en los antiguos imperios, era una práctica común que exigía el uso de buenos pigmentos, entre ellos el negro de humo, rojo de óxido de hierro, el amarillo de sulfuro de arsénico, el verde de malaquita, etcétera. Las paredes se empezaron a cubrir con yeso desde el año 2 500 a.C., el cual se producía junto con la cal viva calcinando la piedra caliza o el yeso.

De la misma forma como las casas se embellecían, también lo hacían las personas; para ello usaban pinturas y ungüentos aromáticos, y ropas teñidas con añil (azul) o rubio (rojo), la gualda (amarillo) o la púrpura reservada para la realeza.

El descubrimiento de la tecnología adecuada para producir hierro ( 1 000 a.C.) provocó una revolución en el mundo, que causó la caída y el posterior auge de muchos pueblos. El hierro contribuyó notablemente al progreso tanto de las artes marciales como de las pacíficas, pues se usó para armas, así como para hachas, picos, tijeras, arados y sierras.

En la Edad del Hierro la escritura, ya en forma alfabética, pudo difundirse gracias al empleo del papiro y los pergaminos, que requerían del empleo de tintas.

Entre los pueblos de la antigüedad que se distinguieron por sus avances tecnológicos están los egipcios, los sumerios, los babilonios y los persas. Estos pueblos supieron hacer un buen uso de metales como el oro, la plata, el cobre, el bronce, el hierro y el plomo.

Fabricaban tintas y pinturas, ungüentos y medicinas e iniciaron las industrias de las bebidas fermentadas al producir vino y cerveza, y crearon una magnífica cerámica.

Todos estas técnicas fueron asimiladas por el pueblo griego, el cual, además de perfeccionarlas, las extendió por todo el mundo entonces conocido mediante las campañas de Alejandro Magno.



En Grecia, además, por primera vez se trató de encontrar la esencia de las cosas. Gran número de pensadores llamados filósofos (amantes de la sabiduría) se dio a la tarea de explicar el porqué de las cosas, evitando las explicaciones de tipo religioso.

Así, en la antigua Grecia se dieron dos teorías que trataban de explicar la esencia de la materia; una, la atomista defendida por Demócrito, y la otra de los cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua, de Aristóteles. La teoría de Aristóteles prevaleció, pues se adaptaba más a las creencias egipcias, chinas y persas que impulsaban a la alquimia. Los seguidores de esta doctrina indicaban que todas las cosas están formadas por uno o más de los elementos, fuego, aire, tierra y agua.

Para combatir las objeciones que ocasionalmente surgieron ante la idea de los cuatro elementos, algunos de los antiguos filósofos y sus continuadores dotaron a cada uno de ellos con un par de cualidades opuestas: caliente y seco, frío y húmedo. El fuego era caliente y seco, la tierra fría y seca, el agua fría y húmeda y el aire caliente y húmedo. Posteriormente se introdujeron tres principios de la materia: la sal, el azufre, y el mercurio.

Hacia el siglo I a.C. hace su aparición la que después se llamaría *alquimia*, que es el conjunto de preparaciones y manipulaciones mezclados con especulaciones filosóficas y religiosas de fondo místico. Los investigadores de los primeros siglos de nuestra era fueron atraídos al campo de la experimentación por tecnologías que usaban dispositivos como el baño María, para preparar y obtener perfumes por la digestión y maceración de flores y especias con aceites y grasas. Con aparatos rudimentarios hicieron estudios de procesos de fusión, sublimación y destilación.

Las principales escuelas de investigación se desarrollaron en Egipto y Bizancio, en las cuales los árabes encontraron las bases para desarrollar posteriormente lo que ellos bautizaron como alquimia. Los alquimistas pretendían obtener oro a partir de otros metales usando una sustancia especial (la piedra filosofar) y también obtener un agua milagrosa (el elixir de la vida) que curaría todos los males. Es por demás decir que no tuvieron éxito; sin embargo, debido a sus empeños estudiaron muchos minerales y descubrieron gran número de sustancias, como los ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico. Los alquimistas de esa época mejoraron también algunos procesos, como la disolución, cristalización, secado, destilación y evaporación.

Hay que indicar que sus matraces, pipetas y alambiques eran de cerámica, pues el vidrio no se introdujo sino tardíamente al laboratorio químico. El laboratorio medieval de un alquimista se parecía más a la fragua del herrero que a un laboratorio moderno, estaba lleno de humos pestilentes y a menudo se producían fatales accidentes.

De los árabes, la alquimia pasa a la Europa medieval; junto con ella los árabes llevaron los inventos del papel y la pólvora, que ellos habían tomado de los chinos. Además, se introdujo la caña de azúcar y con ella se crearon los primeros ingenios o fábricas dedicados a obtener azúcar. Al principio se mezclaba el jugo con leche y se decantaba la mezcla, con lo cual las impurezas quedaban en la leche como sedimento, pero en el siglo XI los egipcios descubrieron que el jugo podía tratarse más eficazmente y con mayor rendimiento haciendo uso de ceniza y cal, después de la filtración. La mayor parte del azúcar se obtenía mediante evaporación y cristalización.

Una reacción química producto de la alquimia y que cambió al mundo de su época fue la combustión de la pólvora; con ella se puede decir que acabó el feudalismo y se crearon las grandes naciones modernas.

Durante la Edad Media se establecieron nuevas industrias químicas, entre ellas la de la fabricación de vidrio común y coloreado, la destilación del aguardiente y la destilación de esencia de rosas (que dio nacimiento a la importante industria de los perfumes vegetales y minerales), y la fabricación de jabón y de nuevos pigmentos vegetales y minerales.

El Renacimiento marco un impulso a la metalurgia y esto llevó a la necesidad de la manufactura de ácidos y otras sustancias para la separación de los metales. En la misma época, Paracelso impulsó la *iatroquímica* logrando con ello el estudio de las posibilidades terapéuticas de las sustancias, entre ellas la del sulfato de sodio o sal de Glauber. Las medicinas, que en la primera parte de la Edad Media no eran en general, más que medicamentos en forma de polvos y jarabes, fueron reemplazadas por tinturas, es decir, disoluciones o destilados de la droga o específico en alcohol.

Hace unos 300 años, el científico alemán Becher lanzó la teoría de que todas las sustancias combustibles contenían *flogisto* o sustancia del fuego. Afirmaba que cuando una sustancia se quema el flogisto la abandona en forma de llama y creía que la ceniza que queda después de la combustión era dicha sustancia menos el flogisto. De acuerdo con esta teoría, las sustancias de fácil combustión (como el alcohol) contienen alta proporción de flogisto y por lo tanto dejan poco o ningún residuo de cenizas. Por el contrario, las sustancias que se queman con dificultad (como el estaño) contenían poco flogisto y alta proporción de cenizas.

La teoría del flogisto fue el primer gran intento teórico de la ciencia química y el que llevó al descubrimiento del oxígeno, nitrógeno e hidrógeno.

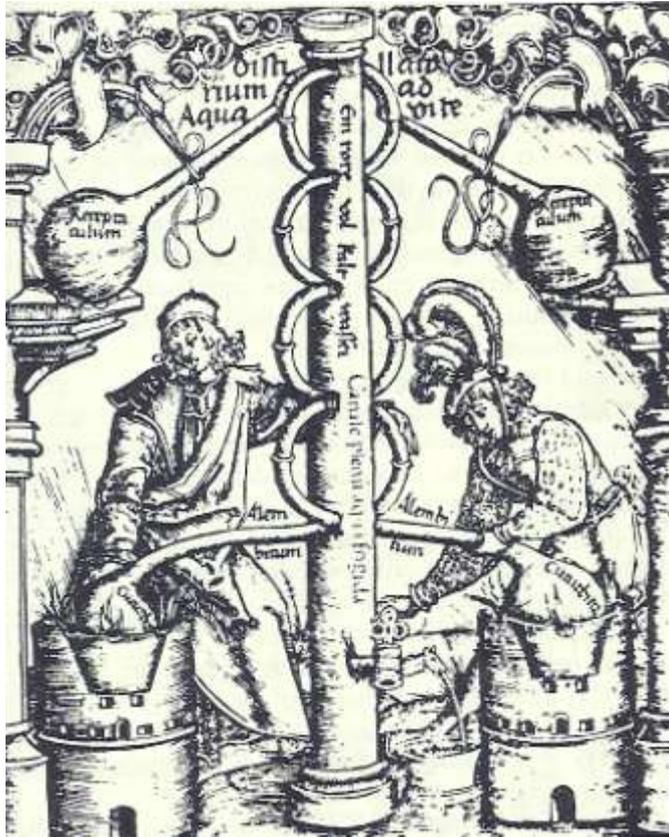


Figura 6. La destilación es una de las operaciones unitarias más antiguas.

Por esa época ya existían muchas industrias químicas que producían desde jabón hasta vidrio, pólvora, azúcar, sales y pigmentos. Lo curioso es que esas industrias se habían desarrollado sin la ayuda de alquimistas o químicos. Por ejemplo, en los ingenios azucareros de Latinoamérica, no existía ninguna persona a quien pudiera llamársele químico, aunque existían los capataces o encargados del ingenio, a quienes pudiéramos llamar los *Ingenieros químicos* de la época.

Para que la química surgiera como una ciencia respetable y que ésta se aliara con las técnicas, se necesitó que surgiera la *Revolución Industrial*. Se llamó Revolución Industrial al progreso experimentado por la técnica y la industria en Inglaterra durante el siglo XVIII y que luego se propagó a Europa y de allí al mundo entero. En esa época en algunas universidades inglesas se empezaron a dar cursos de ciencia aplicada, como el de química. Ese siglo vio también sentadas las bases de la química con las investigaciones de Boyle, Scheele, Priestley, Black, Cavendish y Lavoisier, quienes al investigar la naturaleza de las sustancias químicas descubrieron muchas otras y sentaron los bases de la química moderna con la *ley de la conservación de la materia*.

A principios del siglo XIX la teoría atómica de Dalton y la notación química de Berzelius impulsaron definitivamente el estudio científico de la química, hecho que tuvo inmenso impacto en la industria química.

Bajo el signo de la Revolución Industrial la tecnología química se caracterizará, aunque no de inmediato, por la producción en masa de gran número de productos, algunos conocidos, pero en su mayor parte nuevos, y en el consiguiente desarrollo de la gran industria química.

A comienzos del siglo XVIII esa industria estaba limitada a la fabricación de sal, salitre, vitriolos, sulfato de zinc, compuestos de mercurio, colorantes, jabón, papel, etcétera. El desarrollo de las máquinas de vapor y su aplicación a la extracción de carbón y al movimiento de telares planteó la necesidad de revisar los procesos de blanqueo, estampado y teñido de telas.

En el proceso que condujo a la actual gran industria de los ácidos y los álcalis, la primera etapa comprende, a mediados del siglo XVIII, el perfeccionamiento en la fabricación del ácido sulfúrico mediante el empleo de las cámaras de plomo, metal inatacable por el ácido; en el siglo siguiente aparecen las torres de Gay Lussac (1835) y Glover (1859), que permiten recuperar los productos nitrosos que antes escapaban a la atmósfera.

Posteriormente se inventó el método de contacto catalítico que, aunque patentado a mediados del siglo XIX, no se aplicó industrialmente sino hasta fines del siglo, desplazando así al método de las cámaras de plomo, (un catalizador es una sustancia que acelera o retarda una reacción química). A partir de entonces son muchísimos los procesos químicos que usan catalizadores.



Figura 7 En las refinerías de PEMEX se emplean catalizadores para el hidrotratamiento de las fracciones del petróleo.

La importancia industrial del ácido sulfúrico se inició con la fabricación de carbonato de sodio artificial, necesario para la industria del jabón, del vidrio y textil.

Las guerras napoleónicas y el bloqueo comercial que supusieron, plantearon a muchos países europeos la necesidad de fabricar sus propios productos a partir de sustancias o plantas propias. Ejemplo de ello es el proceso ideado por Leblanc publicado en 1794, proceso que en sus comienzos utilizó ácido sulfúrico. A la mitad del siglo pasado ese proceso fue desplazado por el de Solvay, que aparece en 1863. Además del carbonato de sodio, otro álcali importante es la sosa cáustica, que desde fines del siglo pasado se ha industrializado mediante un proceso electrolítico.

La fabricación industrial del ácido clorhídrico, producto vinculado con el proceso Leblanc, se hizo necesario cuando a fines del siglo XVIII se reconocieron las propiedades blanqueadoras del cloro, elemento que se había descubierto entonces y que podía obtenerse a partir del ácido clorhídrico, obtención que luego se lleva a cabo por procesos electrolíticos (procesos en los que se logran reacciones químicas pasando corriente eléctrica).

Entrando en el siglo XIX, el descubrimiento de la ley *periódica de los elementos* (Mendeleev) y la síntesis de la urea (Wohler 1826), primer

compuesto orgánico sintetizado por el hombre, y los experimentos de Faraday sobre electroquímica fueron imprescindibles para el desarrollo de la química y la industria.

A partir de ese momento se sintetizaron miles de sustancias, entre las cuales sólo algunas se encuentran en la naturaleza y el resto son completamente nuevas.

Uno de los primeros productos sintéticos creados por el químico orgánico fue el ácido acetilsalicílico, base de la *aspirina* y descubierto en 1899 por Felix Hoffman; a partir de él se desarrolló la gran industria farmacéutica moderna.

A fines del siglo XVIII asoma una nueva aplicación de la química al advertirse que en la obtención del coque y en general en la destilación de la madera o de la hulla, se desprenden gases inflamables, propiedad que podía utilizarse para lograr un producto fuente de luz y calor. Así nació el gas de alumbrado, cuyas primeras exhibiciones públicas se hicieron en Francia e Inglaterra en 1802.

Durante el siglo XIX la industria del gas de alumbrado experimentó diversas mejoras, como la purificación y refinación del producto, la supresión del mal olor y la introducción de medidas de seguridad y en especial modificaciones de los quemadores, hasta llegar a la mecha incandescente, de manera que a fines del siglo el gas de alumbrado pudo aprovecharse con eficiencia, y su uso se extendió a la cocina y a los motores de gas.

Otro producto de la destilación de la hulla fue el alquitrán, que empieza a producirse en 1830; actualmente se conocen varios miles de compuestos derivados del alquitrán, entre ellos el benceno y el tolueno, que dieron lugar a una gran industria: la de los colorantes artificiales que nace en los laboratorios de química en 1856, con Perkin, quien industrializa el colorante malva, obtenido en el laboratorio. La gran industria de colorantes pasa de Inglaterra a Francia y de allí a Alemania, en donde alcanza su perfeccionamiento.

Otra importante industria química actual es la del caucho. El hule, que era conocido por los indios americanos, adquirió importancia comercial con la vulcanización, que logró Goodyear en 1839 y gran difusión cuando Dunlop, en 1889, inventó los neumáticos. No es sino hasta 1931 cuando se lanza al mercado el primer caucho sintético. De 1840 data el primer uso de los anestésicos (éter y cloroformo), que vinieron a ser importantísimos en cirugía.

Otra gran industria que nace en los laboratorios es la de los explosivos modernos. En 1846 se inventó el algodón pólvora o nitrocelulosa, al año siguiente la nitroglicerina, producto que mezclado con tierra de infusorios da lugar a la dinamita de Nobel en 1866 y luego a la gelatina explosiva y a la pólvora sin humo.

Con la nitrocelulosa se vincula un producto, el celuloide, patentado en 1870 y con el cual nace la industria de los plásticos. Pero el primer plástico sintético es del siglo XX: la bakelita, inventada en 1906 por

Baekeland, que abre la muy numerosa y variada gama de plásticos actuales. En 1923 aparecen los plásticos derivados de la urea, y en 1935 los que se obtienen partiendo del gas natural o de los productos del craqueo del petróleo.

Los experimentos de Liebig sobre la alimentación de los vegetales fundaron la moderna química agrícola, y con ella la importación y el uso de compuestos de nitrógeno precedentes en su mayoría de excrementos de aves, principalmente nitrato de sodio.

En 1905 se empezó a fabricar amoníaco sintético utilizando el método de Haber, con él se comenzaron las síntesis a altas presiones (1 00 atm). El amoníaco puede posteriormente transformarse en ácido nítrico y de allí en todo tipo de compuestos nitrogenados; éstos, en combinación con derivados del fósforo y el potasio, son la base de los fertilizantes modernos, tan importantes en la agricultura.

Junto con la fabricación de fertilizantes la industria química moderna produce insecticidas como el DDT, herbicidas como el sulfanato de amonio y fungicidas y hormonas que contribuyen al aumento de las cosechas.

Relacionado con los procesos a altas presiones está la industria criogénica o de los procesos del frío, mediante los cuales logró producirse industrialmente gases licuados como el oxígeno, el bióxido de carbono, el amoníaco, el nitrógeno, el helio y el neón, algunos de los cuales se usan en refrigeración y conservación de alimentos, y alumbrado público.

Falta aún mencionar la petroquímica, que tuvo sus orígenes en los trabajos de laboratorio sobre la destilación fraccionada, y en el comienzo de la perforación de pozos petroleros en 1859. En el siglo XIX, la industria se redujo a la explotación del petróleo crudo y de algunos de sus derivados; en el siglo XX, los productos del *craqueo* y el gas natural han permitido la producción de gran número de compuestos que proporcionan materiales para la obtención del caucho sintético, plásticos, detergentes y productos para la agricultura.

En 1935, Carothers sintetizó el nylon, una de las fibras sintéticas que más impacto causó en el mercado de las prendas femeninas; luego se obtuvieron el orlón y el dacrón, el sarán y otras fibras, así como telas que han transformado la forma de vestir de la humanidad. Todas esas sustancias son polímeros, es decir, una molécula compleja formado por repetición de una más simple.

El primer plástico que fue sintetizado por John Hyatt en 1868 es el celuloide; le siguieron la baquelita de Baekeland en 1909 y los derivados de la urea (1916), los acrílicos, el polietileno, (1933) el policloruro de vinilo o PVC, los poliestirenos, el teflón, etcétera, y por último los silicones, que tienen la característica de ser polímeros del silicio.

No fue sino hasta los trabajos de Pasteur (1860) cuando se pudo pensar en el manejo y producción científica de los alimentos, lo cual se vio reflejado en la conservación de leche y sus derivados, en la

fabricación de mejores cervezas y vinos, las conservas y enlatados, etcétera.

La industria química durante el siglo XIX se vio en la necesidad de emplear químicos para el control y la investigación de los procesos; estos químicos industriales eran generalmente especialistas en un proceso particular. La construcción y diseño de los aparatos usados en la industria se ponían en manos de los ingenieros mecánicos y civiles.

Pero hacia fines del siglo se advirtió la necesidad cada vez más imperiosa de contar con ingenieros que supieran química y que pudieran dedicarse a la cada vez más apremiante tarea de diseñar plantas químicas más eficientes para sustancias que nunca antes habían sido producidas comercialmente. Fue así como, en 1887, E. Davis, en Manchester, propuso en una serie de conferencias la creación de una carrera especial. Davis escribió un libro sobre los conocimientos de ingeniería química que existían en esa época.

Después de los cursos de Davis la idea pasó a Estados Unidos, en donde en 1888 se impartieron cursos sobre ingeniería química organizados por Lewis M. Norton, profesor de química industrial. Los primeros planes de estudio que se establecieron hacían hincapié en el estudio profundo de la química y la física, reforzado por cursos de ingeniería mecánica y cursos descriptivos de los equipos industriales y procesos industriales más importantes.

Tan pronto como los egresados empezaron a entrar en funciones, se dieron cuenta de lo inoperante de su formación. Los cursos que recibían eran descriptivos y al llegar a sus trabajos estaban obligados a hacer ingeniería. Necesitaban saber cómo diseñar equipos, cómo determinar el tamaño de una nueva planta, etcétera. Esto sirvió para que en las escuelas se rediscutiera la enseñanza de la ingeniería química.

De estas discusiones nació el concepto de *operación unitaria*, dado por Arthur D. Little en 1915. En las palabras del propio A.D. Little el concepto de *operación unitario* fue definido como:

*Cualquier proceso químico, llevado a cabo a la escala que sea, puede ser reducido a una serie coordinada de lo que puede ser llamado operaciones unitarias, como pulverizar, secar, tostar, cristalizar, filtrar, evaporar, electrolizar, etcétera.*

El número de estas operaciones no es grande y sólo unas cuantas están involucrados en un proceso particular. La complejidad de la ingeniería química resulta de la variedad de condiciones de temperatura, presión, etcétera, bajo las cuales deben llevarse a cabo las *operaciones unitarias* en los diferentes procesos, y de las limitaciones de materiales de construcción y diseño de aparatos impuestos por las características físicas y químicas de las sustancias manejadas.

La aparición del concepto de *operaciones unitarias* permitió que la ingeniería química se fuera transformando poco a poco en un todo

coherente y dejara de ser una simple mezcla de química con ingeniería mecánica.

Los ingenieros químicos probaron ser un elemento importantísimo en el diseño, construcción y manejo de las plantas relacionados con la química; por ello la carrera se extendió por todo el mundo.

La aplicación de la ingeniería química en la industria ha permitido la utilización de materias primas que se encuentran abundantemente en la naturaleza, y el abaratamiento de los mismos.

Si el siglo XIX fue el siglo del vapor, el siglo XX fue el del petróleo. Su uso mantiene hoy en movimiento la mayoría de la industria mundial.

Del petróleo se extraen la gasolina y los aceites diesel necesarios para mover coches, camiones, tractores, barcos, etcétera. Los componentes ligeros del petróleo y el gas natural se usan como combustibles en fábricas y hogares.

Desde la Segunda Guerra Mundial, los productos derivados de la petroquímica se han hecho importantísimos en la economía mundial; estos productos orgánicos se producen a partir del petróleo y el gas natural. El producto petroquímico de mayor producción es el amoníaco, seguido por el etileno, el butano, el polipropileno y el cloruro de vinilo. También se producen a partir del petróleo el benceno, el ácido acético, el alcohol etílico, etcétera.

Como rasgo característico de la industria química moderna está el hecho de que cada día incorpora mayor cantidad de sustancias. Si a principios del siglo XIX la cantidad de elementos que constituían los productos de la industria química se limitaba a una o dos docenas, hoy tienen uso casi todos los elementos químicos. La aplicación de los métodos de la ingeniería química en la industria permiten utilizar varios tipos de materias primas que son abundantes en la naturaleza.

Los métodos químicos de tratamiento permiten un aumento prácticamente ilimitado de la producción de bienes materiales.

Los productos químicos, incluyendo los metales y combustibles obtenidos por métodos químicos, pasan a ser la base de la producción industrial moderna. En la actualidad, la industria química tiende a crecer (sobre todo la petroquímica) en forma de enormes complejos industriales, en donde se elaboran desde combustibles para motores y lubricantes hasta fertilizantes, colorantes, sustancias medicinales y plásticas.

En la industria química, de un modo más brillante que en otras industrias, se refleja el principio de fábrica desarrollada, que es un enlace inseparable entre procesos aislados de producción. En las fábricas modernas se desarrollan simultáneamente varios procesos de producción en forma continua; los materiales tratados pasan de una etapa a otra. El cambio hacia los procesos continuos está relacionado con la mecanización de todas las operaciones y del transporte fabril interior, y otra característica importante de la industria química moderna es la automatización.

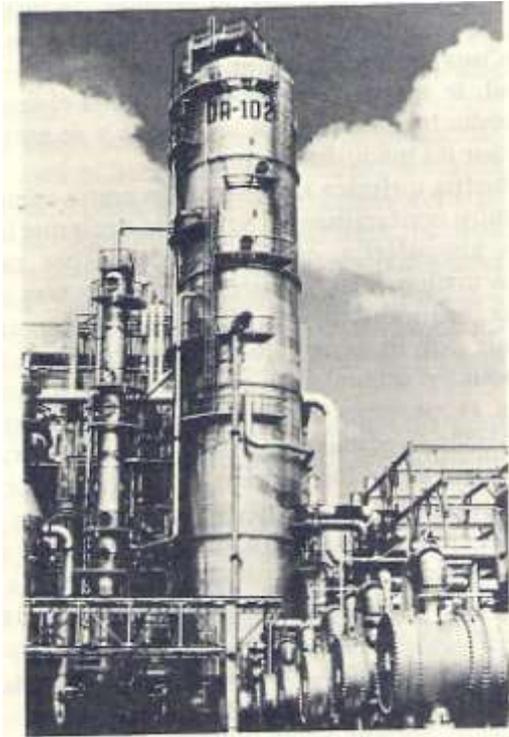
La automatización de la industria química tiene una importancia especialmente significativa en el control de la producción. Gracias a ella, el régimen de producción obtiene una estabilidad que no puede lograrse en la práctica bajo una operación manual. Con ella crece la productividad, se *mejora* la calidad y aumenta el rendimiento del producto, disminuyen los gastos y se emplean de modo mejor las máquinas y aparatos.

La industria química tiene también como característica el ser muy contaminante. Se puede decir que la contaminación atmosférica en las grandes urbes comenzó cuando se iniciaron las industrias químicas o se empezaron a usar los productos que ella generaba. Los contaminantes son por lo general subproductos de la fabricación, productos secundarios que no tienen un uso o demanda en el mercado. Sin embargo, muchos productos de gran demanda actual empezaron como subproductos; así pasó con el ácido clorhídrico, la gasolina, etcétera.

En la actualidad, la industria química presta mucha atención al control de los afluentes que pudieran contaminar las aguas, el aire o la tierra, y la tecnología química es la única capaz de resolver el problema de la contaminación en las grandes urbes, a través de detergentes biodegradables, fábricas procesadoras de basura, gasolinas sin aditivos de plomo, etcétera.

La industria química moderna está controlada por grandes empresas transnacionales que emplean miles de personas alrededor del mundo y que fabrican cientos de productos. Al lado de estas empresas giran miles de pequeñas plantas químicas que emplean a unas cuantas personas que fabrican algunos productos especiales que venden a las grandes compañías o al público o empresas productoras de productos para el consumo final.

Un aspecto notable de la industria química moderna es que ella ha contribuido a dos de los acontecimientos más notables del siglo XX, a saber: la generación de energía útil *a partir* de las reacciones nucleares (fabricación y purificación del uranio y fabricación de agua pesada, grafito y sodio para los reactores) y los primeros vuelos interplanetarios con cohetes que usan combustibles sólidos y líquidos. No cabe duda de que las primeras industrias que se erigirán en el espacio o en otros mundos serán las químicas, pues ellas generarán el oxígeno y el agua necesarios para la vida.



*Figura 8. Industria química moderna. Planta de tripolifosfato de sodio y ácido fosfórico*

# Capítulo 3

## El ingeniero químico

**T**oda la industria de procesamiento de materiales actual ha sido el resultado de la actividad de los ingenieros químicos, aunque los antiguos no se hayan llamado de esa manera. La industria primitiva fue desarrollada por individuos con una preocupación igual a la que tenemos los ingenieros químicos de la actualidad; la única diferencia real es la aplicación racional del método experimental y de las ciencias.

Hoy contamos con conocimientos más amplios sobre los materiales que manejamos, sobre la manera de construir los equipos, acerca de cómo organizar las actividades de todos para una operación eficiente de las plantas, y por otro lado disponemos de una mayor cantidad de materiales de construcción, de equipos, de materias primas, para hacer lo que deseamos hacer.

La palabra ingeniero deriva de la palabra genio, que fue tomado del latín *genius*, que era una deidad que, según los antiguos romanos, velaba por cada persona y se identificaba con su suerte; también significaba la persona misma, su personalidad. Esta palabra se deriva del verbo *gignere*, que significa engendrar

. De allí mismo se derivó *ingenium*, como una forma de describir las cualidades innatas de alguien.

Al pasar al español, esta palabra se convirtió en ingenio, de donde se derivó ingenioso, ingeniosidad, ingeniar, ingeniería, ingeniero o ingenio de azúcar.

Para ser que el primer tipo de ingeniero que existió fue el ingeniero militar. En los grabados y pinturas del antiguo imperio asirio podemos ver ya imponentes máquinas de guerra usadas para el asedio y la destrucción de las fortificaciones enemigas. Los romanos llevaron esta técnica a niveles aún más elevados, aunque el ejército que entonces se dedicaba a la destrucción también se ocupaba en la construcción de puentes, caminos, acueductos, etcétera, dirigidos por ingenieros que hoy llamaríamos civiles.

Durante el Renacimiento la construcción de cañones, fortificaciones y maquinaria de guerra se encomendó a personas que no titubeaban en

cambiar el papel del artista por el lápiz de diseñados, como por ejemplo Leonardo de Vinci.

La acumulación de conocimientos hizo ver poco a poco la necesidad de una educación sistemática para formar individuos que pudieran dedicar su genio creador al diseño y construcción de nuevas máquinas y equipo. Así fue cómo durante la Revolución Industrial se crearon institutos tecnológicos, o escuelas superiores para la enseñanza de la ingeniería civil, la ingeniería mecánica, la ingeniería naval y la de guerra.

Los individuos que salieron de estos centros cambiaron la fisonomía de Europa. Por todo ella se extendieron en poco tiempo nuevos caminos, se trazaron vías férreas que pasaban por puentes de acero diseñados por ellos, nuevas maquinarias impulsaron los industrias de entonces, nuevos y más veloces barcos surcaron los mares.

Su éxito fue tal que pronto se abrieron escuelas de ingeniería no sólo en Europa, sino en América. A fines del siglo pasado los adelantos en la teoría y lo práctica de la electricidad hicieron necesario la creación de la carrera de ingeniero electricista.

Estos ingenieros no inventaron las cosas que tanto nos maravillaron (la luz eléctrica, el motor eléctrico, el teléfono, el telégrafo, la radio, etcétera), pero sin embargo, con su talento hicieron que aquellos inventos se fabricaran en gran escala y llegaron a casi todos los hogares del planeta.

Ya para acabar el siglo xix se advirtió también la necesidad de un nuevo profesionalista que llevara a cabo las funciones que hasta entonces habían correspondido al químico y al ingeniero mecánico, o sea, el diseño y operación de plantas químicas.

La idea recibió oposición en Inglaterra, país en donde por primera vez se pensó en dicha carrera, pero fue bien recibida en Estados Unidos, donde se comenzaron a impartir los primeros cursos de ingeniería química.

El nuevo profesionalista tuvo éxito porque suplía las deficiencias del químico (operación a pequeño escala, con aparatos de vidrio y ninguna formación en ingeniería) y los del ingeniero mecánico (desconocedor de los procesos y operaciones químicas).

En varios países de América cuajó la idea estadounidense del ingeniero químico, no así en Europa, en donde sólo hasta después de la Segunda Guerra Mundial contó con la aceptación suficiente para que se impartieran en tecnológicos, escuelas superiores y universidades.

Los ingenieros químicos desarrollan sus actividades en el campo de la industria de procesos en actividades relacionadas tanto con la creación como con la operación de plantas, principalmente. En la actualidad se empieza a tener una diversificación hacia campos como los servicios y el gobierno.

Existen muchas compañías que se dedican a la consultoría, la ingeniería de proyectos, servicios de cómputo; dependencias gubernamentales dedicadas a la promoción industrial, a controlar la contaminación ambiental, etcétera, que están ofreciendo oportunidad a los ingenieros químicos de desarrollarse profesionalmente en campos conectados de manera indirecta con la carrera.

El trabajo de los ingenieros químicos tiene que ver ante todo con la planeación, el diseño, la construcción, la operación y la administración de las plantas químicas. Son los ingenieros químicos los responsables de que tanto la creación como la operación mencionados sean técnicamente adecuados, y económica, social y ecológicamente óptimos.

Es importante destacar este hecho, porque como nuestras actividades diarias nos hacen enfrentarnos continuamente a equipo, a sus condiciones de operación, a programas retrasados, a problemas de producción, etcétera, es muy fácil olvidar que somos los ingenieros quienes originamos todo eso y quienes lo controlamos. Dicho de otra manera, que los problemas del trabajo diario nos hace sentir inferiores a lo que nosotros mismos creamos. Es muy importante destacar el aspecto de los mencionados responsabilidades que tenemos los ingenieros químicos, pues a menudo nadie las menciona por sobreentendidas. El ingeniero químico no es generalmente el propietario de las plantas y esto puede dar lugar a una dilución de su responsabilidad.

En esos casos, el ingeniero químico debe exponer la problemática e insistir en que se adopten las medidas necesarias para lograr los fines planteados arriba.

Los ingenieros químicos, al igual que otros profesionistas, se reúnen en asociaciones, como el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos o la Asociación Mexicana de Ingenieros Químicos, etcétera.

En dichas asociaciones, el ingeniero se conecta e intercambia ideas con sus colegas; además, en ellos se suelen editar revistas o folletos que los mantienen al tanto de los nuevos adelantos y hechos relacionados con la ingeniería química. En los congresos patrocinados por estas asociaciones se estimula a los colegas a presentar los resultados de nuevas investigaciones, o nuevas ponencias sobre el deseable desarrollo de la industria química del país o del mundo.

Las actividades relacionadas con la industria de proceso se pueden ubicar en dos grandes campos: las encaminadas a la creación de industrias y las encaminadas a la operación de la industria.

Las encaminadas a crear industrias son, principalmente, planeación, investigación aplicada, diseño, adquisiciones, construcción y arranque de plantas. Los que se desarrollan para operar plantas son: producción, control de calidad, ventas, adquisiciones, mantenimiento, servicios técnicos. La administración está en cada una de las actividades, y a nivel global. Quien controla y coordina el primer grupo de actividades es el jefe

del proyecto; en el segundo caso se tiene el gerente de la planta. El primer grupo de actividades es transitorio; el segundo es permanente, lo cual origina que quienes desarrollan actividades para creación tienen que cambiar continuamente de caso (o problema), y quienes operan plantas están continuamente manejando el mismo caso. La primera situación requiere decisiones rápidas; la segunda permite el estudio de alternativas de solución y el perfeccionamiento continuo de lo que se está realizando. El objetivo de la primera es la construcción de una planta que opera según lo planeado; en la segunda se busca una optimización económica.

Para adquirir una visión más completa de esto analizaremos algunos de las actividades citados, describiendo las herramientas de trabajo y las principales responsabilidades, en algunos de los siguientes capítulos.

El ingeniero químico debe tener una amplia variedad de talentos. Debe entender cómo y por qué actúa un proceso; debe ser capaz de diseñar, instalar y operar cada uno de los equipos y debe tener capacidad para determinar las ganancias al arrancar la producción de ese proceso en particular.

El ingeniero químico debe tener el conocimiento teórico de un fisicoquímico combinado con la actitud práctica de un mecánico.

Además, el ingeniero químico está en contacto continuo con trabajadores de una gran variedad de niveles de inteligencia y debe tener la habilidad de mantener relaciones amistosas y efectivos con todas estas personas.

El ingeniero químico debe aplicar el conocimiento científico al aprovechamiento de los recursos naturales en beneficio del hombre. No sólo tiene que conocer la ciencia, sino también al hombre, y debe comprender la influencia social y económica de su labor.

El ingeniero químico puede usar un casco y botas o, un traje cortado a la última moda, puede trabajar con herramientas y máquinas gigantes, o con pequeños dispositivos electrónicos. El sonido de su trabajo puede ser el rugir de una industria o el sonido quieto de las computadoras. Puede trabajar en su casa o en la selva.

Tiene que ver con muchas personas de diferentes tipos, y coordinar sus esfuerzos en el trabajo. Debe comunicarse, ya sea por escrito o verbalmente, de tal manera que los demás lo comprendan.

El ingeniero químico tiene que ser tanto humanista como científico; científico porque tiene que conocer la ciencia, y humanista porque ha de tratar con y trabajar para los hombres.

No debe olvidarse que los conocimientos de ingeniero químico son un 50% de ciencia y un 50% de arte y que se necesita un gran espíritu creativo para ejercer su cometido.

El estudiante, y posteriormente el ingeniero, deben encontrar tiempo para el estudio de la historia. Podría parecer que el estudio de las

civilizaciones mayas o aztecas o que la historia universal no tienen que ver con la ingeniería química, pero el hecho es que ubican al profesional en su sitio en la historia y lo ayudan a comprender el porqué de nuestro presente. El estudio de escritores como Homero, Cervantes, Shakespeare, Moliere y Víctor Hugo, además de perfeccionar el dominio del idioma le hará reflexionar sobre el poder creativo del género humano, del que él es parte activa.

El ingeniero químico debe ser responsable del uso de su talento y juicio para el bienestar público, anteponiéndolo siempre al interés personal.

En muchas formas, el ingeniero químico es el lazo de unión entre la ciencia y la sociedad.

Debe hacer útil el conocimiento científico; tiene que conocer la teoría científica que explica por qué los materiales y la energía se comportan como lo hacen, y también debe conocer las formas prácticas de aplicar esta teoría para el beneficio del hombre. Debe considerar aspectos económicos, para saber cuanto costará un proyecto; debe conocer los problemas de su comunidad para tomar decisiones adecuadas.

Debe tener capacidad para utilizar las herramientas matemáticas, los hábitos y métodos para hacer análisis exactos de los problemas de ingeniería, y la capacidad de plantear la mejor solución.

Debe tener aptitud para lograr fines prácticos; para poder actuar acertadamente con un mínimo de información para programar actividades; para jerarquizar, valorar y cuantificar; poca poder adaptarse permanentemente a un mundo cambiante en todos los aspectos, donde el gigantesco adelanto tecnológico trae consigo un alto grado de obsolescencia de los conocimientos, Debe tener habilidad para utilizar y adaptar las nuevas y complejas tecnologías, pero además debe ser partícipe de su creación.

Sin embargo, el ingeniero químico no debe ser un ente anónimo producido por una Universidad-Fábrica, como una pieza para cubrir un hueco en un mercado de máquinas humanas, sino que debe ser ante todo un individuo, un ser cabal, pensante, activo, para quien la ingeniería química es un campo de acción, un área dentro de la cual puede realizarse como hombre.

El ingeniero químico debe tener autonomía y flexibilidad espiritual, debe ser capaz de desarrollarse por sí mismo, capaz de actualizarse y especializarse. Debe ser versátil para poder cambiar de campo de acción y, además, debe actuar eficazmente cualquier que sea su labor.

Los ingenieros se guían por los hechos físicos; tratan de usar los hechos, de manejarlos y, si es posible, de ensamblarlos en nuevas reacciones.

Siempre ha sido importante entender a la naturaleza con claridad, y éstos son precisamente los apoyos más frecuentemente usados por los ingenieros. Ellos usan cualquier evidencia o teoría científica, como quiera

y en donde quiero que haya sido desarrollado, si eso contribuye a su trabajo. Si un conocimiento de física, de química, de metalurgia o de matemáticas es útil para lograr la meta, los ingenieros irán a aprenderlo no importan las dificultades que implique su aprendizaje, con el fin de resolver problemas o de aplicar nuevos procesos; pero, por otro lado, no hay apreciación más falsa que la que describe al ingeniero como impulsado inevitablemente por las matemáticas o por procesos de laboratorio hacia una solución única a sus problemas, las soluciones en ingeniería son raramente únicas. La ingeniería química no se confunde con las matemáticas, aunque haga uso frecuente de ellas. Los ingenieros de todos los lugares y tiempos han tenido un sello de identificación; parece que siempre desean escribir números, hacer gráficas, dibujar planos. En verdad, los ingenieros escriben muchos números, pero lo hacen como guía para sus pensamientos no como respuesta a sus problemas. Necesitan evidencias cuantitativas, desean compenetrarse con el problema, planear a dónde van y lo que sucederá cuando lleguen allí. El trabajo de un ingeniero es por naturaleza sintético; consiste en poner juntos fragmentos de relaciones humanas de ciencia de técnicas y de artesanía para producir nuevas estructuras. El análisis simple de todos los elementos, de todos los datos del problema no significa que se haya obtenido una solución. Estos datos deben unirse para establecer nuevas interrelaciones entre ellos (lo que requiere de gran poder imaginativo), y colocarlos de acuerdo con su importancia relativa; todo esto debe hacerse con una visión intuitiva de lo que se requiere y de lo que se puede obtener. Solamente entonces se puede decir que existe una solución a un problema de ingeniería química.

La imagen del ingeniero químico no es la que la mayoría de la gente cree. En general se piensa que el trabajo de ingeniería química es el resultado de una aplicación inflexible de fórmulas o de fenómenos físicos y químicos, se cree que en estos campos las leyes científicas se conocen claramente y sin excepción.

Se cree que estas leyes se encuentran contenidas en cartas, tablas, gráficas y ecuaciones que representan los hechos acerca de los cuales las conclusiones se obtienen con precisión infalible. Sin embargo, quienes han examinado de cerca el pensamiento técnico saben que la mayor parte de las gráficas están planteados con interrogantes y que las fórmulas son con frecuencia sólo una base de discusión.

Se ha escrito mucho acerca del método científico en ingeniería. La pregunta es: ¿hay realmente un único método científico en ingeniería o en cualquier parte? Hay muchas maneras de llegar a la verdad, aunque con frecuencia la verdad es incierta debido a que se necesita criterio para determinar lo que constituye la verdad en ciertos campos especializados. La ingeniería es esencialmente un arte, los ingenieros son artesanos y, como buenos artesanos, siguen un procedimiento sistemático y ordenado, pero son muy resistentes y aun antagónicos al exceso de rigor. Los ingenieros demandan libertad en su arte, libertad para recrear y rearrreglar.

La ingeniería química es una gran profesión. Hay una gran fascinación en el hecho de que, a partir de un destello de la imaginación, con ayuda de la ciencia, se crea un plano y un proyecto. Luego, a partir de este plano, se crea una realidad con metal, piedra y energía, y de esta realidad se derivan trabajos y casas para los hombres, lo que aumenta el nivel de vida y el bienestar. Éste es el gran privilegio del ingeniero. En manos de los ingenieros cae la responsabilidad de arropar los huesos desnudos de la ciencia y darles vida, humanidad y esperanza. Sin duda, al paso de los años, la gente olvida que un ingeniero hizo ese trabajo, eso si es que lo llegan a saber, ya que a veces algún político pone su nombre sobre él o el crédito recae en algún promotor que usó el dinero de otros para financiar el proyecto. Pero el ingeniero ve a la interrumpida corriente de bienes que fluye de su éxito con la satisfacción que pocos profesionistas conocen, y el veredicto de sus compañeros profesionistas es todo el reconocimiento que desea.



**Figura 9.- La ingeniería química es una profesión que produce grandes satisfacciones.**

## Capítulo 4

# El ingeniero químico y la investigación

La Industria Química es una industria dinámica y muy competitiva. Cada año aparecen nuevos productos en el mercado, o nuevas aplicaciones para los productos recién creados y, además, cada año tienden a bajar los precios de éstos.

Lo anterior es el resultado de la investigación, una gran parte de la cual se lleva a cabo en el interior de las empresas.

Las grandes empresas químicas están constantemente buscando nuevos productos, mejorando los existentes o esforzándose por abaratar el precio de los mismos; para ello dedican grandes sumas a la investigación.

La investigación es *la seguridad de un mañana para las grandes empresas*; si una empresa no se mantiene al día, si no se prepara para el futuro, desaparecerá en la dura lucha de la competencia.

Los esfuerzos de investigación y desarrollo de la industria química dan por resultado, entre otras cosas, procesos para la fabricación de productos químicos. Si una compañía no dedica dinero a la creación de su propia tecnología, tendrá que dedicarlo a la compra de tecnologías externas, lo cual debilita su competitividad mundial. Claro está que si la industria tiene un mercado interno cautivo (es decir, protegido por las leyes aduanales de un país, que impiden la entrada de ese mismo producto fabricado en el extranjero) puede resultar ventajosa la compra de una licencia para construir una planta de acuerdo con un proceso definido. Pero imaginemos qué pasaría si todas las industrias del país hicieran esto, lo que el país podría ahorrar por importación de productos, tendría que gastarlo en hacer pagos de regalías, licencias, porcentajes y, además, por la llamada asistencia técnica de la planta matriz.

Es claro que, con ese patrón de desarrollo, un país nunca podrá dejar de ser tecnológicamente dependiente; por esta razón, los países desarrollados dedican grandes sumas a la investigación y las grandes empresas siguen esa política con gran ahínco.



**Figura 10.- La investigación es la seguridad de un mañana por las grandes empresas**

Las industrias químicas no se quedan atrás. No nos debe extrañar esto, ya que muchas ramas de la industria fueron creadas por la investigación, por ejemplo, los colorantes, los plásticos, las fibras artificiales y los fertilizantes. Por ello la industria reconoce que la investigación es esencial si se quiere seguir progresando.

En la industria química de los procesos, los productos y las aplicaciones de los mismos están en constante cambio. Ninguna industria, sin importar su tamaño, puede permitirse el lujo de no dedicar el tiempo y dinero a la investigación. Esto se debe verse como una especie de seguro, el propósito de proteger el futuro de la empresa al buscar las mejores materia primas, los mejores procesos y los nuevos campos de aplicación y de productos.

Debido a la estrecha relación que tiene la investigación con el presente y el futuro del negocio, la investigación es una función importante y parte de la alta gerencia junto con finanzas, producción y ventas.

Aun en la más pequeña empresa se debe tener una persona con la suficiente capacidad técnica como para impulsar la investigación, pues el dinero que se invierte en esto será redituado con creces en el futuro inmediato y mediano.

La tecnología es la aplicación sistemática de procedimientos para obtener bienestar, los que a su vez se sustentan en conocimientos científicos.

¿Cuál es la diferencia entre ciencia y tecnología?

La ciencia investiga y logra conocimientos con los cuales hace modelos para explicar el mundo natural; la tecnología usa las investigaciones y descubrimientos para construir nuevos objetos, máquinas, materiales y aparatos, con el fin de proporcionar bienestar a la humanidad y a su vez proporciona a la ciencia los materiales, aparatos y máquinas diseñados para que esta contraste, valide o rechace las hipótesis y en algunos casos las teorías.

La ciencia es un producto de la mente humana, que se apoya en la realidad y en el empirismo y que trata de explicar el mundo mediante modelos provisionales que están en constante revisión al contratarlos con la realidad objetiva, con objeto de mejorar nuestro conocimiento de la realidad objetiva.

La *investigación* y el trabajo experimental pueden definirse como un trabajo creativo hecho sistemáticamente para mejorar el acervo científico y tecnológico y para usar este conocimiento en nuevas aplicaciones.

Hay tres clases de investigación y desarrollo: la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental.

La investigación básica es la investigación original llevada a cabo para alcanzar nuevos conocimientos y comprensión de la ciencia. En principio no está dirigida a ninguna aplicación práctica: la investigación básica proporciona nuevas hipótesis, teorías y leyes.

En general los resultados de la investigación básica no son negociables y se publican en las revistas científicas o circulan entre los asistentes a los congresos.

En relación con la ingeniería química, la investigación básica tiene por objeto conocer los fundamentos teóricos de los procesos y *operaciones unitarias*, la obtención de propiedades fisicoquímicas y el análisis de procesos.

Trata de contestar a ciertas preguntas, como por ejemplo: ¿cómo se transfiere el calor en la condensación?, ¿Cómo se podría predecir la capacidad calorífica de un gas a partir de su estructura atómica? ¿Cómo funcionan los catalizadores?

Este tipo de investigación se suele hacer principalmente en las universidades y en los centros de investigación superior. En ciertos países, la industria y el gobierno comisionan a las universidades para que se dediquen a este tipo de investigación básica. Sin embargo, las grandes empresas químicas y petroquímicas suelen dedicarse también a este tipo de investigación, por ejemplo: Pemex, Shell, Dupont, Basf etcétera.

La investigación aplicada es también toda aquella investigación original para obtener nuevos conocimientos científicos o tecnológicos,

pero esta, sin embargo, dirigida de manera especial hacia objetivos prácticos.

Los resultados de una investigación aplicada son válidos para un número limitado de productos, operaciones, métodos y sistemas.

El conocimiento que se logra se convierte generalmente en patentes o puede mantenerse en secreto; esta investigación se lleva a cabo como respuesta a las informaciones e inquietudes del departamento de mercadotecnia. ¿Cómo podría sintetizarse esta hormona a partir de productos naturales? ¿Podría mejorarse la transferencia de calor mediante el uso de superficies extendidas?, ¿Qué tipo de catalizadores mejorarían el rendimiento en la síntesis del  $\text{SO}_3$  ?

Durante el curso de la investigación aplicada es frecuente que deba emprenderse investigación básica, para llenar las lagunas de conocimientos básicos que pudieran encontrarse.

La investigación aplicada suele clasificarse en investigación exploratoria e investigación de aplicaciones.

La investigación exploratoria, o prospectiva, tiene como objeto la búsqueda de nuevos productos o nuevos métodos de síntesis y generalmente está a cargo de un grupo de químicos con alto nivel académico que trabajan en una universidad o en la industria.

En relación con la ingeniería se pueden encontrar ingenieros que trabajan sobre el efecto que tienen diferentes tipos de alertas en la transmisión de calor, o en el que tienen los diferentes dispositivos de contacto en la destilación.

La investigación de aplicaciones tiene que ver con la utilidad de un producto. No basta crear el polietileno; se tuvieron que descubrir usos para el mismo, métodos para pigmentarlo, maquinarias para procesarlo. En este tipo de investigación se emplean tanto a químicos como a los ingenieros químicos, mecánicos y personal de publicidad y ventas.

Si un producto está en una etapa de estancamiento en sus ventas, hay que pensar en descubrir nuevas aplicaciones; por ejemplo, el nylon se usó primero en la confección de medias, pero luego se pensó en que sus fibras podrían ser usados en la fabricación de piezas de maquinaria y después en la fabricación de llantas de automóviles. Un producto tiene tanta vida como el ingenio de los investigadores que lo apoyan.

El desarrollo experimental es un trabajo sistemático en el que se aprovecha el conocimiento logrado en la investigación o en la experiencia práctica, y está dirigido a producir nuevos materiales, productos y aparatos, instalar un nuevo proceso o sistema, o mejorar los ya existentes. Después de los descubrimientos en el laboratorio de investigación está el campo del desarrollo.

Un producto puede ser concebido en un laboratorio. El inventor no necesita tener interés básico en la economía, su preparación puede requerir de pequeñas cantidades de material de vidrio y en su

preparación pueden producirse, además, una gran cantidad de subproductos.

En la primera etapa de desarrollo, un ingeniero químico debe decir si es económico o no, dedicar dinero al mejoramiento del proceso y a la búsqueda experimental de las condiciones óptimas de reacción (temperatura, presión, catalizador, etcétera). Al principio, los ensayos se llevan a cabo en aparatos corrientes de laboratorio; si el producto parece ser promisorio se construirán plantas piloto (de mesa); éstas son mucho más pequeñas y sencillas que las industriales.

Con base en los datos obtenidos en las plantas piloto (de mesa), se puede pasar a la elaboración de un proyecto.

No hace muchos años, sin embargo, los datos de laboratorio no podían usarse con esta confianza y eran necesarias plantas piloto de tamaño sucesivamente creciente antes de que pudiese diseñarse una planta. Actualmente, la ciencia de la ingeniería química se encuentra muy desarrollada, las computadoras ayudan en los cálculos, se define estadísticamente el error de los datos experimentales, y los procedimientos analíticos son más precisos.

Se requieren datos de laboratorio para la información más especializada; por ejemplo, la viscosidad de un residuo, o para algunos coeficientes de actividad. El laboratorio es esencial también para aquellos datos críticos, cuya precisión debe ser mayor que la ofrecida por las correlaciones generalizadas. Si el proceso es nuevo y si existe mucha incertidumbre en la forma en que se comportará a escala industrial se debe construir una instalación semi - industrial. Basándose en los resultados de su funcionamiento, se precisan las condiciones en que deben llevarse a cabo las reacciones, los materiales de construcción necesarios, los conocimientos, el gasto de energía y los controles necesarios. Con base en estos datos se construirá el equipo requerido para la producción a escala industrial.

La corrección con que se hayan elegido las condiciones para realizar el proceso en la planta es de vital importancia para el buen funcionamiento de la misma.

Si en alguna de las etapas de investigación y desarrollo se obtiene un producto novedoso, una síntesis nueva, o se crean aparatos nuevos, las empresas debe patentarlos. Una *patente* es una licencia que el gobierno de un país concede a una persona o compañía, para que explote en exclusividad mundial el invento durante un periodo de más o menos 16 años.

Cuando una compañía desarrolla un nuevo proceso, puede encontrar dificultades económicas o políticas para fabricar o vender (falta de fondos para producir todo lo que el mercado requiere, problemas de exportación, etcétera), y en ese caso puede juzgar conveniente vender la licencia para usar el producto o el proceso. La compañía que compra estas licencias tiene que pagar regalías y guardar en secreto el proceso de fabricación.

Muchos de los procesos de fabricación tienen ya las patentes vencidas, pero es difícil para una compañía sin experiencia en el ramo, o sin un fuerte departamento de investigación y desarrollo, reconstruir el proceso a partir de los datos de las patentes, por lo que se ve en la necesidad (si es que quiere producir cierto producto) de pagar regalías a las compañías que desarrollaron el proceso original por el *know-how*, o sea, el conocimiento tecnológico de como llevar a cabo el proceso, así como de la maquinaria, el tamaño del equipo y los controles necesarios.

El estudio de cierta clase de reacciones de polimerización, o del rendimiento de las mismas y de las propiedades físicas y químicas de los productos es investigación básica. Pero si se trata de optimizar una de estas reacciones con objeto de obtener un polímero con ciertas propiedades físicas y mecánicas (que se hacen útil para algo), la investigación será aplicada.

El desarrollo experimental consiste en el escalonamiento del proceso (es decir, pasar del proceso de la etapa de material de vidrio a los equipos industriales), optimizando en el laboratorio la investigación y evaluación de los métodos potenciales de productos de polímero y quizá de los artículos hechos con él. El desarrollo experimental no solo se limita a los procesos, sino también al mejoramiento de los equipos.

Las compañías dedicadas al diseño y a la venta de equipos utilizados en la industria química están constantemente mejorando los equipos, controles y aparatos que ofrecen a la venta.

La investigación básica y aplicada es relativamente barata; el desarrollo experimental es mas caro, por que requiere equipo más complicado y de mayores costos de operación. El desarrollo del proceso de una planta piloto es muy caro, porque el equipo se acerca al de una planta real.

La investigación y desarrollo es un trabajo creativo pero sistemático, orientado a incrementar el acervo de conocimientos científicos y técnicos y que busca la generación de nuevas aplicaciones. El desarrollo experimental es el que está más directamente relacionado con el cambio tecnológico y se lleva a cabo en áreas de generación de materiales, dispositivos, productos, procesos, sistemas o servicios nuevos o sustancialmente mejorados. El desarrollo experimental es un esfuerzo sistemático, basado en el conocimiento científico- técnico que ha sido obtenido a través de la investigación básica o a través de la experimentación práctica. El resultado del desarrollo experimental es normalmente un prototipo o una planta piloto, esto es, un producto o servicio técnicamente factible en términos técnicos, aunque no necesariamente en términos económicos y comerciales.

Algunos tipos de desarrollo e investigación tienen que ver con la utilización y adaptación de nuevas tecnologías entre los accionistas de la empresa y los usuarios. A ellos se les deben convencer de los beneficios económicos y sociales que justifiquen los recursos invertidos en desarrollar, producir, distribuir, utilizar y promover la nueva tecnología.

Independientemente de la naturaleza del tipo de investigación que se lleve a cabo, el recurso más importante es el investigador o el grupo de investigadores. Estas personas deben tener buena formación científica.

Como regla general, un investigador no selecciona su vocación por el atractivo de dinero sino, ante todo, le gusta el trabajo.

El desarrollo de procesos químicos requiere de hombres con grandes conocimientos químicos, fisicoquímicos y de ingeniería, y además deben ser personas que deben estar orientadas hacia el manejo de costos y la obtención de beneficios. El químico puede hacer algo de ello, y es miembro importante del grupo, pero no puede realizar el resto. El ingeniero químico llena todos los requisitos y casi siempre esta a cargo del trabajo de desarrollo. Por regla general, el ingeniero químico que se dedica a la investigación y el desarrollo suele tener grados de maestría y doctorado, pero más importante que los grados es que posea ciertas características personales. Los atributos más deseables son la naturaleza inquisitiva, la originalidad y la habilidad para planear y llevar a cabo una serie de investigaciones sistemáticas.

También son importantes la persistencia ante la adversidad, la convicción de que los resultados experimentales propios están bien hechos y el deseo de completar satisfactoriamente un trabajo.

Para triunfar en el desarrollo y la investigación, el ingeniero debe cuidarse de la obsolescencia técnica, ya que opera en el frente de batalla de la tecnología y la ciencia; por ello es imperativo que se mantenga al día leyendo libros, revistas, literatura industrial y patentes. La educación continua es una parte importante de la vida del investigador, lo cual hace a través de los seminarios, programas de entrenamiento o cursos universitarios, asistencia a congresos, etc.

Para desarrollar actividades de investigación es necesario tener, además, habilidad en la manipulación y operación de equipo experimental e instrumentos, en organizar e interpretar los datos obtenidos experimentalmente y en diseñar y construir equipos para hacer experimentos o para comprobar hipótesis.



**Figura 11.- Las plantas piloto son una fuente esencial de información en creación de nuevos procesos**

La investigación es una de las partes de la profesión que más satisfacciones dan al ingeniero químico. Hay una gran fascinación en el hecho de que a partir de un destello de la imaginación, con ayuda de la ciencia y la técnica, se crea una realidad de metal, piedra y energía, y esta realidad trae trabajos y bienes para los hombres, lo que aumenta el nivel de vida de la humanidad. Este es el gran privilegio de los investigadores.

# Capítulo 5

## El ingeniero químico en el diseño y la construcción de plantas

Existen dos grandes campos en las actividades que realizan los ingenieros químicos: el relacionado con la creación de nuevas plantas industriales y el que se refiere a la operación de las plantas existentes.

Para la creación de nuevas plantas es fundamental la investigación tecnológica, que es donde surgen los nuevos procesos y las nuevas plantas. La investigación tecnológica termina cuando se han determinado: las materias primas, condiciones de operación (presión y temperatura), rendimientos, recirculaciones y productos finales.

La investigación tecnológica sola no puede producir una nueva tecnología; se requiere también de la planeación económica. Al hacer una buena planeación económica se determina no sólo el momento oportuno en que debe arrancar una nueva planta, sino también cuál es la tecnología más adecuada desde varios puntos de vista: el económico, el de materias primas, el de localización, el de distribución de productos, el de mano de obra, el de beneficio social, etcétera (Véase capítulo 9).

Cuando se ha llegado a la conclusión de que existen tanto la tecnología como la conveniencia y oportunidad de construir una nueva planta industrial, se inician las siguientes actividades de *ingeniería de proyectos*:

- ingeniería básica
- ingeniería de procesos
- ingeniería de detalle
- compras
- construcción
- arranque

Estas actividades son desarrolladas por las firmas de ingeniería, o por grupos de ingeniería en las compañías de mayor tamaño.

Estas actividades son las que constituyen el diseño y la construcción de plantas.

### **Ingeniería básica**

Es la encargada de obtener los datos fundamentales para el diseño o las llamadas bases de diseño. Esto incluye, el tamaño, las cantidades, temperaturas, presiones, conversiones, pH, eficiencias, etc. Estos datos

los suele proporcionar la compañía que otorga la licencia o el departamento de investigación y desarrollo de la empresa.

### **Ingeniería de procesos**

Es la responsable del dimensionamiento de la planta, de todas las corrientes de materiales que se procesan, del intercambio de calor de todos los puntos donde existen y de todos los equipos necesarios para que la planta opere.

También se especifican las condiciones de presión, temperatura, gastos, y niveles en todos los equipos y tuberías. Así mismo se indica la instrumentación requerida para mantener las condiciones especificadas. Para ello es necesario tener la ingeniería básica que son los balances de materia y energía, las condiciones de presión, temperatura y composición que se obtuvieron en la etapa de investigación y desarrollo. Sin ingeniería básica no es posible la ingeniería de proyectos.

### **Ingeniería de detalle**

Es la que se refiere a la realización en detalle de todo lo especificado por quienes desarrollan la actividad de ingeniería de procesos. Durante esta etapa se diseñan torres, recipientes y cambiadores de calor, se seleccionan bombas, compresoras, instrumentos y el equipo accesorio. También se diseñan las tuberías, las cimentaciones, los edificios, el sistema eléctrico.

### **Compras**

En la ingeniería de proyectos son altamente especializadas y están a cargo de ingenieros especialistas en cada tipo de adquisición. Generalmente, los responsables de las compras son los mismos ingenieros que hicieron el diseño o la especificación de los equipos y materiales.

### **Construcción**

Es la etapa en donde convergen la ingeniería de detalle y las compras. Los planos normas y especificaciones indican a los ingenieros y obreros de la construcción la manera de *ensamblar* todos los equipos y materiales adquiridos para obtener una planta que opere de acuerdo con las bases de diseño de la misma

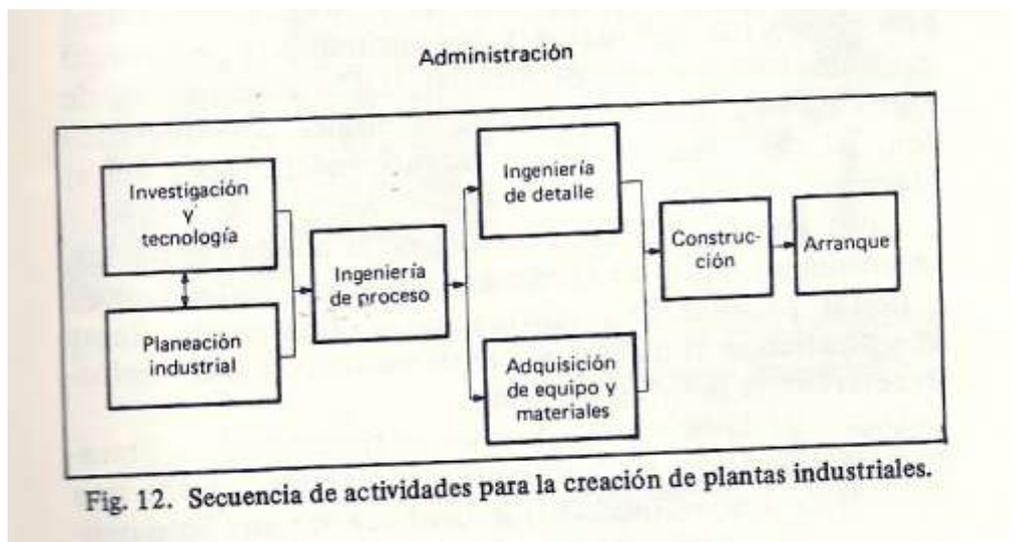
### **Arranque**

Es la etapa definitiva de la creación de plantas. En primer lugar se debe verificar la corrección de todos los circuitos (tuberías, instrumentos e instalación eléctrica). Se deben probar individualmente todos los

equipos y todos los instrumentos para que funcionen de acuerdo con lo especificado.

Se debe comprobar lo hermético de la instalación, sobre todo en caso de materiales tóxicos o inflamables. Finalmente, se debe limpiar cuidadosamente la planta y proceder al arranque en sí.

Todas las etapas anteriores son secuenciales tal como se puede apreciar en el siguiente diagrama:



¿Cómo se trabaja en las firmas de ingeniería?

## Diseño

Busca desarrollar todo aquello que permita la construcción de una planta y consiste en *la ingeniería básica* y en *la ingeniería de detalle*. Esto incluye la elaboración de bases de diseño; balances de energía y materia, diagramas de flujo de proceso; diagramas de tubería o instrumentos; planos de equipo, plantas, elevaciones e isométricos de tubería, diagramas de servicios, planos eléctricos, planos de cimentaciones, drenajes, calle y edificios, planos de instalación de instrumentos, especificaciones de construcción, manual de arranque y operación, listas de materiales y ubicaciones de materiales. La responsabilidad de quienes trabajan en diseño es especificar todo aquello que se requiera para el buen funcionamiento de la planta, de tal manera que quienes adquieran los equipos y materiales, quienes construyan la planta y quienes la operan no tengan ningún problema para ejecutar sus responsabilidades.

Son cuatro las fuentes que normalmente proporcionan al ingeniero de diseño la información necesaria, todos los cuales tienen ventajas y desventajas.

**DATOS EXPERIMENTALES.** Con equipo diseñado en forma apropiada, los ingenieros y los químicos, combinando sus talentos, pueden desarrollar datos susceptibles de escalamiento. Los datos experimentales así obtenidos son, tal vez, la mejor fuente de información accesible al ingeniero de diseño.

Conforme se colectan los datos, él puede objetarles, examinar el equipo experimental, probar correlaciones, solicitar pruebas de confirmación y, finalmente, llegar con confianza al diseño a mayor escala (véase el capítulo referente a la investigación).

**DATOS DE LA LITERATURA.** Los datos tomados de la literatura, sobre todo los referentes a cinética, tienen una aureola de respetabilidad que los hace ser una base peligrosa para el diseño a mayor escala. Antes de aceptar los datos sobre cinética de la literatura, uno debe ser verdaderamente intransigente y examinar todos los aspectos de los datos relativos al equipo. Por desgracia, hacen falta algunos pequeños detalles de información. Por otra parte, puede determinarse la mayor parte de las propiedades físicas y de transporte mediante las fuentes de la literatura. Cuando el análisis muestra que algunos de los datos son críticos, es entonces conveniente comprobar los datos de la literatura, en las instalaciones experimentales propias.

**DATOS DE PLANTAS EXISTENTES.** En algunos aspectos, la experiencia real en plantas es la mejor fuente de información. Cuando la hay en disponibilidad, indica directamente datos sobre acumulación de impurezas, problemas especiales de corrosión, diseño estrictos, etcétera. Sin embargo, se necesita un ingeniero experimentado para analizar los datos de planta existentes, que no enfoque sólo su atención sobre los problemas de la planta, sino que también examine las piezas de equipo que se encuentren operando bien, para determinar si se encuentran sobre diseñadas.



**Figura 13.- La responsabilidad de quienes trabajan sobre diseño es especificar todo aquello que se requiera para el buen funcionamiento de la planta**

De otra manera, el ingeniero puede encontrar que el costo de una segunda planta que utilice el mismo proceso que la primera es mayor que el de la primera, ya que se hace mayor el equipo limitante, mientras que el equipo sobre diseñado permanece sin cambio. A ninguna persona encargada de operación le gusta emplear su planta como instalación piloto, pero este procedimiento puede reducir mucho los costos de capital y operación de otras plantas.

**DATOS DE LOS PROVEEDORES DE EQUIPO.** La cuarta fuente de información proviene de los fabricantes de equipo de proceso, sobre todo respecto a equipo especial, como cristalizadores, centrifugas u otros similares. Si va a emplearse esta fuente, el ingeniero de proceso deberá garantizar que haya en disposición materiales de alimentación representativos para efectuar corridas de prueba. Con frecuencia se requieren pruebas al principio del diseño para el equipo de proceso que en particular se está seleccionando. En tales casos, el ingeniero de proceso debe presenciar las pruebas, de manera que pueda comprender mejor la naturaleza del problema y encontrarse en mejor posición de incorporar este elemento particular en forma inteligente, al diseño del proceso.

**ESTIMACIÓN DEL COSTO DE UNA PLANTA.** Una de las primeras responsabilidades de un ingeniero químico al diseñar una planta, es la de estimar su costo total.

Los estimados de costos son hasta el presente un arte, más que el resultado de un procedimiento riguroso. Los mejores estimadores tienen una experiencia mayor a los diez años en estimación de costos.

Un estimado de costo nunca coincide con el costo real de la planta; no obstante ello es necesario efectuar estimados de costo durante el desarrollo del proyecto de una nueva planta. Las razones para elaborar un estimado de costos han sido, principalmente, los siguientes:

- determinar la viabilidad de un proyecto
- obtener financiamiento para el proyecto
- controlar el costo de la planta

En el primer caso sólo es necesario lo que se llama *estimado de orden de magnitud*, que generalmente tiene una aproximación de + 30% a - 20% con el costo real de la planta. Elaborar un estudio de este tipo puede exigir de 10 a 100 horas de trabajo a un ingeniero. En el segundo caso se tiene necesidad de lo que se conoce como *estimado definitivo* de una planta, el cual tiene una mayor aproximación con el costo real de la planta. Estos estimados requieren de 400 a 1 600 horas de trabajo de ingeniería.

En el caso del control del costo del proyecto de una nueva planta es necesario contar con un *estimado detallado*, que tiene una aproximación de +5 a -5% con el costo real de la planta. Elaborar un *estimado detallado* consume de 2 000 a 5 000 horas de trabajo de ingeniería. Estos estimados son necesarios para mantener un control estricto de costos a lo largo de un proyecto. Cuando no se tiene un control de costos adecuados, el costo real de la planta puede elevarse hasta el doble y aun hasta el triple del valor estimado.

Cuando los costos de una planta aumentan las ganancias disminuyen. En el peor de los casos, la planta puede resultar no rentable y quebrar. Esto es lo que vuelve imprescindible la elaboración de estimados de costos con apego a los costos reales, y la vigilancia del ajuste de los costos al estimado de costo.

Los estimados de costo más aproximados a los costos reales son los que se basan en datos estadísticos de costos reales. Esto implica una corrección por aumento de precios, puesto que los datos estadísticos forman parte del pasado (varios años atrás) y la estimación es para el futuro (uno o dos años después).

Existen varias formas de hacer los ajustes de costo estimado. La forma más utilizada es la de los índices de precio.

El más usado de estos índices, en la industria de procesamiento de materiales, es el establecido por Marshall y Stevens en 1937. Este indicador tiene un valor de 100 *para* el año 1926 y trimestralmente se calcula de nuevo.

Los costos de una planta de procesamiento de *materia-* les se distribuyen como sigue.

	% Costo Planta
Mejoras al terreno	1-5
Edificio	6-100
Equipo de Proceso	31-45
Tubería	4-21
Instalaciones eléctricas	4-6
Servicios	5-10
*Otros	20-25

\* Gastos administrativos imprevistos y seguros.

### **Adquisiciones**

Tiene la responsabilidad de adquirir todos los materiales y los equipos especificados por quienes trabajan en diseño. Esto implica el continuo contacto con multitud de fabricantes nacionales y extranjeros a lo largo del desarrollo del proyecto, pues la etapa de compras se desarrolla en forma simultánea a la del diseño de la planta y la complementa. Las actividades están encadenadas para cada uno de los equipos o clase de materiales y éstas son las siguientes: elaboración de la requisición de ingeniería (del equipo), envío a los proveedores de la solicitud de cotización, recepción de cotizaciones, elaboración de una tabulación técnico-económica de las cotizaciones, elaboración y colocación de la orden de compra, recomendación de un proveedor para el equipo, revisión y aprobación de dibujos de fabricante, inspección de la construcción del equipo, prueba del equipo, embarque y trámites aduanales. Muchas de las actividades que se citan son realizadas por quienes efectúan el diseño de la planta, pues las decisiones que se toman en lo correspondiente a las compras afectan el diseño de la planta.

### **Gerencia del proyecto**

El objetivo de la gerencia del proyecto es lograr que la planta sea construida técnicamente bien, en tiempo mínimo y a costo mínimo. Las actividades que se realizan por una buena administración de proyectos están determinados por estos criterios (véase el capítulo referente a la administración).

El gerente del proyecto verá, para la mayor parte de los programas, que el tiempo requerido para completar algunas de las funciones puede ser aumentado o disminuido sin afectar el tiempo total requerido para el proyecto. Sin embargo, otras funciones tendrán interrogaciones tales que un incremento sobre el tiempo requerido para terminarla afectará al

tiempo total requerido para realizar el proyecto; éstas son funciones críticas y se advertirá que encabezan efectos que se transmiten a lo largo de una ruta crítica (o a través de rutas críticas paralelas) desde el principio hasta el final del proyecto.

El método del camino crítico es una ruta formal para manipular las funciones individuales, con objeto de determinar la trayectoria crítica del proyecto, la que lleva al menor tiempo y generalmente al menor costo.

Ya que se ha determinado un camino crítico, puede concentrarse el esfuerzo de preparación del programa sobre las funciones críticas, que son las que realmente tienen influencia sobre el tiempo total del proyecto. Este esfuerzo puede acortar de tal modo el tiempo requerido para algunas funciones, que puede crearse una nueva ruta crítica que comprenda diferentes funciones; si ocurre esto, puede desviarse la atención hacia las nuevas operaciones críticas.



**Figura 14.- La adquisición de equipos y materiales requiere fundamentalmente de trato continuo con los vendedores de los fabricantes de equipos y materiales.**

Cuando se emplea la terminología de método del camino crítico, existe el uso implícito de una computadora para analizar el orden y las duraciones de las funciones individuales, con objeto de determinar la ruta crítica y para estimar el tiempo total requerido por el proyecto. Sin embargo, deberá tenerse en mente que los ingenieros han aplicado siempre los fundamentos del método del camino crítico a la preparación de los programas, incluso los más sencillos.

En la preparación de un programa preliminar, el gerente de proyecto puede efectuar todo el trabajo por sí solo, sobre todo si está familiarizado con el proceso o con el área en que construirá la planta. Si tiene que encarar problemas poco usuales, tal vez le sea preciso preparar una lista y coordinar la ayuda de especialistas.

Un programa detallado puede ser preliminar todavía en el aspecto de que hace suposiciones respecto a los tiempos probables requeridos por las diferentes funciones, en vez de las estimaciones de estos tiempos, que resultarían a partir de un estudio de los problemas,

Sin embargo, con independencia de la calidad que pueda obtenerse para las estimaciones de los varios requisitos de tiempo, la preparación de un programa detallado requerirá, por lo general, los esfuerzos de muchas personas.

Un programa es sólo una estimación sobre cuándo podrá efectuarse una tarea. En sí mismo, no asegura que la tarea será hecha. El asegurar que todas las tareas sean completadas a tiempo es una de las responsabilidades primordiales del gerente del proyecto.

## **Construcción**

Implica una serie de actividades interrelacionadas que deben desarrollarse en forma secuencial, hasta tener al fin una planta que esté de acuerdo con los planos y especificaciones, tanto de quienes diseñaron la planta como de quienes fabricaron los equipos. Durante la construcción se corrigen las fallas que pudieran haber aparecido durante el diseño de la planta. Las actividades principales son las siguientes: piloteado del terreno, excavación, construcción de cimentaciones, almacenamiento y control de equipo y materiales de construcción, instalación de drenajes, construcción de calles y edificios, montaje de equipo, montaje de tuberías, accesorios e instrumentos, instalación de conexiones eléctricas, instalación de aislamiento, pintura. La secuencia no es totalmente lineal, sino que existen algunos traslapes.

Para *la construcción* se requiere tener habilidades y conocimientos prácticos. Las habilidades principales son: saber leer planos y especificaciones de construcción, organizar trabajadores y trabajar en equipo; entre los conocimientos más necesarios para quien trabaja en la construcción se tienen los de ingeniería civil, eléctrica, mecánica e *instrumentación*. Para hacerse cargo del arranque de una planta, un ingeniero debe tener habilidad para probar equipo, probar circuitos eléctricos, trabajar en equipo, leer diagramas de flujo, leer diagramas de tubería e instrumentación, leer diagramas de circuitos eléctricos. Los conocimientos necesarios forman parte del campo de ingeniería de procesos e instrumentación, además del conocimiento específico de la planta y del manual de operación de la misma.

## **Arranque**

Es la etapa definitiva del proceso de creación de una planta. Es en ese momento cuando se tienen la confirmación de que el diseño y la construcción fueron realizados correctamente; en caso de tenerse fallas, se corrigen las que impidan el buen funcionamiento de la planta. Aquí también aparece una secuencia, como en todas las actividades de creación de plantas. La secuencia es en este caso la siguiente: limpieza del equipo, pruebas de funcionamiento de equipo rotatorio y de válvulas, calibración de instrumentos, limpieza de tubería, pruebas de sello de tubería y conexiones, barrido de la planta con gas inerte, carga de la planta con los materiales de proceso, corridas de prueba, estabilización final de la operación (ésta puede durar hasta dos meses).

El arranque o *puesta en marcha* de la nueva planta química, represento la culminación de una esfuerzo gigantesco; un esfuerzo que es medido en años de investigación, evaluación, diseño y construcción. Si estas etapas han sido ejecutadas con cuidado el arranque tendrá una excelente oportunidad de desarrollarse sin contratiempos; si alguno de esos pasos fue conducido con incompetencia, o si se encuentra una larga serie de problemas con el equipo, el arranque puede retrasarse grandemente y sus costos aumentarán con rapidez. La falta de rendimiento sobre la inversión de capital, los servicios y los recursos humanos técnicos, el alto costo de las modificaciones en el campo se sumarán en forma apreciable a la inversión global para la nueva planta.

El arranque de una nueva planta presenta el reto más excitante e imperioso al ingeniero químico. Este pone a prueba los múltiples aspectos de su educación básica y de su habilidad para congeniar con un grupo diversificado. El estado de ánimo suele ser muy alto cuando se alcanza el clímax del esfuerzo de diseño y construcción, la planeación cuidadosa, la competencia técnica y la dirección firme pueden sostener en alto su moral aun cuando tengan que encararse los casi inevitables problemas y fallas que ocasionan frustraciones.

La dirección del arranque debe colocarse desde el principio en manos de un ingeniero experimentado, el ingeniero en jefe de operación.

Debe integrarse una organización que sea competente para llevar a cabo el programa de arranque. Esta organización, que denominaremos equipo de arranque, deberá consistir de los siguientes elementos esenciales:

- 1.- Un grupo técnico de operación formado principalmente por ingenieros graduados, escogidos para el arranque.

2. Un grupo de adiestramiento de la planta, que se supone mantendrá el control y supervisión sobre el personal de operación no técnico, y que asumirá el control técnico de la planta cuando la fase de arranque llegue a su término.

3. Un grupo de mantenimiento, que puede formar parte del personal normal de la planta, pero que debe ser reforzado con miembros adicionales de ingeniería para la fase de arranque.

4. Un grupo de laboratorio, que será parte del personal normal de la planta, pero que será reforzado con asesores técnicos adicionales durante el arranque.

# Capítulo 6

## El ingeniero químico en la operación, la producción y el mantenimiento

Una vez construida una planta es necesario operarla, para esto debe desarrollarse una serie de actividades en forma simultánea, a fin de que la planta produzca aquello para lo que fue diseñada. Aquí desaparece el tiempo como variable importante y permanecen el aspecto técnico y el económico. El problema esencial es obtener materias primas adecuadas, procesarlas para obtener los productos establecidos y hacer llegar dichos productos a los consumidores, todo esto se desarrolla en forma continua y permanente. Con independencia de la organización de la planta, las principales actividades que deben desarrollarse son las siguientes.

### **Adquisiciones**

Tienen como objetivo suministrar todos aquellos equipos y materiales necesarios para la operación y el mantenimiento de la planta. Para ello, los encargados del mismo tienen la responsabilidad de mantener un inventario constante de materias primas, piezas de repuesto, equipo, instrumentos, accesorios, papelería, etcétera, a fin de que la planta no tenga problemas para su buen funcionamiento. Las actividades son muy parecidas a los mencionados para un proyecto, aunque en este caso se trata de mantener un inventario para cada tipo de material, con base en el consumo del mismo. Por esta razón, la labor está centrada en el mantenimiento al día de inventarios de todo aquello que se compra.

Quien está a cargo de las *compras* de una planta en operación debe tener habilidad para obtener el precio más bajo de las materias primas de mejor calidad para la planta, para mantener una reserva adecuada de materias primas de acuerdo con los planes de producción de la planta, para adquirir todas las materias primas extras en plazos mínimos, lo mismo que los equipos y materiales necesarios para el buen funcionamiento de la planta. Los conocimientos son muy concretos, pues incluyen las especificaciones de las materias primas que maneja la planta, y las calidades ofrecidas por cada uno de los proveedores para la entrega de materias primas.

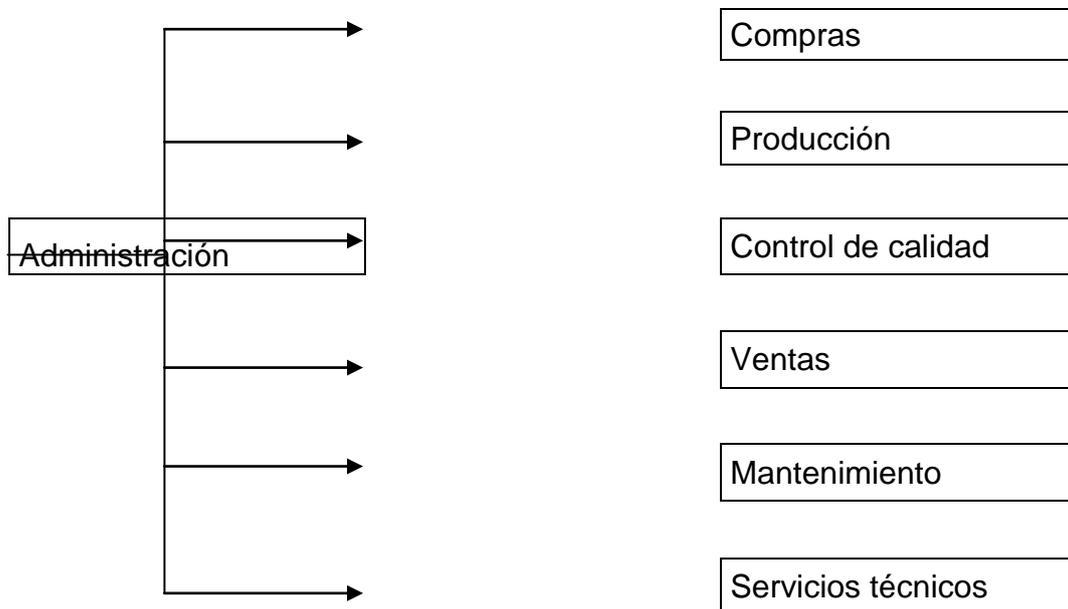


Figura 14. Actividades simultáneas que se desarrollan en una planta de procesamiento de materiales.

### **Producción**

Tiene como finalidad mantener un inventario de productos terminados, a fin de garantizar una entrega expedita a los consumidores. Los limitantes a la operación son el suministro de materias primas, la capacidad de diseño de la planta y el consumo de productos terminados. Las actividades principales que se desarrollan dentro de este campo son planeación mensual de la capacidad de operación de la planta, planeación del tiempo normal y tiempo extra, planeación del número de trabajadores, supervisión de trabajadores, supervisión de la operación de los equipos, supervisión de la calidad durante la manufactura, estimación del consumo mensual de materias primas, determinación del costo unitario de los productos terminados, y mantenimiento de la seguridad industrial. Todas las actividades implican una labor de equipo, que es imprescindible para un buen desarrollo de los mismos. El ingeniero de planta tiene que tratar con obreros y capataces, debe de ser apto para transmitir sus órdenes con claridad y, al mismo tiempo, debe tener tacto para no herir susceptibilidades. Las buenas relaciones humanas son importantísimas, pues sólo así se evitarán problemas como bajas en la producción, huelgas y sabotajes.

En las fábricas químicas modernas, el número de obreros es muy reducido en comparación con otros tipos de fábricas, pues la tendencia es que éstas se encuentren lo más automatizadas posible.

El control de la producción se hace desde la sala de control, en donde se tienen grandes paneles, en los que se muestra el funcionamiento de la planta.

En los grandes complejos petroquímicos y en las refinerías los cambios en la producción se suelen hacer con ayuda de computadoras; sin embargo, es el hombre quien finalmente toma la última decisión.

El trabajo de producción es un trabajo duro, las fábricas modernas operan por lo general las 24 horas del día, sin parar más que en días programados para el mantenimiento y reparación de algún equipo mayor.

Debido a ese patrón de trabajo, el ingeniero de producción tiene que rolar turnos, es decir, un día trabajará en el turno matutino y al otro, en el vespertino. En otras ocasiones sólo se labora de día o de noche.

El ambiente de trabajo es pesado, unas veces con frío y otras con calor, hay mucho cuidado, y el peligro de accidentes está siempre presente; por ello, los ingenieros de producción deben prestar mucha atención a las medidas de seguridad y de cuando en cuando asisten a cursos de entrenamiento en seguridad o hacen prácticas de control de fuego, primeros auxilios, etcétera, para mantener al personal entrenado ante una posible conflagración.

El ingeniero de producción no está obligado a vestir de corbata y traje, pero tiene la obligación de vestir un uniforme adecuado que le proporcione seguridad, con casco y botas y, en algunos casos, máscaras, ropa antiácida y guantes. Al mismo tiempo debe velar porque los operarios usen también este equipo protector.

En la producción, las decisiones deben ser rápidas, sobre la marcha, para evitar fallos o interrupciones. El ingeniero siente que la responsabilidad de vidas y dinero depende de sus decisiones acertadas. Es un trabajo duro y para hombres duros que sienten el amor por su profesión. Los conocimientos más útiles en el campo de la producción es la ingeniería de procesos, las operaciones unitarias, las ingenierías eléctrica y mecánica, los conocimientos sobre corrosión, mantenimiento, inventarios y, sobre todo, las relaciones humanas.



**Figura 15.-** Entre las actividades de producción es muy importante vigilar el buen funcionamiento de todos los equipos necesarios para obtener los productos deseados.

El mundo del ingeniero de producción es la fábrica, lleno de tuberías, válvulas, torres y reactores, el mundo real en donde se llevan a la realidad las transformaciones físicas y químicas en aparatos gigantescos de los que salen continuamente los productos que el ingenio del hombre creó.

El control de calidad es la comparación contra normas preestablecidas de materias primas, materiales en proceso, productos terminados y material de empaque. Generalmente existen equipos e instrumentos especiales para cada aspecto de la calidad que se está controlando. Los aspectos que con más frecuencia se controlan son los que siguen: composición química, color, sabor, estabilidad.

### **Control de calidad**

Se requiere tener habilidad para la *determinación* de propiedades, para elaborar procedimientos y métodos de control de calidad, elaborar estadísticas y determinar los límites mínimo y máximo de la variable controlada. Los conocimientos más útiles son los de química experimental, análisis químicos, fisicoquímica experimental y estadística. Estas actividades pertenecen más bien al campo de un químico, aunque tradicionalmente un ingeniero químico empieza sus actividades en una planta haciendo análisis en el laboratorio de control.

Hoy en día el control de calidad es importantísimo y requiere del empleo de máquinas y aparatos sofisticados, así como de personal competente y con estudios especializados. Hoy en día la filosofía de calidad total ha hecho que el control de los procesos sea riguroso y con apego a normas y estándares mundiales.

### **Ventas**

Tienen como función hacer llegar a los compradores los productos terminados, con base en las ventas se determina la producción de la planta y la necesidad de materias primas. Las actividades principales del grupo de ventas son: visita a los posibles compradores, preparación de cotizaciones, expedir la entrega de pedidos, atender reclamaciones, estudio de necesidades de productos en el mercado, hacer publicidad a los productos de la planta. Las ventas han sido el complemento directo de la producción (véase el capítulo 7).

### **Mantenimiento**

Tiene por objeto mantener todos los equipos, accesorios e instrumentos de la planta en tal estado que la operación de la planta no presente problemas. Las principales actividades desarrolladas por quienes están a cargo del mantenimiento de una planta son: limpieza de la planta, calibración periódica de instrumentos, elaboración de curvas de vibración de equipo rotatorio, pintura periódica de equipo, engrasado periódico de equipo. Las actividades de mantenimiento han estado muy ligadas a las de producción y son su apoyo más importante.



Figura 16.- El control de calidad es indispensable en las plantas químicas.

### **Servicios técnicos**

Por lo general funcionan tanto para la planta como para los consumidores de los productos de la planta. Internamente tienen a cargo, sobre todo, obtener datos sobre la operación de las diversas partes de la planta a fin de mejorar su funcionamiento, buscar materias primas sustitutivas, ensayar materiales de empaque alternos, resolver problemas de la operación de la planta. Con respecto al exterior, su

responsabilidad principal es resolver problemas de los consumidores en cuanto al uso de los productos de la planta.

En el campo de *servicios técnicos* se debe tener, de manera especial, habilidad para hacer modificaciones de equipo o de condiciones de operación en la planta, hacer sustitución de materias primas, estudiar fallos permanentes de operación y estudiar problemas de calidad de productos. En lo referente a conocimientos, éstos pueden ser muy variados, aunque se pueden mencionar operaciones unitarias, ingeniería de procesos, ingeniería de proyectos, fisicoquímica, química, entre los más frecuentemente usados.

### **Administración**

Tiene como objetivo coordinar todas las actividades mencionadas y dar el apoyo necesario para que se lleven a cabo. El interés primordial es lograr que cada uno de los grupos cumpla con sus objetivos. El nivel administrativo determina si se trata de objetivos inmediatos o bien de objetivos a largo plazo.

En lo que toca a apoyo se tienen necesidad de servicios de contratación de personal, organización legal y mantenimiento de una contabilidad al día, entre otros.

La principal capacidad requerida de quien es responsable de la administración de una planta es lograr que cada una de las personas que trabajan en ella cumpla con sus objetivos; esto requiere que se tenga habilidad para organizar personal, para planear a largo plazo las actividades de la planta, para definir las responsabilidades de cada grupo y para controlar adecuadamente el desarrollo de las actividades. En lo referente a los conocimientos, debe tenerlos en lo que toca a producción, mantenimiento, adquisiciones, control de calidad, ventas y servicios técnicos.

La administración se presenta de hecho a todos los niveles; estas actividades se refieren principalmente al nivel total. (Véase el capítulo 8)

# Capítulo 7

## El ingeniero químico y las ventas

Es obvio que una planta química esté justificada si sus productos se venden, esto es, que lleguen de la planta al consumidor, reportando al mismo tiempo beneficios a la planta productora. Esto parece fácil, pero en una economía, en donde existe la competencia, esta actividad se convierte en la más importante y decisiva.

Como ya se dijo antes, la industria química es una de las industrias más cambiantes y competitivas, y por lo tanto eso significa que los riesgos de desaparecer son grandes si no hay una planeación adecuada del producto, de las funciones de éste, del mercado al que va dirigido, del precio de venta, de los productos sustitutivos, de la publicidad y del *servicio* técnico a los clientes.

En realidad, el Departamento de Ventas de una compañía hace mucho más que vender, y recibe en muchos casos el nombre de Departamento de Mercadotecnia, porque sus funciones son más o menos las expresadas en el párrafo anterior.

Desde luego que hay productos en los que se puede desistir de todo el esfuerzo publicitario, del análisis del mercado, del estudio de la competencia o de los productos sustitutos, sobre todo cuando este producto es único en el mercado y protegido por el monopolio del estado, como es el caso de las gasolinas estatales, pero hay una gran variedad de productos, como los alimentos, los cosméticos, los pigmentos, los plásticos, las bebidas, los pegamentos, las pinturas, todos ellos más o menos relacionados con la química, que sí requieren de un cuidadoso estudio de mercado.

Si el ingeniero química quiere dedicarse al área de las ventas, tendrá que abandonar la práctica detallada de la ingeniería para aprender nuevas disciplinas relacionadas con estudios de mercados, técnicas de ventas, negociación y motivación.

La mayor parte del trabajo de ventas requiere del contacto con cliente o posibles clientes; por esta razón, al ingeniero interesado en trabajar en esta área deben gustarle las relaciones humanas, debe de tener una personalidad agradable, debe saber escuchar a las personas, pero al

mismo tiempo debe ser capaz de convencer al cliente de las ventajas de los productos de su compañía; este convencimiento no debe confundirse jamás con el engaño, pues el vendedor debe no sólo lograr que el cliente compre una vez, sino que continúe comprando y que se sienta satisfecho de los servicios que le proporciona la compañía.

El concepto actual de las ventas es que éstas proporcionen un beneficio a largo plazo, tanto al consumidor como al cliente.

La mayor parte de las empresas utiliza a sus agentes para producir ventas y muchos lo conceden la función central en la creación de los mismos.

Por lo tanto, el ingeniero que se dedica a las ventas es el representante de su compañía y como tal no sólo vende sus productos, sino que también lleva las políticas y programas de su compañía, algunas de las cuales pueden no ser del gusto del cliente. Como representante de la compañía deberá evitar que el cliente se enfade y rompa relaciones cuando él mismo u otra persona cometen errores.

El sueldo de los ingenieros que se dedican a ventas es variable, y dependerá de sí su sueldo está basado en un salario más comisión, o sólo es un sueldo con bonificaciones anuales.

En general, los sueldos de los ingenieros que se dedican a ventas son más altos que los de quienes trabajan en otros departamentos, con excepción de la Gerencia Administrativa. Como dijimos en varios ocasiones, el tipo de productos relacionados con la química es infinito y puede ir desde la categoría de mercancías y productos básicos como la cal, el cemento, el ácido sulfúrico, el polietileno, etcétera.

El ingeniero dedicado a la venta de estos productos sólo puede hacer hincapié en el precio y en la entrega confiable, y si tiene muchos productos que ofrecer, tendrá poco tiempo para el servicio técnico.

En el otro extremo está la venta de ingeniería de servicio, la venta de equipo y la venta de productos químicos especiales, de todos los cuales sólo se pueden obtener pedidos basados en un gran conocimiento técnico, calidad y asistencia técnica.

La primera etapa en las ventas de un nuevo producto comienza mucho antes de que el nuevo proceso esté en operación.

El Departamento de Mercadotecnia de una compañía debe iniciar el estudio del mercado tan pronto como se tenga la idea de un nuevo producto; si el producto propuesto es totalmente nuevo, se debe pensar quienes pueden ser los compradores potenciales, investigar dónde se encuentran y llegar a ellos para conocer sus opiniones.

De esta investigación se obtienen las tendencias, los gustos y las modalidades de consumo de los posibles clientes, (investigaciones sobre sabores, aromas, colores, hábitos de compras, patrones culturales, etcétera), los posibles sustitutos, el tamaño potencial del mercado.

Si la gerencia decide continuar con el proyecto, sobre las bases de esta investigación preliminar se puede construir la planta piloto o hacer lotes piloto para que se tenga la cantidad necesaria de producto que se

hará llegar a los clientes, de manera que estos puedan probarlo; por ejemplo, prueba de cervezas, cigarrillos, pinturas, maquinaria, etcétera. Si el producto propuesto está ya en el mercado, la investigación de mercado determina cuánto más material puede absorber el mercado nacional y extranjero, la porción del mercado que controlan los competidores y las opiniones de los clientes.

En la investigación de mercado se obtienen también datos sobre los productos en existencia, los posibles usos de los de mercado, la competencia, los productos sustitutos, las nuevas tendencias del mercado, y el efecto y penetración de las campañas publicitarias.

A través de las pruebas limitadas del uso de un producto se pueden obtener las fallas o limitaciones del producto y así se procede a eliminarlas.

Si el problema es grande, el ingeniero de desarrollo, consulta con el Departamento de Investigación; por ejemplo, la investigación de mercado puede indicar que el público no le gusta el nuevo refresco que va a lanzar la compañía, por ser muy ácido para el gusto de una región; entonces, los encargados de desarrollo (químico o ingenieros), tratarán de alterar el sabor para que el gusto del refresco se adapte a los requerimientos de esa región.

El ingeniero que trabaja en el Departamento de Mercadotecnia también puede dedicarse a las ventas técnicas, y al servicio técnico a clientes. En muchos casos es el mismo ingeniero el que vende y el que da servicio técnico.

El vendedor técnico vende sus productos debido al conocimiento que tiene de ellos, de sus propiedades y de la forma en que pueden ayudar al cliente.

Si el cliente prueba los productos, el vendedor técnico ayudará al cliente a resolver los problemas que se presenten en el uso del producto.

Esta asistencia es lo que se conoce como servicio técnico.

El vendedor técnico, si es necesario, puede pedir la asistencia del grupo de desarrollo de productos para que le ayude a resolver el problema de su cliente. Son muchos los productos que se venden debido al servicio técnico que se ofrece, y el cliente puede cambiar de un proveedor a otro tan sólo basándose en la mejor asistencia técnica que recibe; así, el vendedor de polímeros no sólo vende esos productos, sino también la forma en que deben procesarse, pigmentarse, utilizarse, etcétera. Como tal, el ingeniero de servicio técnico tiene que trabajar en la fábrica del cliente, operando máquinas y corriendo pruebas.

La asistencia técnica es más frecuente en la venta de maquinaria y equipo de proceso, llegando hasta vender el montaje y el arranque de la maquinaria y los servicios rutinarios junto con la compra del equipo.

Desde luego que la venta de equipo de control u operación, y los equipos de proceso (bombas, cambiadores, torres de enfriamiento, torres de absorción, calderas, etcétera), sólo pueden efectuarla personas con la suficiente preparación técnica que les permita hablar con los clientes,

razón por la cual las compañías suelen contratar a ingenieros químicos como sus agentes de ventas.

No hay forma eficaz de llevar a buen éxito un negocio si no se hace lo posible por medir la magnitud real de los mercados presentes y futuros.

La demanda actual puede calcularse para todo el mercado de los distintos territorios de ventas.

Para calcular la demanda futura se deben usar los métodos de producción más adecuados, función que pueden llevar a cabo los ingenieros.

Otra de las funciones del Departamento de Mercadotecnia esta relacionada con el desarrollo de productos, y encuentra usos para productos nuevos y nuevos usos para productos viejos.

Esta es una forma de investigación aplicada y puede requerir de la solución complicada de problemas químicos y, de ingeniería.

Se la considera una parte de ventas porque está más relacionada con la venta de un producto que con su manufactura.

*La investigación de mercado ayuda al desarrollo del producto, indicando los deseos del cliente, las dificultades de los productos existentes o la falta de un producto apropiado para un sector del mercado.*

La campaña publicitaria se basa en todos los datos proporcionados por la investigación del mercado. No importa lo bueno que sea un producto; si el cliente no tiene conocimientos de él, no lo comprará.

La publicidad hace evidentes las ventajas del producto, pero también las desventajas de la competencia.

Hoy, la publicidad está relacionada con la marca y el tipo de envase. Se ha encontrado que hay nombres más atractivos para el común de la gente, que otros y que un nombre que se asocie con palabras o hechos desagradables puede hacer que el producto quede en la bodega.

El envase es hoy muy importante, tanto que hay productos que se venden sólo en ciertos envases muy estudiados, así pasa con los aerosoles, las pastas dentales, los comestibles, los perfumes, etcétera.

La presentación final del producto hace que éste pueda o no ser aceptado por el cliente; así, se prefieren en ciertos casos polvos, cristales, líquidos o gases, y el personal de desarrollo tiene que investigar y obtener la forma más apropiada para la presentación final de cada producto.

Por desgracia, no todos los artículos y productos que satisfacen las necesidades individuales son convenientes para la sociedad, pues algunos provocan problemas de contaminación; ellos son los detergentes, las gasolinas con aditivos de plomo, los aerosoles, etcétera, o problemas de exceso de desperdicio, como las botellas no retornables, las bolsas de polietileno y los pañales desechables, o problemas de nutrición, como los refrescos, los cereales en hojuelas, etcétera.



Figura 17.- La publicidad es importantísima en las sociedades modernas.

El papel del ingeniero químico que trabaja en el Departamento de Mercadotecnia es informar sobre estos peligros a los encargados del desarrollo del producto, indicando los posibles sustitutos de ellos, por ejemplo el desarrollo de detergentes biodegradables, el uso de bolsas de papel, los refrescos elaborados a base de azúcar y pulpas de frutos, etcétera.

La mercadotecnia ejerce una influencia profunda en la sociedad, en la competencia entre los negocios y el bienestar del consumidor. Para adquirir una idea más acertada de todos estos aspectos y perfeccionar sus modos prácticos de obrar, los directores de mercadotecnia deben estar enterados de las críticas principales que se hacen acerca de esta profunda influencia.

El impacto de la mercadotecnia en la sociedad ha sido objeto de críticas por su excesivo materialismo, por la manipulación de la demanda, por el desprecio de los bienes y costos sociales, por la contaminación cultural y por la concentración del poder político en manos de los hombres de negocios. El impacto de la mercadotecnia en la

competencia, que caracteriza al mundo de los negocios, ha sido objeto de críticas por la adquisición anticompetitivo, por las elevadas barreras que ponen a la entrada en la industria y por la competencia destructora. El impacto de la mercadotecnia en el bienestar de los consumidores ha sido objeto de críticas por la elevación de precios, por las prácticas dolosas, por las ventas de alta presión, por la falsificación o inseguridad en los productos, por su obsolescencia planeada y por la discriminación de las minorías.

En la mayor parte de estos cargos hay algo de verdad, aunque, si se examinan con detenimiento, se observan exageraciones en las críticas.

Las consecuencias negativas de las actividades de mercadotecnia puede restringirse o limitarse en virtud de leyes que afectan a las relaciones competitivas y a las decisiones relativas a los productos, precios, promociones y canales de distribución. Las empresas pueden contribuir a limitar estos esfuerzos negativos adoptando la práctica de *la mercadotecnia iluminada*, que se caracteriza por estar orientado hacia el consumidor, por ser innovadora, por estar cargada de valores genuinos, por su sentido de misión y por su encauzamiento hacia el bienestar de la sociedad. Finalmente, la conciencia individual del director de mercadotecnia puede ayudarle a determinar los cursos de acción que se debe adoptar.

# Capítulo 8

## El ingeniero químico y la administración

Una empresa, tanto química como de otra índole, está formada por individuos que tienen un objetivo común. La empresa no es las utilidades, ni el equipo ni los edificios; la empresa es un grupo de personas. Hay diferencia entre acaparadores de dineros y empresarios; el empresario no es el dueño de la empresa: es el responsable de ella y puede o no ser dueño del capital. El objetivo de una empresa es de carácter social.

En el caso de las industrias químicas su función es producir bienes para mejorar el nivel de vida de la humanidad.

Desde luego que una empresa tiene que generar utilidades, pues si no es autosuficiente se convierte en parásito de la sociedad. La primera función de un dirigente es la subsistencia de la empresa. Para ello debe ser un buen administrador.

Puede definirse *la administración* como el control de la organización; es una función dinámica que se ejerce constantemente.

Un directivo tiene como funciones básicas la administración y la organización.

La dirección está en todos los niveles. No se debe pensar que esta función es sólo de los altos directivos, pues en general se puede decir que se empieza a ser gerente en el momento en que alguien depende de nosotros. Un gerente es aquel que supervisa, y dirige a un grupo de personas que están a su cargo.

En general, cuanto más cerca se está de los que hacen las cosas, más habilidad técnica se necesita. Casi todos los egresados de ingeniería química empiezan por hacer cosas relacionadas estrechamente con su formación técnica.

Pero aquellos que hacen bien las tareas que le son encomendadas, llámense diseño, investigación, ventas, mantenimiento, etcétera, son ascendidos de nivel y empiezan a supervisar el trabajo de otros. En ese momento, además de sus capacidades técnicas (manejo de cosas), empieza a necesitar habilidades para manejar gente y para manejar ideas, esto ha sido llamado nivel de gerencia junior.

Si el profesionalista desempeña bien su puesto ascenderá a otro nivel, en el que actuará como jefe de los jefes de los que hacen las cosas; en

este nivel, la necesidad de manejar ideas y personas es más importante que las capacidades técnicas.

Por último, en el nivel de alta gerencia casi no se necesitan capacidades técnicas, es decir, es muy poco probable que un ingeniero químico en la alta gerencia haga diseño o investigación, y deberá dedicar todo su tiempo al manejo de ideas y personas. El alto gerente dedica más tiempo a pensar en las cosas, y mucho en las personas.

Esto se puede apreciar en la figura 9.

Un dirigente debe de tener dotes de caudillo; debe influir sobre la gente, para así poder alcanzar los objetivos determinados. En general, la función de todo dirigente es la administración.

La administración está formada por una serie de funciones que comienza con la planeación (toma de decisiones), a través de la cual se establecen las normas (modelos, reglas, procedimientos, planes y políticas) para guiar la conducta del subordinado.



Figura 18. Al subir en la organización, las habilidades administrativas humanas se hacen más importantes que las capacidades y el conocimiento técnico.

Como se dijo antes, la labor de todo dirigente comienza por planear predeterminar el curso a seguir. Como parte de la planeación está el uso de modelos para determinar el futuro, o sea, pronosticar hacia dónde van las ventas, que producción se requerirá, cómo subirán los costos, etcétera. Con buenos pronósticos se pueden fijar bien los objetivos. Cuanto queremos vender, cuándo deberemos producir, cuánta gente hay que contratar, etcétera. Si se tiene un objetivo se pueden desarrollar estrategias para alcanzarlo formulando las políticas de la compañía.

¿Produciremos para exportar o no?, ¿A qué precio se deberá vender?, ¿Qué presupuesto se requiere?, ¿Qué créditos se deberán obtener?

A la función de planeación le sigue la de programación, o sea, el establecimiento de prioridades o secuencias y la sincronización de los pasos a seguir. Se programa cuando se tiene un plan y con ello se define cuándo se debe aplicar la decisión. Una vez que se ha programado el curso de las acciones a seguir se deben asignar recursos.

Los recursos que requieren los proyectos son humanos, materiales y de autoridad, o intangibles. Para que se alcancen los objetivos en forma económica, los recursos se deben planear, programar y asignar a tiempo.

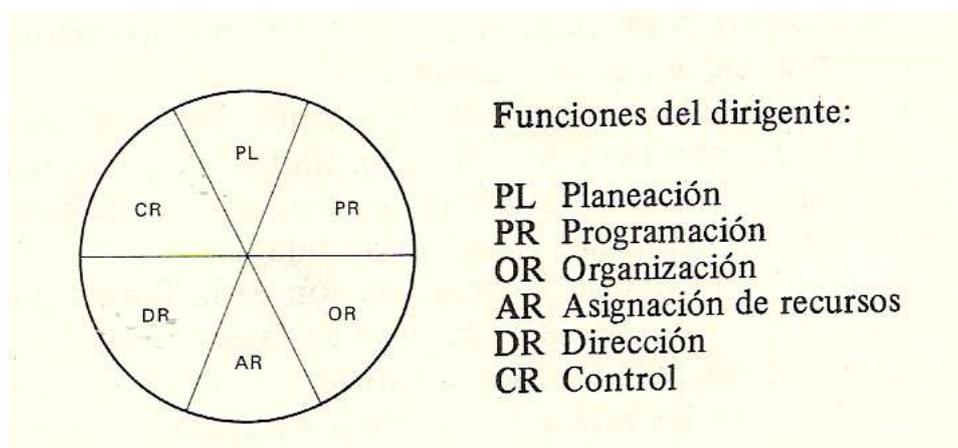


Figura 19.- Funciones de todo dirigente

Dijimos en el párrafo anterior que unos de los recursos necesarios para cualquier proyecto son intangibles; ellos están dados por la organización.

Se necesita una organización porque hay que cumplir con un objetivo, se deben optimizar los recursos, llevar un control, comunicar, coordinar y establecer los niveles de autoridad y responsabilidad.

Se puede decir que la organización es la fuerza para lograr el objetivo, y es la estructura de la empresa.

Al organizar se establece la estructura de una empresa, se delimitan las relaciones entre los puestos, se describen las responsabilidades, autoridades y funciones de cada puesto, y se fijan los requerimientos de cada puesto.

Para lograr tener una organización capaz de alcanzar un objetivo se debe reclutar el personal competente en cada puesto, orientar y familiarizar al personal con el nuevo trabajo, adiestrarlo mediante instrucción y práctica, y ayudarlo a que mejore sus conocimientos, actitudes y habilidades.

La función de dirección está encaminada a propiciar actuaciones que estén dirigidas hacia los objetivos señalados. Para ello, un buen dirigente debe saber delegar. El delegar consiste en que un subordinado tome una decisión, aceptarla como la más adecuada y apoyar la decisión.

La delegación depende de la madurez del jefe, ya que debe aceptar que otra persona pueda tener ideas tan adecuadas como las que él tiene, y a su vez depende de la capacidad del empleado para generar ideas, y del entrenamiento que se le ha dado. El jefe debe ir delegando poco a poco responsabilidad hasta que el subordinado sepa hacer todo

lo que el jefe; así podrá el jefe dedicar tiempo a ascender. Pero los jefes no deben delegar la dirección, ni la formación del personal, ni la responsabilidad total; deben aplicar el principio de subsidiaridad, o sea, delegar en el subordinado todo lo que sea posible y quedarse sólo con lo que sea necesario que ellos resuelvan.

Para dirigir se debe motivar por convencimiento a cada uno de los participantes en un plan y coordinar los esfuerzos de todos ellos, logrando que se superen las diferencias entre las personas y estimulando la creatividad y la innovación.

La última función del proceso administrativo es la del control. Se debe controlar para asegurar el progreso hacia los objetivos fijados por el plan de trabajo. Los controles se usan para revisar que las políticas, los objetivos y las funciones se lleven a cabo y que las desviaciones y distorsiones sean enmendadas a tiempo. Para ello se requiere de información y de fijación de normas de actuación, y con ellos medir los resultados. Si el resultado no es todo lo bueno que se desea, se deben tomar medidas correctivas, es decir, reajustar los planes, asesorar para alcanzar metas, replanificar y repetir el ciclo administrativo, al tiempo que se felicita, remunera o disciplina al personal de acuerdo con el trabajo desarrollado.

Volvemos a insistir en que toda persona que tiene bajo sus órdenes a otras personas es un jefe, y por lo tanto se debe efectuar las funciones de administración antes señaladas en mayor o menor medida.

La administración está, pues, presente en cada una de las actividades que se desarrollan dentro de una empresa química.

Las actividades encaminadas a la creación de industrias, que son principalmente la planeación, la investigación aplicada, el diseño, las adquisiciones, la construcción y el arranque de plantas, necesitan de un jefe de proyectos que controle y coordine estas actividades.

La administración, durante el proceso de creación de industria está centrada alrededor de la planeación, ejecución y control de actividades desde el punto de vista técnico, desde el punto de vista calendario y desde el punto de vista costo; al mismo tiempo, debe cuidar que existan los servicios de apoyo para llevar a cabo las actividades señaladas. El objetivo de la administración es lograr que la planta sea construida técnicamente bien, en tiempo mínimo, y a costo mínimo.

Las actividades que se realizan para una buena administración de proyectos están determinadas por estos criterios, los cuales se aplican especialmente para diseño, compras, construcción y arranque. Una vez que existe el personal necesario para ejecutar las actividades del proyecto, es necesario planear y controlar el desarrollo de las actividades respectivas. Se tiene, en planeación técnica, especificaciones de equipo, de materiales de construcción; en planeación de calendario. programa de proyecto, programa de erogaciones; planeación de costos, estimado de equipo, estimado de horas-hombre, estimado del costo total de la planta;

control técnico: juntas de depuración de criterios de ingeniería, revisión de hojas de datos.

Para hacerse cargo de actividades de administración en la etapa de *creación de industria* es necesario tener una idea lo más completa posible de cada una de las actividades que se administran a fin de estar en posibilidades de lograr que se cumplan los objetivos de los diversos grupos. Las capacidades más importantes son las de organizar, planear y controlar las actividades de quienes forman el equipo de trabajo. En cuanto a conocimientos, se deben tener los más profundos posibles de todos los mencionados anteriormente para cada actividad.

Las actividades anteriores cambian continuamente al cambiar de caso o problema.

Las actividades relacionadas con la operación de plantas, como producción, control de calidad, ventas, adquisiciones, mantenimiento y servicios técnicos suelen estar dirigidos por un gerente de planta.

Estas actividades suelen ser rutinarios y el objetivo de la administración es buscar la optimización económica.

Una planta en producción requiere de una planeación de sus ventas y producción.

Para llevar a cabo lo anterior, la empresa necesita una organización en la que se indiquen las responsabilidades, las funciones y la autoridad de cada una de las personas que trabajan en ello.

Por lo general, las funciones más importantes y que requieren de un gerente son producción, ventas y finanzas. Estos tres departamentos tienen que trabajar de común acuerdo, pues la empresa se moverá al ritmo del más lento.

Finanzas es la encargada de asignar recursos a toda la compañía.

Producción es la encargada de la creación de los materiales que va a vender la fábrica.

Por último, ventas es la encargada de hacer llegar esos productos al público.

No suelen ser raras las disputas entre esos departamentos. El gerente de planta tendrá que limar las asperezas entre los subalternos persuadiéndolos de que deben trabajar en equipo, ya que, como dijimos al principio del capítulo, una empresa está formada por individuos que tienen un objetivo común. Hay mucho más que aspectos técnicos tras los productos que llegan al consumidor.

# Capítulo 9

## El ingeniero químico en otras áreas de trabajo

### El ingeniero químico en asesorías

Uno de los trabajos más interesantes para el ingeniero químico es el de consultor o asesor, pues éste recibe la mayor o gran parte de sus entradas como profesionista libre, es decir, él es su propia empresa, trabaja para sí mismo dando *asesoría* a la gente que lo solicita.

El ingeniero químico consultor es una persona con profundos conocimientos y experiencia en alguna rama de su carrera, que ha decidido independizarse o ganar algún dinero extra dando consultoría a compañías que tienen problemas en el área que él domina.

Para muchas compañías es más oneroso tener contratado a un especialista que consultar al mismo cuando tienen un problema. El pago por la consultoría se establece mediante un arreglo en que se mide el tiempo probable requerido por él, la dificultad de la materia y el prestigio del consultor o asesor.

Casi todas las empresas pequeñas y no pocas de mediano calibre requieren de los servicios de un asesor o un consultor, o alguna consultora.

Por ejemplo, si una compañía pequeña tiene un problema con la fabricación de un pesticida, le será más económico contratar los servicios de un especialista en el campo, el cual posiblemente ha trabajado en compañías mayores o está haciendo experimentos en ese campo, que contratarlo permanentemente. Una gran cantidad de profesores universitarios completan sus escasas entradas como catedráticos dando asesoría a industrias que no se podrían darse el lujo de contratarlos permanentemente.

Aun para las compañías grandes es demasiado caro tener especialistas en todos los campos, por lo que con frecuencia contratan servicios de asesoría.

En ciertos casos, un grupo de ingenieros con experiencia se reúne para formar una compañía consultora, la que con frecuencia se especializa en algún ramo, como puede ser combustión, catálisis, control de procesos, etcétera.

El trabajo del consultor no es fácil, pues debe laborar solo, fiado en sus recursos y su capacidad. Generalmente se topa con los celos profesionales de los ingenieros de la compañía que lo contrató, pues

estos resienten que se haya llamado a una persona de fuera, al no poder ellos resolver el problema.

El ingeniero o la compañía consultora debe tener mucho tacto al tratar con estas personas, y convertirse en un aliado a ellos, pues de esta manera lo ayudarán y le darán datos que pueden solucionar el problema. El ingeniero consultor debe tener una gran confianza en sí mismo, pues ha de defender sus puntos de vista sin que nada más que su prestigio lo respalde, pero no debe hacer sentir su superioridad y en muchos casos tiene que presentar las soluciones de manera tal que parezcan haber sido sugeridos por los que lo contrataron.

El trabajo de consultor tiene el gran atractivo de no ser rutinario; cada caso es un nuevo reto con nuevas dificultades.

Tiene la desventaja de que no ser un trabajo con compañeros permanentes, y así no se logra la camaradería de que gozan sus otros colegas; por otro lado, sus entradas son también fluctuantes, pues dependen de los trabajos que pueda contratar, o dicho de otra forma, no tiene garantizada la paga mensual como el resto de sus colegas. Además, debe señalarse como una ventaja que no tiene que aguantar a ningún jefe ni hacer trabajos que no le interesen.

### **El ingeniero químico en bancos y financieras**

El ingeniero químico también trabaja en bancos y financieras en los departamentos de estudios económicos y evaluaciones.

El trabajo del ingeniero químico casi nunca se puede separar de la economía, la cual influye en el desarrollo, diseño, construcción y operación de cualquier proceso químico competitivo.

Cuando el ingeniero químico recién egresado empieza a trabajar, tiene la mente llena de números de Reynolds, coeficientes de transferencia, platos teóricos, etcétera. Espera su primera misión con confianza y seguro de que su entrenamiento técnico le permitirá manejarlo. Sin embargo, pronto descubre que hay en el trabajo algo más que química, física o matemáticas; pronto se encontrará con que ciertas cosas que se ven bien desde el punto de vista técnico no se pueden hacer, mientras que otras que parecen ineficientes son las que se deben usar. Encontrará que hay ciertas elecciones en las que no ayuda el simple entrenamiento técnico. Pronto empezará a ver con claridad que la economía es la guía en la práctica de la ingeniería química.

Hay algunas razones por las que se deben efectuar estudios económicos; entre estas se cuentan:

- El desarrollo de nuevos productos
- La expansión de una compañía
- El funcionamiento de una compañía
- La utilización de los productos
- La investigación de las patentes, licencias y regalías.

En la actualidad es muy frecuente que las industrias pidan préstamos a la banca para financiar su crecimiento o para emprender la fabricación de nuevos productos.

Los ingenieros químicos actúan como asesores de los bancos visitando la empresa para darse cuenta de sus métodos de trabajo, la tecnología usada, y para estudiar los planes desde el punto de vista técnico que le presentan las industrias peticionarias.

Estos estudios, junto con los de los estados financieros (balances y estados de pérdidas y ganancias), servirán para que la banca otorgue o no el préstamo pedido.

Las financieras, además de hacer préstamos a la industria, generan a su vez otras industrias, para ello, si quisieran invertir en el ramo de la química, deberán hacer estudios concienzudos de mercado, de los posibles sustitutos para ciertos productos, de las cantidades que se deberán producir y de la posible rentabilidad de las industrias químicas en los que se proponen invertir.

Estos estudios los efectúan ingenieros químicos que trabajan en las financieras. También son ellos los encargados de investigar los diferentes procesos que existen para fabricar las sustancias químicas que se quieren industrializar y las patentes, así como las compañías que dan licencias para la explotación de las mismas.

Ellos deben evaluar qué proceso es más conveniente para la escala que se piensa construir y cuál es el que presenta mayores ventajas desde el punto de vista de la obsolescencia y competitividad.

Otro tipo de estudios que se hace en la banca y las financieras es el que se refiere a la industrialización del país, el monto de la inversión en ciertas industrias, las posibilidades de industrializar ciertos recursos, la demanda futura de productos químicos en el país, las tendencias de exportación o importación de ciertos productos, etcétera, estudios donde también pueden intervenir los ingenieros químicos.

### **El ingeniero químico en el gobierno**

Cierto número de ingenieros químicos tienen como empleador al gobierno, o sea, trabajan para alguna Secretaría, dependencia u oficina gubernamental, ya sea federal, estatal o municipal.

Los ingenieros químicos trabajan junto con los ingenieros sanitarios en el control, purificación y tratamiento de las aguas potables y negras que llegan y salen de las ciudades.

Gran número de operaciones efectuados para purificar las aguas de consumo humano e industria, o para tratar las aguas negras de las ciudades o residuales provenientes de las industrias, son químicas o están relacionados con las operaciones unitarias que estudia un ingeniero químico durante su carrera.

El gobierno contrata también ingenieros químicos para que lo ayuden en su lucha contra la contaminación ambiental, que puede ser atmosférica, de aguas o de suelos. El ingeniero, con base en los análisis efectuados en los afluentes de las fábricas, determina si son peligrosos o no y cómo tratarlos para abatir la concentración de las sustancias dañinas.

El ingeniero químico, basándose en los estudios de transferencia de masa, puede presentar modelos sobre el comportamiento del *smog* en las zonas afectadas y predecir el comportamiento de éste bajo condiciones climáticas diferentes. Desde luego, sus estudios le permitirán sugerir también los mejores equipos desde el punto de vista de eficiencia y costo para eliminar gases, polvo, humos y líquidos y sólidos contaminantes.

Las oficinas de patentes requieren también de la asesoría de ingenieros químicos, pues sólo ellos pueden indicar si un proceso es patentable o si ya está cubierto por alguna patente extranjera.

También ellos pueden asesorar a la empresa sobre la mejor manera de presentar la patente.

La importación y exportación de materiales químicos requiere de conocimientos sobre los posibles sustitutos y la interrelación que tienen unos productos con otros; las oficinas de aranceles necesitan, pues, trabajar con algunos ingenieros químicos que los asesoren en esas materias.

### **El ingeniero químico y el problema ambiental**

El hombre al evolucionar se convirtió en un depredador de la Naturaleza, provisto del fuego y más tarde del hacha de piedra o de acero; taló bosques, quemó las praderas, secó los pantanos y transformó con su actividad la faz terrestre.

La producción de desperdicios no presentaba problemas para el hombre primitivo ni para la Naturaleza, pero cuando este se volvió sedentario y comenzó a vivir en pueblos y ciudades el problema de la basura y los excrementos se hizo relevante, al incidir en la salud de la comunidad, por las descargas que se hacían en la tierra, en el agua y la atmósfera.

Debido a ello todas las comunidades tuvieron que emprender obras que hoy caen dentro de lo que llamamos ingeniería sanitaria o ambiental, como cloacas, basureros municipales, acueductos, etcétera.

Antes de la Revolución Industrial muchas de las grandes ciudades europeas ya presentaban serios problemas de contaminación, destacándose entre ellos Londres, con su neblina combinada con humo o *smog* causada por el uso generalizado del carbón.

Pero con el desarrollo de la industria en gran escala y con la creación de la industria química, en particular, el problema de la disposición de los

desechos industriales se hizo cada vez más agudo no sólo por el volumen de éstos, sino por la diversificación de los mismos. En efecto, muchos de los productos creados por el hombre durante los siglos pasados y el actual no existían en la Naturaleza; no son biodegradables, pero si son altamente tóxicos y con efectos persistentes.

Ya durante el siglo XIX se dieron los primeros pasos para evitar que ciertas sustancias gaseosas, como el ácido clorhídrico y el anhídrido sulfúrico, se lanzaran al ambiente, obligando a las fábricas que los producían a colocar aparatos que los capturaran. Es así como nacieron las llamadas torres empacadas y la operación unitaria de absorción.

En el siglo XX la descarga indiscriminada de aguas negras y aguas industriales hacia los ríos y los mares ha hecho que gran parte de ellos estén contaminados afectando a la vida acuática y a las reservas de agua potable.

Los residuos tóxicos son sustancias que representan un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico – infecciosas. Estos residuos se generan al desechar productos de consumo que contienen materiales peligrosos, al eliminar envases contaminados, al desperdiciar materiales peligrosos que se usan como insumos de procesos productivos (industriales, comerciales o de servicios) o al generar subproductos o desechos peligrosos no deseados en esos procesos.

Los residuos sólidos, como la basura y los plásticos han provocado la contaminación de los mantos freáticos, y el afeamiento de nuestros campos.

El aumento del uso del automóvil, autobús y avión ha provocado que la contaminación atmosférica aumente, volviendo el aire de las grandes ciudades casi irrespirable, sobre todo cuando se acompaña de la *inversión térmica*, fenómeno que impide que el aire de las ciudades se pueda dispersar, liberando así, poco a poco, sus contaminantes.

Hoy en día el fenómeno de la contaminación y de la destrucción acelerada de la Naturaleza ha hecho que todas las naciones presten atención a las medidas que prevengan esto y que disminuyan los efectos dañinos que esto ocasiona a todos los habitantes de la Tierra.

Y es que el hombre por primera vez se ha dado cuenta que vive en un entorno cerrado, nuestra Tierra es finita y tiene una capacidad limitada para absorber contaminantes y desechos, más allá de este límite surge la acumulación de productos tóxicos y con ello las expectativas de una hecatombe mundial, tal y como lo indican los efectos de los gases de invernadero (bióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, agua, etc) que están provocando un calentamiento a nivel mundial y que afectará al clima de todos los países a menos que se tomen medidas para evitar el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre.

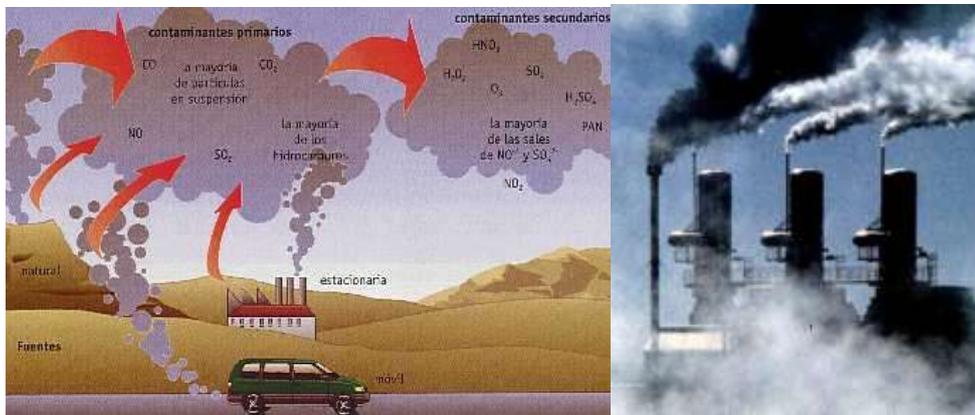


Figura 19.- Contaminación, un reto para el ingeniero químico.

Gran parte de la contaminación actual, hay que confesarlo, es de origen químico, así como los gases de escape de los motores de combustión interna, los detergentes, los plásticos, las llantas, los fertilizantes, etcétera. También es cierto que los químicos están desarrollando o han desarrollado sustancias menos agresivas y tóxicas, entre ellos los detergentes y plásticos biodegradables y los combustibles limpios. Los ingenieros químicos también contribuyen a la limpieza mediante el diseño de aparatos purificadores de agua o los plantas de tratamiento de aguas negras; por medio del diseño de catalizadores que eliminan los gases de combustión tóxicos, y a través de la implantación de medidas que evitan los riesgos y el escape de sustancias tóxicas de las fábricas. Los médicos, biólogos y ecólogos estudian el efecto que tienen las diferentes sustancias sobre los seres vivos y el medio ambiente, y alertan a los químicos sobre el peligro potencial o real de algunas de ellos y a partir de esto se estudia la sustitución de esos materiales por otros; así fue como se sustituyeron los freones causantes de la destrucción del ozono por refrigerantes inocuos.

Esto nos indica que hoy en día en el frente de batalla contra la contaminación se encuentran tanto científicos como legisladores, políticos, economistas y tecnólogos, pues estos problemas suelen tener múltiples facetas, de los cuales el más simple es en muchas ocasiones es el problema científico y técnico.

Conscientes de nuestra responsabilidad; de los conocimientos; de las habilidades y la creatividad que tienen los ingenieros químicos, en la mayoría de las instituciones de enseñanza de la ingeniería química, se han incluido Planes y Programas de Estudio sobre la llamada *Ingeniería Ambiental*, que es el estudio sistemático de las formas en que se puede atacar y controlar los problemas de contaminación de suelos, aguas y aires. En ciertos casos se ofrecen maestrías y doctorados sobre estos

temas, para formar a los futuros científicos que estudiarán los nuevos problemas y sus soluciones.

El mercado mundial de servicios medioambientales vale más 800 mil millones de dólares anuales y crece a una tasa de 5 % anual.

Europa va a la cabeza de esta revolución porque tiene una estrategia clara. Al aumentar los requerimientos ecológicos para sus industrias y hogares está generando incentivos para el desarrollo de varios sectores : fabricación de turbinas para producir energía eléctrica a partir del aire, tratamiento de la basura con bacterias y envolturas biodegradables, entre otras.

La toma de conciencia de la sociedad sobre el problema de la contaminación, hace que hoy día se hable de un *desarrollo sostenible o sustentable*, o sea aquel que toma en cuenta a la Naturaleza, su poder de absorción y transformación de los residuos y la generación de los recursos, así como la distribución equitativa de los bienes y servicios que genere la sociedad.

La protección del ambiente se ha convertido en una de las más altas prioridades del desarrollo. Constituye, además, un requisito que no debe atrasarse para dar viabilidad al propio Proceso Nacional de Modernización y Desarrollo. Por esto el Estado debe redoblar sus esfuerzos para restablecer un medio ambiente limpio que es nuestro compromiso legar a las generaciones futuras. No es concebible el bienestar social ni tampoco un crecimiento sostenido y equilibrado si nuestra base de recursos naturales se continúa sometiendo a un proceso de degradación. Por su dimensión y complejidad, la protección del medio ambiente no puede ni debe recaer en la responsabilidad exclusiva del Estado, como tampoco puede circunscribirse la solución ecológica y la salvaguarda de ecosistemas vitales al ámbito estrictamente nacional. El gobierno, además de perseguir este propósito con sus acciones, debe impulsar la participación de grupos, sectores y organismos sociales en tareas y responsabilidades que se traduzcan en compromisos y metas concretas para el cuidado y restablecimiento de la calidad del medio ambiente.

En el desarrollo sustentable se involucra a los consumidores, a la tecnología, la economía, las instituciones educativas y de investigación y a los tomadores de decisiones, (entre los que forzosamente deberían estar ingenieros químicos), quienes al interactuar originarán las políticas públicas pertinentes para abatir la contaminación. Estas políticas originan medidas regulatorias y fijan límites de exposición o alternativas de tratamiento y disposición final para reducir la peligrosidad de los desechos.

El éxito o el fracaso que tendrá en el futuro la humanidad en su lucha contra la contaminación dependerá en gran parte, de las actividades realizadas por los ingenieros químicos, ya que sin duda estos son los profesionales mejor preparados para entender el proceso de generación

de los desechos y las tecnologías que se deben emplear para lograr su eliminación y control.

### **Las nuevas áreas**

Las nuevas áreas de oportunidad para el ingeniero químico de principios del siglo XXI son la biotecnología y la nanotecnología.

La *biotecnología* utiliza los conocimientos del mundo biológico y los combina con los conocimientos de la ingeniería química para la fabricación de nuevos o viejos materiales de una manera más eficiente y que preserve nuestro ambiente. Los ingenieros químicos están especialmente entrenados para lidiar con el uso y la fabricación de combustibles y una de las áreas que promete más avances es la fabricación de combustibles a partir de fuentes renovables tales como las biogasolinas, biodiesel, biogas, etc.

Muchos países están ya produciendo esos materiales a partir de la basura (biogas y biodiesel) o a partir de caña de azúcar o maíz (etanol para las biogasolinas). Brasil es uno de los líderes en este aspecto, lo que en un principio era un plan para reducir la importación de petróleo se ha convertido en una industria que exporta miles de millones de dólares y es fuente de prestigio para el país.

La producción de biocombustibles es de vital importancia para la sobrevivencia de la especie humana en este planeta ya que no se puede continuar con el consumo de combustibles fósiles los que producen un aumento del bióxido de carbono en nuestra atmósfera. Hay muchos estudios que muestran que el aumento del bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) está relacionado con el aumento de la temperatura en la Tierra lo que está causando el derretimiento de los casquetes polares y la alteración del clima mundial.

Otra aplicación importante de las biotecnologías son la producción, mejora, diversificación y almacenamiento de los alimentos. En un futuro próximo se espera la fabricación artificial de alimentos mediante el control de la fotosíntesis en escala industrial. Estos procesos podrían revolucionar la forma en que el hombre se ha relacionado con la naturaleza, ya que hasta ahora la mayor parte de la superficie terrestre se dedica a la producción de alimentos. Las nuevas técnicas permitirán que la producción de alimentos no dependa de las condiciones climáticas y permitirán además que se regresen a la naturaleza enormes extensiones terrestres que en la actualidad se dedican a una agricultura intensiva que desertifica la tierra y acaba con la biodiversidad de nuestro planeta.

La producción de biofertilizantes y de biopesticidas empleará también a muchos científicos e ingenieros. Por último y no menos importante es la fabricación de medicinas y fármacos para uso humano y animal a partir de procedimientos biológicos.

La **nanotecnología** es un conjunto de técnicas que se utilizan para manipular la materia a la escala de átomos y moléculas. Nano- es un

prefijo griego que indica una medida, no un objeto. A diferencia de la biotecnología, donde "bio" indica que se manipula la vida, la nanotecnología habla solamente de una escala. Nano que significa enano en griego, es la manera de referirse con brevedad al nanómetro, la millonésima parte de un milímetro. Es una medida tan pequeña que es difícil de imaginar, por ejemplo un cabello humano tiene aproximadamente 80 mil nanómetros de ancho, o dicho de otra manera un nanómetro es a un centímetro lo que un centímetro a 100 kilómetros.

La nanotecnología tiene aplicaciones muy diversas que se verán incrementadas en unos pocos años por una tecnología que indudablemente revolucionará el mundo que nos rodea. Se trata del estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas a través del control de la materia en una escala de un nanómetro, aproximadamente una mil millonésima de



metro.

Un estudio elaborado por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y Allianz Group señala que su desarrollo futuro se producirá en tres fases, estando ya inmersos en la primera de ellas, que se caracteriza por el uso de la nanotecnología principalmente en aplicaciones de industrias punteras desde el punto de vista técnico, como por ejemplo la aeroespacial.

La segunda fase comenzará a lo largo del 2009, cuando los mercados electrónicos y de las Tecnologías de la Información estén preparados para incorporar las innovaciones en materia de microprocesadores y chips de memoria construidos mediante procesos nanométricos.

A partir del 2010, la nanotecnología se extenderá a todos los bienes manufacturados, destacando las aplicaciones sanitarias para la salud humana de aplicaciones como biosensores, la dosificación de fármacos en puntos muy concretos o nanodispositivos portadores de medicamentos que curarán selectivamente las células cancerígenas.

Algunos países en vías de desarrollo ya destinan importantes recursos a la investigación en nanotecnología. La nanomedicina es una de las áreas

que más puede contribuir al avance sostenible del Tercer Mundo, proporcionando nuevos métodos de diagnóstico y cribaje de enfermedades, mejores sistemas para la administración de fármacos y herramientas para la monitorización de algunos parámetros biológicos.

Actualmente, alrededor de 40 laboratorios en todo el mundo canalizan grandes cantidades de dinero para la investigación en nanotecnología. Unas 300 empresas tienen el término “*nano*” en su nombre, aunque todavía hay muy pocos productos en el mercado.

La nanotecnología avanzada, a veces también llamada fabricación molecular, es un término dado al concepto de ingeniería de nanosistemas (máquinas a escala nanométrica) operando a escala molecular. Se basa en que los productos manufacturados se realizan a partir de átomos. Las propiedades de estos productos dependen de cómo estén esos átomos dispuestos. Así por ejemplo, si reubicamos los átomos del grafito de la mina del lápiz podemos hacer diamantes. Si reubicamos los átomos de la arena (compuesta básicamente por sílice) y agregamos algunos elementos extras se hacen los chips de un ordenador.

Según los informes grupos de investigadores universitarios , las diez aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología son: Almacenamiento, producción y conversión de energía ; mejoras en la productividad agrícola ; tratamiento y remediación de aguas; diagnóstico y cribaje de enfermedades; sistemas de administración de fármacos; procesamiento de alimentos ; remediación de la contaminación atmosférica ; construcción ; monitorización de la salud ; detección y control de plagas ; informática.

El estudio señala que a escala nanométrica, la frontera entre disciplinas científicas como la química, la física, la biología, la electrónica o la ingeniería se desdibuja por lo que se produce una convergencia científica cuya consecuencia es una miríada de aplicaciones que van desde raquetas de tenis hasta sistemas energéticos completamente nuevos pasando por medicinas.

Esta dinámica de convergencia científica y multiplicación de aplicaciones hace que los mayores impactos de la nanotecnología surgirán de combinaciones inesperadas de aspectos previamente separados, tal y como pasó con la creación de Internet, resultado de la confluencia entre la telefonía, la televisión o la radio, y la informática.

# Capítulo 10

## La enseñanza de la ingeniería química

El ingeniero químico no nace, sino que se forma a través del estudio y de la práctica diaria. Actualmente existen muchas universidades y tecnológicos en donde el estudiante recibe las bases teóricas y prácticas de la profesión, pero no siempre fue así.

El método de aprendizaje más antiguo surgió por la observación o imitación, a través de éstas se recopilaron conocimientos que posteriormente se llevan a la práctica, por ejemplo, la caza, la pesca, hacer fuego; vino, tortillas, y mediante la repetición, se lograban adquirir las habilidades mencionadas. A estas imitaciones se les ha dado el nombre de método empírico, el cual era útil para formar artífices y operarios, por que la enseñanza de las técnicas tienen como objeto que el individuo desarrolle una habilidad *kinestésica*, es decir que aprenda a hacer algo.

Otro método que se utilizó en la Grecia antigua es la enseñanza académica, con ella se impartían fundamentalmente conocimientos que desarrollan habilidades de verbalización, análisis, síntesis y evaluación.

El saber científico se propone, intencionalmente inquirir, acerca del ser de las cosas y el saber técnico, más urgido por las exigencias vitales (armas, alimentos, comercio, vivienda) busca las formas de satisfacerlas.

El técnico sólo pretende cumplir su función obsesiva de precisión; su labor es tan apremiante e inmediata que al satisfacerla cree que ha cumplido con su compromiso, reduciendo su visión intelectual, y todo fin ulterior de índole social o metafísico queda en la penumbra, como olvidado y obscurecido.

El científico se propone inquirir sobre las cosas naturales y humanas; la actividad técnica, y sus fines están entre los objetos que debieran merecerle la atención. Sin embargo los científicos de Atenas, Alejandría y Roma prestaron escasa atención a las actividades técnicas que les podían proporcionar bienestar y hasta lujos.

La razón de esto es que vivían en una sociedad esclavista en la que todo el trabajo manual y artesanal quedaba en manos de esclavos y no de hombres libres. Esta limitante hizo que aquellos científicos fueran grandes pensadores, pero pobres experimentadores, ya que nunca

probaban sus aseveraciones, sino que eran resultado de sus razonamientos lógicos.

Por otro lado, la gente que vivía de un oficio creía que si sus técnicas se divulgaban tendrían más competidores y menos beneficios, por esta razón se impuso el secreto de oficio, secreto que pasaba de maestro a aprendiz o, para mayor preservación, se transmitía de forma oral de padres a hijos.

Esta práctica no favorecía el mejoramiento y la difusión de las técnicas ni el desarrollo de las mismas, se hacía lenta y, penosamente, con frecuencia, a través de la guerra; uno de los botines más apreciados eran los artesanos que enriquecían con sus técnicas al vencedor.

A pesar de todo, las técnicas y la ciencia, crecieron enormemente durante el periodo helenístico y el Imperio romano. A la caída de este último las invasiones de los bárbaros eliminaron, en gran parte, del mundo mediterráneo los conocimientos científicos; los conocimientos técnicos, que eran indispensables y estaban más distribuidos entre la sociedad, siguieron su lento pero seguro avance.

Durante la Edad Media, al prohibirse la esclavitud y al disminuir la población por las guerras y las pestes, se tuvo que recurrir al uso de técnicas que aligeraban el trabajo de los hombres y que lo multiplicaban. En esta época el conocimiento se difundió principalmente mediante los gremios, no obstante seguía envuelto entre sombras y secretos.

A fines de aquella época surgieron las universidades en las que prestigiosos maestros enseñaban parte del conocimiento de la antigua Grecia y Roma y que se había rescatado a través de algunos libros que se habían salvado de la destrucción generalizada.

¿Qué se enseñaba en las universidades? En las universidades medievales se enseñaba primeramente teología, derecho, medicina y las llamadas artes liberales (estudios propedéuticos de lógica, filosofía, retórica, física y metafísica). Como se ve, lo más cercano a una enseñanza técnica era la medicina; pero aun ésta se enseñaba con base en libros escritos hacia 1000 o más años y de ninguna manera se permitía que el estudiante tocara o corroborara en cadáveres lo que los libros o sus maestros le indicaban. En otras palabras, la enseñanza universitaria estaba divorciada de la experimentación y por ende de las técnicas. Por ello la alquimia se enseñaba como un oficio, de maestro a aprendiz de manera secreta, y los libros que se llegaron a escribir sobre la materia no estaban al alcance del conocimiento del vulgo, sino escritos en un lenguaje que sólo los iniciados podían llegar a comprender.

Durante la Edad Media se alzaron voces contra la enseñanza de las ciencias. Entre los que pidieron que las ciencias se basaran menos en la especulación y más en la observación y la experimentación estaba Roger Bacon.

El Renacimiento trajo, además de un avance en las artes, un notable desarrollo en las técnicas y el resurgimiento de las matemáticas, la

astronomía, la física, la mecánica y la óptica, en los que se empezaron a aplicar los principios de observación y la experimentación.

La vinculación entre los procesos técnicos y los científicos no era aún muy notoria; se puede decir que hasta el momento las ciencias se habían beneficiado de las técnicas y no al contrario.

Y sin embargo la posición del artesano y del tecnólogo había cambiado con respecto a la Edad Media. En el Renacimiento, el ingeniero, el arquitecto y el orfebre eran hombres ilustrados, artistas multifacéticos que gozaban en las cortes del mismo prestigio que el médico o el astrólogo. No obstante, en el campo de la alquimia los cambios fueron muy lentos. En 1597 el alemán Livabius publica un libro con el título de *Alquimia* que puede ser considerado como el primer texto moderno de química. Pocos años antes, un compatriota suyo, G. Agrícola, en su obra *De Re Metálica* expone los conocimientos metalúrgicos de la época.

Robert Boyle publica en 1661 su famosa obra *El químico escéptico*, en la que rompe con la tradición alquímica y establece en cierto sentido los criterios del método científico.

*Sólo el experimento es decisivo; jamás las hipótesis no comprobadas.*<sup>2</sup>

El advenimiento del libro impreso hizo que se difundiera la obra de los grandes artistas, ingenieros, arquitectos y médicos, pero es hasta el siglo xviii en que la enciclopedia difunde a todo el mundo el estado de las artes y de las técnicas de la época. También en ese siglo los cambios en la economía de Europa hicieron que se revisaron las técnicas productivas, para abaratar los productos y superar las carencias de ciertas materias primas. Por esa época se fundaron los primeros tecnológicos y escuelas superiores de artes y oficios. En aquellas escuelas, por primera vez se comenzaron a estudiar las técnicas manufactureras en boga y se les enseñó a aquellos muchachos deseosos de aprenderlas. Además en esos centros se comenzó a aplicar el conocimiento de la física y las matemáticas. Por primera vez la ciencia empezaba a mejorar las técnicas y no al revés. Eso se debió a que los dirigentes de las industrias se dieron cuenta de que tratar de mejorar las técnicas basándose en los conocimientos científicos sería más redituable que seguirlo haciendo al azar como hasta entonces.



Figura 20. – La universidad nace en la Edad media.

En aquellas escuelas técnicas se comenzó a estudiar la mecánica aplicada, las matemáticas aplicadas, y algo novedoso, la química, que empezaba a perfilarse como una ciencia digna de tomarse en cuenta. Así, tanto en Francia como en Inglaterra la química empezó a enseñarse en las instituciones superiores y en las universidades y los mejores químicos de la época impartieron cátedra aunque esta era esencialmente teórica basándose en conferencias y pocas experiencias de cátedra, salvo en los tecnológicos en donde se daba más importancia a los laboratorios.

En las universidades la enseñanza de la química pasó a los colegios y a las escuelas secundarias y profesionales.

Los egresados de esas escuelas cambiaron, con ayuda de los inventores y científicos, la faz del mundo. Las técnicas de fabricación cambiaron radicalmente pasándose de la producción artesanal a la producción en serie.

Las máquinas que ellos inventaron, movidas primero por vapor y luego por la electricidad y el petróleo, desplazaron los sencillos utensilios que utilizaban los artesanos.

Antes del siglo XVIII la industria química se había desarrollado sin la ayuda de los químicos o de la ciencia química de la época. Con el desarrollo de la química en los siglos XVIII y XIX aparecieron cada vez más sustancias, descubiertas o sintetizadas por los químicos, algunas de las cuales prometían superar con creces las propiedades de los productos naturales o al menos mejorarlos. La superficie del norte de Europa se llenó de pronto de fábricas malolientes que producían productos desconocidos.

Para la construcción y operación de esas plantas no se podía contar con la tradición, así que se tuvo que empezar desde cero utilizando los conocimientos del químico industrial y del ingeniero mecánico para el diseño y operación de las mismas.

Pero como el ingeniero mecánico no tiene conocimientos de química y los químicos no los tienen de mecánica ni de los procesos a gran escala, el método resultaba oneroso por los tanteos y el entrenamiento que se debía dar a esas personas para que trabajaran juntos.

Desde luego no era tanto que impidiera el gran desarrollo de la industria química alemana, inglesa y francesa.

En las universidades se preparaban cada vez más químicos que aportaban con sus estudios el ya amplio mundo de la química y en los tecnológicos se preparaban a los químicos industriales que manejarían las nacientes fábricas. A aquellos profesionistas se les enseñaba, además de la química de su época, los procesos químicos más comunes, así como la maquinaria de más amplio uso. El perfeccionamiento de aquella maquinaria se debía al ingenio de los inventores, generalmente operarios, o al progreso de la ingeniería mecánica o eléctrica.

Hacia 1860, algunas personas se dieron cuenta de que el diseño y la creación de las plantas químicas se estaba convirtiendo en una actividad especializada que podía convertirse en una disciplina de estudio completamente nueva.

En 1884, Henry Armstrong, en Londres, planeó un curso de cuatro años que incluía química, ingeniería mecánica, matemáticas, física, dibujo, tecnología química, talleres y lenguas modernas. Como el curso eran en realidad una mezcla de química con ingeniería no prosperó.

En 1887 Georges Edwards Davis, quien era consultor e inspector de la industria de los álcalis, dictó una serie de conferencias en la Escuela Técnica de Manchester sobre la tecnología química. En vez de describir los procesos de la química industrial contemporánea, Davis analizaba el comportamiento de ellos como una serie de sencillas operaciones. De hecho fue el primero en considerar los procesos de manufactura química como la secuencia y combinación de un pequeño número de operaciones. Después de la publicación de varios de sus ponencias de 1887 en la revista *Chemical trade journal* que él fundó, Davis abandonó sus publicaciones en 1901, año en que salió a la luz su *Manual de ingeniería química*, en el cual se daba un curso completo sobre el tema.

Posteriormente, en 1904 apareció una segunda edición ampliada, la cual tenía más de mil páginas. El libro de Davis, con el que se inició la enseñanza de la ingeniería química, ha sido un clásico empírico del tema.

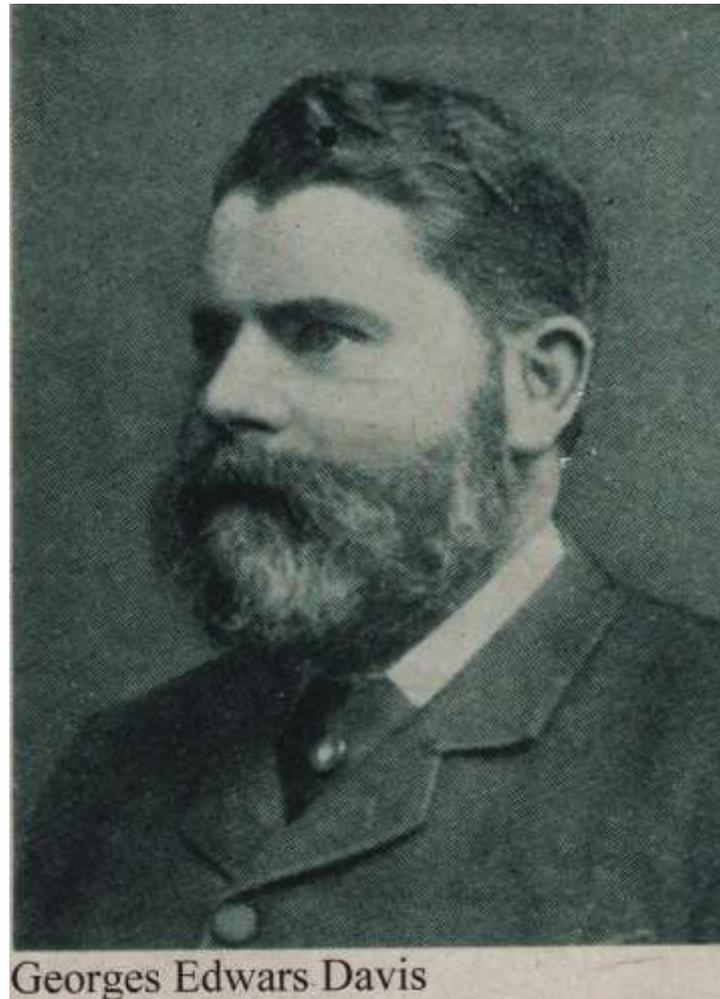


Fig.- 21.- Georges Edwards Davis

Pero pese a los esfuerzos de Davis y otros hombres, el concepto de *ingeniería química* no tuvo buena acogida en Europa, pero sí en los Estados Unidos.

Los primeros cursos de ingeniería química se impartieron en el Instituto Tecnológico de Massachussets, MIT, en 1888, en Penn en 1892, en Tulane en 1894 y en la Universidad de Michigan en 1898.

A esos cursos asistieron una serie de jovencitos que soñaban ser lo que otros no habían sido antes: "ingenieros químicos".

El Plan de Estudios de los primeros ingenieros químicos incluía el estudio de la química, la física, las matemáticas, la ingeniería mecánica, la electricidad, el dibujo, etcétera, pero no había ninguna materia que tratara sobre *ingeniería química*. Se impartían, si, algunos cursos

relacionados con los procesos químicos en boga y otros cursos en los que se describía el tipo de equipos más usados.

Los textos más populares de aquellos tiempos estaban relacionados con la química industrial e incluían los libros de F.H. Thorp (1898), Allan Rogers (1902), H.K. Benson (1913), E.R. Riegel (1928), W.T. Reed (1937), y R. Norris Shreve (1950).

Por aquella época se descubrió también la necesidad de hacer cálculos precisos de la materia y la energía que tomaba parte en los procesos químicos. Estos cálculos van más allá de la simple estequiometría, que se enseñaba en las clases de química, ya que incluyen las complejidades de las reacciones simultáneas, consecutivas y reversibles junto con los procesos de reciclado, purga, derivación y acumulación.

Se requería precisión y habilidad para medir las corrientes, y caracterizarlas desde el punto de vista de la composición, entalpía y gasto. Entre los primeros libros que se utilizaron para solventar este problema están: *Metallurgical Calculations* de J.W. Richards (1906), *Industrial Stoichiometry* de W.K. Lewis y A.H. Radasch (1926) y *Industrial Chemical Calculations* de O.A. Hougen y K.M. Watson (1931).

Al crecer la industria química y salir los primeros egresados se descubrió la futilidad de impartir el conocimiento a través del método descriptivo y se hizo más hincapié en las técnicas del estudio de las *Operaciones unitarias*. Este concepto, se le debe a Arthur D. Little<sup>2</sup> precisa que se tienen que estudiar las operaciones comunes en muchos procesos, por ejemplo, flujo de fluidos, transferencia de calor, destilación etcétera, pues él dijo que:

*Cualquier proceso químico, llevado a la escala que sea, puede ser reducido a una serie coordinada de lo que llamamos operaciones unitarias, como pulverización, mezclado, calentamiento, calcinación, absorción, condensación, lixiviación, precipitación, cristalización, filtración, disolución, electrólisis, etc. El número de estas operaciones básicas no es muy grande y, relativamente pocos de ellos participan en un proceso particular. La complejidad de la ingeniería química se debe a la variedad de condiciones de temperaturas, presión, etc.; bajo las cuales deben llevarse a cabo las acciones unitarias en diferentes procesos, y de las limitaciones en cuanto a materiales de construcción y diseño de aparatos, que son impuestos por el carácter físico y químico de las sustancias reaccionantes.\**



Figura 22.- Arthur D. Little

Estas manipulaciones tienen como característica el que los materiales no sufren cambios químicos, aunque sí físicos, como cambios de estado, concentración, presión y temperatura. La idea subyacente, tras este concepto de *operaciones unitarias*, era que si se creaban especialistas en cada una de ellas se podían después conjuntar las habilidades de ellos para diseñar un proceso nuevo. La aparición del concepto de *operaciones unitarias* permitió que la ingeniería química se fuera transformando poco a poco en un todo coherente y dejara de ser una simple mezcla de química con ingeniería química.

Los ingenieros químicos probaron ser un elemento importantísimo en el diseño, construcción y manejo de las plantas relacionadas con la química; por ello la carrera se extendió por todo el mundo.

Sin embargo los primeros ingenieros químicos tenían grandes dificultades para el diseño, pues había una gran carencia de datos fisicoquímicos y del comportamiento de éstos en los equipos. Los ingenieros mecánicos y civiles, sólo habían hecho estudios concienzudos sobre unos cuantos fluidos como el aire y el agua, pero los ingenieros químicos debían trabajar con una inmensa variedad de ellos. Los fisicoquímicos no estaban interesados en obtener los datos y las constantes cinéticas y fisicoquímicas necesarios, así que los ingenieros químicos tuvieron que darse a la tarea de obtenerlos. Por ello en casi todos los tecnológicos y universidades en donde se impartía la carrera comenzaron a efectuarse estudios serios sobre el comportamiento de los equipos utilizados en las plantas químicas y las propiedades de las sustancias que allí se procesaban y pronto se contó con la suficiente información para que apareciera el primer libro sobre operaciones unitarias: *Principios de la ingeniería química*, de Walker, Lewis y Mc Adams, en 1923, y en 1934 la primera edición del *Chemical Engineers Handbook*, de John H. Perry.

Los años cuarenta y cincuenta vieron la aparición de numerosos libros sobre *operaciones unitarias*, entre algunos de ellos están los de Badger, McCabe, Brown, Foust y Geankoplis.

En 1939 aparece *la Chemical Engineering Thermodynamics* de H.C. Weby, y en 1944 el libro de Barnett F. Dodge.

Por esa época aparece una trilogía formidable *Los Principios de los Procesos Químicos* de Hougen, Watson y Ragatz, el primer tomo se dedicaba a los balances de materia y energía, el segundo a la termodinámica y el tercero, al diseño de reactores.

Este primer libro sobre cinética y diseño de reactores dió origen a una serie de libros sobre el mismo tema, corriente que continúa hasta nuestros días; entre los textos más leídos están los de Smith, Wallas y Levenspiel.

Después de la Segunda Guerra Mundial el énfasis de las publicaciones cambió hacia el diseño de las plantas y el estudio económico de las mismas, ejemplos de textos son *Chemical engineering plant design* (1959), de Vilbrandt, y *Plant Design & Economics*, de M.S. Peters.

Con el tiempo se hizo evidente que en las operaciones unitarias existían principios comunes que sentaban las bases científicas de la ingeniería química. El concepto de los *fenómenos de transporte* lleva al conocimiento de que hay ciertos fenómenos comunes a muchas *operaciones unitarias*, como son *la transferencia de momentum, calor y masa*. El estudio de estos principios dio origen a un libro que cambió el estudio de la ingeniería química *Transport Phenomena* de Bird, Lightfoot y Steward. A ese libro le siguieron muchos otros relacionados con el tema, como los de Welty, Theodor, Rohsenow, Fahien, etc. A partir del estudio de los *fenómenos de transporte* los textos de ingeniería química cambiaron su orientación haciéndose cada vez más matemáticos, más fundamentales y menos orientados al cálculo y al diseño; esto último también fue propiciado por el uso de las computadoras que permiten a través de los programas escritos en disquetes efectuar los cálculos necesarios para el diseño de la mayoría de los equipos usados en la industria química y de aún crear los planos requeridos.

A finales de los años setenta, el uso intensivo de las computadoras en el trabajo, el laboratorio y las universidades hicieron que se transformara la educación de los ingenieros químicos, es así como a partir de esta transformación surgieron nuevas materias como: optimización, simulación, control y análisis de procesos, materias que ahora podían estudiarse debido al equipo de cómputo y a los nuevos libros que aparecieron como *Introduction to chemical engineering and computer calculations*, (1976) de Alan L. Myers, *Optimization of chemical processes* (1975) de Holland; *Process modeling, simulation and control for chemical engineers*, de William L. Luyben (1973); *Artificial intelligence in chemical engineering*, de Thomas Quantrille (1993), etcétera.

En los años ochenta, al énfasis de la ingeniería química se centró sobre el aspecto de la contaminación industrial. En la actualidad la industria química presta mucha atención al control de afluentes que pudieran contaminar los aguas, el aire o la tierra, y la tecnología química es la única capaz de resolver el problema de la contaminación en las grandes urbes, a través de los detergentes biodegradables, fábricas procesadores de basura, gasolinas sin aditivos de plomo, etcétera.

Los grandes problemas económicos de estos últimos años relacionados con las inflaciones, el aumento de las tasas de interés y el abaratamiento de las materias primas han incidido, de manera notable, en la rentabilidad de los procesos, por ello, cada vez, se da más énfasis en los planes de estudio de ingeniería química, al estudio económico de los procesos, o lo que se ha venido a llamar la ingeniería económica. Uno de los primeros libros que se escribieron sobre el tema fue el de Ch. Tyler *Chemical Engineering Economics* (1946) seguido por *Money and the Chemical Engineer*, 1956 de K. Kammermeyer y J. Osburn; *Chemical Engineering Cost Estimation*, R. Aries y Robert Newton (1955), y muchos otros más que continúan escribiéndose hasta nuestros días.

Las metodologías empleadas en la ingeniería química se han extendido a otros campos, dando origen a otra serie de ingenierías, entre los cuales figuran la biomédica, la bioquímica, electroquímica, metalurgia, agroalimentaria y ambiental, todas ellas ligadas alrededor de los problemas planteados por las transformaciones químicas y físicas de *la materia*. Es así como, poco a poco, se ha ido difundiendo y organizando un conjunto de conocimientos aplicables a todos los procesos industriales que involucran transformaciones de la materia. Esta metodología, antes exclusiva de la ingeniería química (a la que podemos calificar de disciplina madre), adquiere a principios de los ochentas una madurez y una sistematización suficiente para ser transmitido a la enseñanza y ser aplicable a un vasto campo de actividades.

Los procesos industriales de transformación de la materia forman parte del área de competencia del ingeniero de procesos, cuya principal tarea, no es sólo concebir y dimensionar de una manera práctica económica y ecológicamente óptima, procesos y equipos en donde tienen lugar esas transformaciones, sino que además debe hacerlos funcionar respetando esos mismos criterios.

Hoy día pareciera ser que esta terminología orientada hacia las transformaciones de la materia podría dar a entender que sólo los procesos químicos industriales estarían involucrados, mientras que en realidad existen muchos casos en donde los aspectos físicos dan lugar a cambios más que a transformaciones que tienen una importancia dominante. Por esta razón, tal vez sería conveniente y, a fin de generalizar, precisar el carácter físico-químico de las transformaciones; por lo que debería hablarse, quizás de la Ingeniería de los Procesos de Transformación físico-químicos (IPTFQ). La IPTFQ funciona como un

depósito de metodología conectado a una red periférica de sectores de aplicación. Cada sector tiene características propias, pero es evidente que pueden conectarse a través de la IPTFQ. Por ello es que la ingeniería química de hoy día está emparentada con la ingeniería bioquímica, la del medio ambiente, la metalúrgica y viceversa. (Véase figura 23).

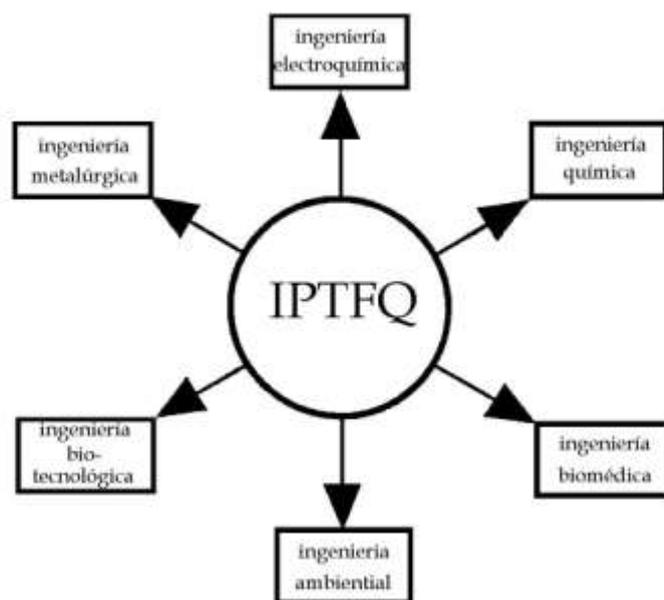


Fig.- 23.- La IPTFQ como depósito de metodología.

En los años venideros si se quiere seguir entrenando a los nuevos estudiantes de manera efectiva para que puedan hacer frente al reto del cambio se debe contar con libros que estén al día. Como Thomas Carlyle (escritor escocés 1795-1661) quien dijo "La verdadera universidad de hoy en día es una buena colección de libros", inscripción que llevan muchas bibliotecas universitarias norteamericanas. Pero no sólo los estudiantes, sino también los profesionistas requieren de libros buenos y modernos; es necesario por ello que haya más libros con datos técnicos y datos provenientes de la industria. El alcance de la ingeniería química y su importancia mundial será inevitablemente medido por el número de libros y revistas que sobre ella se publiquen. Por ello como profesionales debemos animar a los maestros responsables y animosos y mejorar las condiciones bajo los cuales estos producen los libros. Como dice R. Byron Bird: deberían de establecerse becas universitarias y de las sociedades de ingeniería para ayudar a que se escribieron aquellos libros que podrían influir notablemente en la dirección y la velocidad a la cual crece la profesión de la ingeniería química.

Los vientos de cambio están soplando en las universidades, las cuales están considerando la sustitución de algunas materias pasadas de moda por aquellas en la que se enseñen las tecnologías emergentes entre las

que se cuentan la biotecnología, la ingeniería genética, la microelectrónica, la ingeniería espacial, la robótica, las especialidades químicas, los agroquímicos, la seguridad industrial y ambiental, la cinética, los equilibrios químicos y termodinámica de las reacciones, etcétera. (Véase figura 23)

Sin embargo, un buen plan de estudios debe proporcionar al estudiante las herramientas básicas para su carrera: no debe especializarse, porque esta función la cubrirá en la empresa en que trabajará, así como en los estudios de postgrado que efectuará. Por otro lado debe, tomar materias que orienten al futuro ingeniero sobre la realidad económica del país, sus recursos y la posible industrialización de éstos.

Durante la carrera se debe hacer hincapié en la experimentación como fuente de todo conocimiento: por eso son muy importantes los laboratorios tanto de química, fisicoquímica, física como de ingeniería química.

Al estudiante debe indicársele que el ingeniero no sólo trabaja con ecuaciones, fórmulas y tablas matemáticas, sino que también lo hace con máquinas y equipos hechos de acero o de algún otro material resistente al ataque químico y a la corrosión, con equipos reales que tienen elevado costo, y que si no se tiene un diseño y control adecuados puede poner en peligro la vida de los operarios y, desde luego los inversiones que se utilizaron para crear la planta. Debido a que el ingeniero, trabaja con muchas personas, debe recibir cursos de relaciones humanas, en los que comprenderá la importancia de éstas para el buen desempeño de su labor. Hay muchos ingenieros que dicen que la mayoría de los problemas que se presentan en la industria son un 10% de técnicos y un 90% humanos.

La importancia o el interés que se da a uno u otro de los ingredientes del Plan de Estudios ha dependido de las necesidades locales y temporales de la industria.

Se debe indicar que en el estado actual de los conocimientos de la ingeniería química es un 50% ciencia y un 50% arte. Si todo en la industria química se pudiera predecir con base en las matemáticas y la fisicoquímica, esta carrera sería impartida en la *FACULTAD DE CIENCIAS*, y hasta la fecha no se ha visto un sólo científico que haya diseñado una planta química. El ingeniero aplica el conocimiento para que se dé el cambio, para este cambio se requiere a veces del conocimiento científico, pero también se necesita de otro tipo de conocimiento: el empírico. La ingeniería química maneja el conocimiento derivado de la práctica o de la experiencia combinado con el conocimiento científico, este conocimiento científico-empírico recibe el nombre de *heurística*, ya que proviene de una palabra griega que significa inventor; y en efecto el ingeniero química debe inventar en cada caso una solución a problemas que tienen múltiples soluciones. Para ello

debe utilizar tanto conocimientos científicos como prácticos, económicos, ambientales y sociales.

1900	Química industrial
1910	Balances de materia y energía
1920	Operaciones unitarias
1930	Termodinámica
1940	Ciencia y catálisis
1950	Ingeniería económica
1960	Fenómenos de transporte
1970	Técnicas computacionales
1980	Ingeniería ambiental
1990	Biotecnología
2000	Nanotecnología

**Figura 24.- Disciplinas introducidas en la mayoría de los planes de estudio de la ingeniería química mundial a través de los años.**

La capacidad para establecer esa síntesis se adquiere a través de los años de experiencia profesional. Ésta proporciona las respuestas posibles cuando no hay datos a la mano sobre lo que puede esperarse de tal proceso o material.

La educación en las escuelas tiene un aspecto formativo: esta educación da las bases para que el futuro ingeniero entienda los procesos con los que trabajará o los cálculos que efectuará. Pero la educación del ingeniero abarca toda su vida, y fuera de la escuela es cuando realmente se capacita. Allí, "en el frente de batalla", se miden las posibilidades o no de que el ingeniero crezca o abandone el terreno a otros con mejores dotes.

Los industriales no pueden pedir que se haga un ingeniero químico a su medida, pues las necesidades varían de industria a industria. Eso sí, pueden exigir que la educación formal sea lo más firme posible, pero ellos son responsables del entrenamiento y la capacitación para áreas específicas y de ellos dependen también, en gran parte, que el ingeniero se siga desarrollando o que se estanque. En la industria se continuará el aprendizaje por observación e imitación que durará toda su vida profesional y que lo enriquecerá.

Sin embargo, hoy en día la enseñanza formal de la ingeniería química no concluye con la licenciatura; en la actualidad existen muchos ingenieros con estudios de posgrado, es decir, que han hecho cursos de



**Figura 25.- El postgrado será cada vez más necesario para el ingeniero químico.**

especialización, maestría o doctorado. Al parecer, la ingeniería química es una de las carreras con mayor número de profesionistas con estudios de posgrado.

Los ingenieros que se sienten atraídos por los aspectos fundamentales de la carrera prosiguen sus estudios en el campo de la fisicoquímica, los fenómenos de transporte, la catálisis, o los fenómenos de superficie. Los que quieren incursionar en las áreas nuevas de la profesión escogen polímeros, biotecnología, materiales, contaminación, etcétera.

Aquellos que se sienten atraídos por las computadoras y las matemáticas, suelen hacer sus maestrías o doctorados en simulación, optimización, procesos, control, etc.

Hay otros a quienes les interesan los aspectos económico-administrativos y ellos prosiguen estudios superiores en administración, finanzas, economía o sus derivados.

En la actualidad si un profesionista desea destacar debe contemplar la necesidad de tener estudios de posgrado en alguna área específica. Estos estudios son requisito indispensable en el campo de la docencia, la administración, la investigación y la ingeniería de proyectos.

El ingeniero químico del siglo XXI será un contribuyente en el mejoramiento del nivel de vida de la humanidad, los retos son muchos y recaen no sólo en el ingeniero químico como individuo, sino en su ecosistema, los industrias, las universidades, el sistema de investigación y las políticas gubernamentales.

El problema central al que nos enfrentamos es el de mantener abiertas las puertas de un futuro mejor. Hoy en día se habla del *Desarrollo sustentable*, es decir, aquel que da bienestar a toda la población sin hipotecar las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras. Necesitamos alentar la investigación, la innovación

y la exploración de nuevas soluciones pero sobre todo necesitamos infundir y alentar en los profesionistas del futuro un espíritu de solidaridad, de honestidad y de amor al prójimo, la naturaleza y el país; y recordar la frase del poeta "No hay que llegar primero y a destiempo, sino juntos y en el momento indicado".

# Capítulo 11

## La enseñanza de la ingeniería química en México

Los antiguos mexicanos desarrollaron técnicas químicas y metalúrgicas a través del método empírico y del ensayo, y el error, dichas técnicas se fueron pasando de padres a hijos y de generación en generación. Entre sus logros están la orfebrería o el trabajo de la plata y el oro, en el que lograron singular maestría; también se destacaron en el aprovechamiento de las sustancias minerales, vegetales y animales para obtener tintes y pigmentos con los que pintaban sus casas, pirámides y códices, y coloreaban sus telas, cerámicas y cuerpos. En el aspecto farmacéutico lograron desarrollar una herbolaria que competía ventajosamente con la europea en la época de la conquista. En el campo de la química alimentaria lograron utilizar la fermentación y la extracción para obtener bebidas y nutrientes como el chocolate y el pulque, además emplearon intensivamente las tierras mediante la aplicación de fertilizantes naturales.

Durante la época colonial la aplicación principal de la química estuvo dirigida a la metalurgia de la plata, de la que México era un notable exportador, destacando el método de amalgamación en el que se empleaba sal y mercurio para beneficiar la plata. Los minerales de hierro fueron también explotados, así como los de cobre y estaño, pues eran la fuente necesaria para el acero y el bronce que requería tanto el ejército como el pueblo en general.

Durante este periodo se introdujo en el país el cultivo de la caña de azúcar y los primeros ingenios para procesar el dulce. Con la llegada del ganado vacuno y ovino se pudo tener leche y, por medio de ella, se obtienen los quesos, cremas y demás derivados tan apreciados en la comida mexicana. Los procesos de destilación sirvieron para obtener brandys, pero principalmente las primeras bebidas fuertes nacionales tales como el mezcal y el tequila que no estaban sujetos a las restricciones que se imponía al cultivo de la vid.

Desde luego que al introducirse las técnicas europeas de tejido, así como nuevas fibras textiles se importaron con ellos nuevos procesos de teñido y acabado. También hubo avances en la cerámica y en la de los pigmentos y pinturas.

Pero no fue sino hasta el final del periodo colonial cuando se impartieron por primera vez cursos formales de química en la Escuela de Minería. En esa institución impartieron clase ilustres científicos europeos como Fausto de Elhuyar, Andrés Manuel del Río, Francisco Antonio Botallier, Luis Linder y Federico Sonneschmid. Este impulso externo le permitió al país recibir nuevas influencias de la ciencia occidental que abrieron nuevas perspectivas poca la metalurgia, no centrados ya únicamente en el beneficio de la plata. Don Fausto de Elhúyar es considerado el descubridor del tungsteno y Don Manuel del Río descubridor del vanadio y, además, fue el primero que tradujo al castellano en 1797 las obras de Lavoisier. El Seminario de minería sobrevivió a la Independencia y siguió funcionando con problemas hasta 1867. Sus últimos años fueron de abandono e indiferencia. El país vivía años tormentosos, luchas intestinas por el poder y enfrentamientos feroces entre el Estado y la Iglesia. Al triunfo de las fuerzas republicanas sobre el imperio de Maximiliano, el seminario expiró calladamente. Sobre su tumba se erigió la escuela nacional de Ingenieros, para intentar recuperar las glorias del pasado. Intento fallido. En sus cuarenta y tres años de vida independiente, la escuela nunca igualó los días de esplendor del seminario. Durante gran parte del siglo XIX y debido a las vicisitudes por las que atravesaba el país las clases de química se impartieron en el Colegio de Medicina, allí destacó Don Leopoldo Río de la Loza, investigador notable, profundamente interesado por los productos naturales del país, profesor de química y director de la Escuela de medicina, fundador de varias farmacias y de la primera fábrica de productos químicos.

Durante el gobierno de Porfirio Díaz se establecieron industrias de alta capacidad en los ramos textil, vidriero, cervecero y siderúrgico. A pesar del auge industrial, las materias primas básicas se importaban de Europa, de donde provenían también los ingenieros y los químicos requeridos para la buena marcha de la industria.

Después del inicio de la Revolución Mexicana destaca como un hecho relevante para el desarrollo de la química en el país la fundación de la primera escuela de química.

La Facultad de Química de la **UNAM**, es la institución de enseñanza de la Química más antigua del país, pues fue fundada en 1916, siendo por ello la institución madre de más de 100 escuelas y facultades en las que se enseña química en el ámbito universitario en nuestra nación.

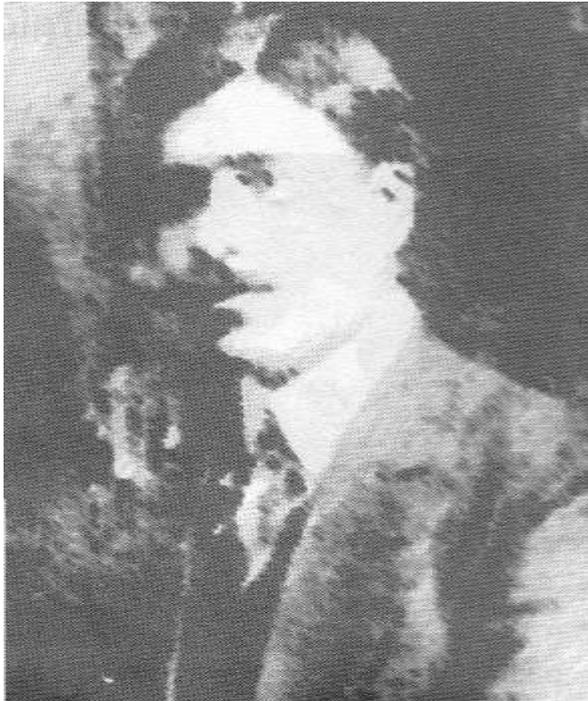
Bajo la dirección de don Salvador Agraz la Escuela de Química en Tacuba, DF, prosperó y agrupó las carreras de químico, Farmacéutico y Metalurgista, pero fue hasta 1925 que por intervención de Don

Estanislao Ramírez se introdujo el estudio de la ingeniería química en nuestro país. (Véase fotografía 15).

En un principio el Plan de Estudios de la carrera se centraba sobre el estudio de la química, la física, la mecánica y los procesos químicos existentes en el país. Aún los laboratorios estaban dedicados a algunos de aquellos procesos o industrias químicas como se llamaba a la jabonería, perfumería, petroquímica, azúcar, etc.

Por instancias del ya mencionado Ing. Ramírez se introdujo el estudio de las operaciones unitarias en el plan de la carrera, siendo él el primero que empezó a utilizar el libro de Walker en sus clases de teoría, estas clases se impartían sin embargo, bajo el título de Física Industrial, pues no fue sino hasta el plan de estudios de 1941 en que se impartieron por primera vez los cursos de ingeniería química que comprendían los balances de materia y energía y las operaciones unitarias.

En aquél plan de estudios se impartía por primera vez la termodinámica.



**Fig. 26. - Ing. Estanislao Ramírez Ruíz**

La carrera se difundió poco a poco a las universidades de provincia siendo la de Michoacán (1933) y la U.A. de Puebla (1937) las primeras que la impartieron.

Los ingenieros químicos egresados de nuestras instituciones se encontraron con que el campo de trabajo era muy reducido, en parte debido a que la industria química era casi inexistente y por otro lado, a que las empresas empleaban a técnicos extranjeros para la operación de sus plantas. No fue sino hasta la expropiación del petróleo, en 1938,

cuando se vio la importancia de contar con este tipo de profesionistas en el país, de allí que se creara por esos tiempos la carrera de ingeniería química en el Instituto Politécnico Nacional.

El IPN es una de las instituciones educativas más grandes del país y una de las que presenta mayor número de egresados en ingeniería Química. Los tecnológicos regionales se crearon bajo las bases del IPN y su creación obedeció a la necesidad de una descentralización de la educación técnica. Su finalidad fue la de llevar la educación a provincia para brindar igualdad de oportunidades educativas a todos los estudiantes de los estados del país.



Fig. 27.- la Escuela de Tacuba.

La primera institución particular que creó la carrera de ingeniería química fue el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (1943), y en la actualidad han proliferado ese tipo de instituciones, la que albergan al 10 % de todos los estudiantes de ingeniería química del país.

Durante los años sesenta comenzó el auge de la petroquímica en el país, lo cual impulsó la creación de la carrera en numerosas instituciones.

Los Planes de Estudio cambiaron y se introdujeron cursos *de balances de materia y energía, operaciones unitarias, reactores y laboratorios de operaciones unitarias*, disminuyéndose los cursos de

Química y de Análisis. Los primeros cursos sobre *fenómenos de transporte* se comenzaron a impartir desde 1971, pero dentro de las materias optativas. No fue sino hasta el Plan de Estudios de 1988 en que tanto esa materia como las de computación, simulación y optimización se comenzaron a impartir de manera obligatoria en la UNAM; aunque hay que decir que otras instituciones como la *Universidad Iberoamericana*, el *Tecnológico de Monterrey*, etcétera, ya las habían introducido diez años antes. El avance de la carrera y la proliferación de la misma ha sido posible gracias a la labor generosa de grandes maestros como los ingenieros, Estanislao Ramírez, Alberto Urbina, Antonio Guerrero, Alberto Bremauntz, Ernesto Ríos, Pascual Larrasa, Alejandro Purón, Alejandro Anaya, Javier Garfias y muchos otros de gloriosa memoria.

A principio de los años sesentas la mayoría de los libros de texto recomendados por los profesores, en las instituciones en la que se impartía la carrera de ingeniero químico, estaban escritos en inglés y, desde luego, por autores extranjeros.

Esto incluía toda clase de materias, desde las matemáticas hasta la química, física y la ingeniería química. Solamente existían algunas traducciones (por ejemplo las de los libros de química de Partington y de Mellor), las cuales, como todas las traducciones, eran frecuentemente vistas con desdén por nuestros maestros que se guiaban por la máxima italiana de: *todo traductor es un traidor*.

Afortunadamente las editoriales mexicanas y españolas no compartieron esas ideas y, viendo el mercado que se abría para los libros traducidos al español, se lanzaron a traducir casi todos los libros de texto, los cuales fueron muy bien recibidos por el alumnado.

Sin embargo, en un principio se pensó que no era necesario que hubiera libros escritos por autores de habla castellana. El cambio de actitud provino de España con el libro de Vian (1952), al que siguieron otros libros sobre ingeniería química como los de Ocón y Tojo (1970); culminando en la actualidad con los de Costa Novella (1983).

Estos libros contaron al principio con la resistencia de los maestros, pero fueron apreciados *por los* alumnos que acabaron imponiéndolos en muchas escuelas.

En México, los continuadores de esa tendencia fueron *Principios de los procesos de ingeniería*, 1980 de Purón; *Análisis ingenieril de los procesos químicos*, 1979 de Ramón de la Peña; *Ingeniería de los procesos*, 1979 de José Giral; *Problemas de balances de materia*, 1981 de Stivalet; *Problemas de transferencia de calor*, 1986 de Valiente; *Termodinámica fenomenológica*, 1976 de Chumacero y otros, de manera que en la actualidad existe una gran cantidad de libros en casi todas las materias de la carrera escritos por mexicanos.

Los cambios operados en la enseñanza de la ingeniería química en los Estados Unidos hicieron que a finales de los años sesenta se iniciaron las maestrías en ingeniería química en el IPN y en la UNAM, y

que se introdujeran los cursos de fenómenos de transporte y de computación.

Los años setenta fueron de auge para la petroquímica y la química en el país y el número de instituciones y de alumnos que se inscribían en la carrera se dobló. La demanda de profesionistas era tal que a principios de los ochenta hubo necesidad de importar profesionistas extranjeros para que ayudaran a echar andar los numerosos proyectos que requería el país.



Fig. 28.- Planta química en Monterrey.

Desgraciadamente desde 1983 la crisis económica que se abatió sobre la nación hizo que el ritmo de inversiones se frenara considerablemente, a lo que contribuyó la disminución de los precios internacionales del petróleo y de los productos petroquímicos.

Sin embargo durante los ochenta siguió creciendo el número de instituciones que impartían la carrera y se mejoró notablemente tanto las instalaciones (laboratorios y equipo computacional), como la planta docente, ya que se incorporaron a la enseñanza profesionistas con grados de doctorado y maestría (cosa rara antes de ese período) como maestros de tiempo completo.

A fines de los ochenta en todas las instituciones de enseñanza surge el interés por la ingeniería ambiental, la simulación y optimización de procesos, la biotecnología y los polímeros. Al comienzo de la década de los noventa es cuando surgen los primeros programas de doctorado en ingeniería química, primero en la Universidad autónoma metropolitana (UAM) y posteriormente en gran número de instituciones.

El número de escuelas que impartían esta carrera en 1993 era de 77, siendo la matrícula (los alumnos que cursan la carrera) de alrededor de 20 000 y los egresados de alrededor de 2300 por año.

La carrera que en un principio era exclusiva para varones cuenta en la actualidad con gran atractivo para las mujeres, las que forman alrededor de un 35 % de la matrícula. A nivel maestría el número de alumnos

matriculados en 1992 era de 500 y el de egresados de 100, por lo que se espera que haya un notable crecimiento durante los próximos años.

La firma del Tratado de Libre Comercio entre México, Canadá y los Estados Unidos tiene repercusiones graves sobre la enseñanza de la ingeniería química, ya que los niveles de educación deben tender a igualarse para que los profesionales de estas naciones puedan moverse y ejercitar su profesión libremente en los países señalados. Se abre así un nuevo capítulo en la historia de la ingeniería química en el país, la internacionalización de los ingenieros químicos mexicanos.

Esto, además de ser un gran estímulo, presenta problemas y retos ya que las instituciones de enseñanza mexicanas deben modernizarse y ponerse al nivel de los otros países del tratado mediante la homologación de sus planes y programas de estudio. Otro aspecto conectado con esto es el de la certificación que ya sea el estado o alguna instancia educativa hace de la calidad de los egresados mediante exámenes y entrevistas.

Si se examina el proceso educativo actual se verá que la universidad tiene cuatro funciones en lo que concierne a la formación de ingenieros: determina lo que se debe enseñar, ofrece el servicio de enseñanza, certifica los conocimientos de los egresados y abre nuevos conocimientos a través de la investigación. Pero como dijimos antes, la formación del ingeniero no termina en la universidad, sino que prosigue a través de toda su vida en las industrias y empresas en donde trabaja, allí es donde obtiene la educación no formal, aquella que se transmitió de generación en generación con base en la experiencia y el sentido común.

Hoy día existen otras instituciones diferentes de la universidad y la industria en donde se imparten conocimientos tanto formales como informales, éstas son las asociaciones de profesionistas de las cuales, para los ingenieros químicos mexicanos, la más importante es el IMIQ.

Alrededor de los años cincuenta un grupo de jóvenes ingenieros químicos se empezaron a reunir con la idea de *formar* una asociación de ingenieros químicos que contribuyera al desarrollo de esa disciplina en el país, así fue como en 1957 se creó el INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS Químicos, A.C. (IMIQ).

El IMIQ es una asociación civil que agrupa a los profesionales de la ingeniería química para lograr el desarrollo en teoría y práctica de ese ramo de la tecnología, así como para mantener el más alto nivel profesional entre sus miembros. Estos objetivos tratan de lograrlos en el Instituto mediante conferencias que lleven a todos, los conocimientos de los diferentes campos y materias profesionales, que forman el acervo de conocimientos necesarios para el desarrollo del ingeniero químico. Otro medio importante que utiliza el Instituto, es la realización de convenciones anuales, en las cuales se presentan ponencias técnicas sobre los últimos desarrollos en el campo de la ingeniería química, tanto nacional como internacional. También son importantes las mesas

redondas, paneles, publicaciones y las revistas sobre temas de la profesión y la enseñanza organizado y editada por el IMIQ. El instituto ha servido además de plataforma para lograr la comunicación con institutos similares de otros países entre los que destaca el Poderoso AICHE de los Estados Unidos.

En la enseñanza, el material humano de calidad es lo único que puede asegurar un desarrollo armónico, un alto nivel de estudios y una vida profesional plena, productiva y creativa.

#### Instituciones que impartían la carrera en México (2000)

1. Instituto Tecnológico de Aguascalientes
2. Instituto Tecnológico de Tijuana
3. Universidad Autónoma del Carmen
4. Instituto Tecnológico de Campeche.
5. Instituto Tecnológico de la laguna.
6. Instituto Tecnológico de Tapachula
7. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
8. Instituto Tecnológico de Chihuahua.
9. Instituto Tecnológico de Hidalgo del Parral.
10. UAM Azcapotzalco
11. UAM Iztapalapa
12. Universidad del Ejército y Fuerza Aérea
13. Universidad La Salle
14. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
15. Universidad del Valle de México
16. Instituto Politécnico Nacional (IPN)
17. Instituto Tecnológico de Durango.
18. Universidad de Guanajuato
19. Instituto Tecnológico de Celaya
20. Instituto Tecnológico de Pachuca
21. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente
22. Universidad Autónoma de Guadalajara.
23. Universidad de Guadalajara.
24. ENEP Cuautitlán
25. Universidad Autónoma del Estado de México
26. Instituto Tecnológico de Toluca
27. ENEP Zaragoza
28. Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo
29. Instituto Regional de Jiquilpan
30. Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenos
31. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
32. Instituto Tecnológico de Zacatepec.
33. Universidad Autónoma de Nayarit.
34. Instituto Tecnológico de Tepic
35. Instituto Tecnológico y de estudios Superiores de Monterrey (ITESM)

36. Universidad Regiomontana.
37. Universidad de Monterrey
38. Universidad Autónoma de Nuevo León.
39. Instituto Tecnológico de Oaxaca.
40. Universidad de las Américas
41. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.
42. Universidad Autónoma de San Luis Potosí
43. Escuela Regional en Río Verde San Luis Potosí
44. Escuela Regional de Estudios Profesionales en la Huasteca.
45. Universidad Autónoma de Sinaloa
46. Instituto Tecnológico de los Mochis
47. Instituto Tecnológico de Sonora en Ciudad Obregón
48. Instituto Tecnológico de Sonora en Navojoa
49. Universidad de Sonora en Hermosillo.
50. Universidad de Sonora en Caborca.
51. Universidad de Sonora en Navojoa
52. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
53. Instituto Tecnológico de Villahermosa.
54. Universidad Autónoma de Tamaulipas
55. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.
56. Instituto Tecnológico de Matamoros.
57. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
58. Universidad Veracruzana en Xalapa
59. Universidad Veracruzana en Veracruz
60. Universidad Veracruzana en Poza Rica.
61. Universidad Veracruzana en Orizaba
62. Universidad Veracruzana en Coatzacoalcos.
63. Instituto Tecnológico de Minatitlán.
64. Instituto Tecnológico de Orizaba
65. Instituto Tecnológico de Veracruz
66. Universidad Autónoma de Yucatán.
67. Instituto Tecnológico de Mérida
68. Universidad Autónoma de Zacatecas.
69. Universidad Tecnológica de México (UNITEC)

La carrera de ingeniero químico se imparte bajo diferentes nombres en nuestro país, en la tabla siguiente se muestran los nombres y los porcentajes de estudiantes matriculados.

Carrera	Porcentaje
Ingeniero químico	65.7
Ingeniero químico industrial	14.7
Ingeniero industrial en química	10.5
Ingeniero químico petrolero	2.4
Ingeniero químico administrador	2.2
Ingeniero químico y de sistemas	2.0

Ingeniero químico en procesos	1.3
Ingeniero en procesos petroquímicos	1.2

# Capítulo 12

## La ética del Ingeniero químico

**S**e entiende por Ingeniería Química el arte de aplicar con creatividad y ética los conocimientos científicos y empíricos al estudio y resolución de los problemas de la industria, especialmente de la industria química y de los problemas sociales, económicos y ecológicos con ella relacionados en beneficio de la comunidad. (Artículo tercero, Sección I, Estatutos IMIQ)

En esta definición hay algo que afecta y preocupa pues entra dentro de la ética del estudiante, del profesor y del profesionalista de Ingeniería Química, que es no otro que el conocimiento, es decir el saber y para ello es irremediable tener el deseo de aprender, pero además implica una obligación, un compromiso moral por su relación con la comunidad universitaria y con la sociedad y con el medio ambiente. De allí que ese conocimiento requiera de un buen ejercicio de la profesión. Para ello se hace imprescindible formarse mediante la adquisición de conocimientos fundamentales y flexibles que permitan adaptar la mente, no solo a la solución de los problemas actuales, sino futuros, máxime en un mundo tan cambiante como el actual, y conseguir de esta forma la mejor base posible, pues sólo con una formación adecuada derivada del conocimiento puede tener actitudes correctas ayudar y ser útil a si mismo y a los demás, objetivo de toda conducta humana.

Las actitudes, son guías y orientación de la conducta y proporcionan valores que orientan la actividad en beneficio de la sociedad y de su entorno haciendo un uso eficiente de los recursos, fomentando la conciencia social y ambiental. Una actitud es una tendencia a decidir, pensar o actuar de una determinada manera bajo ciertas circunstancias. Las actitudes tienen que ver con los valores. Un valor es aquello a lo que uno decide dedicar la vida o una porción de ella. Un valor representa una manera de ser, una razón para vivir. A los valores que tradicionalmente que se insertan en la formación de los profesionales como son la eficacia y la eficiencia se añaden hoy en día otros relacionados con el cuidado del medio ambiente y el uso de tecnologías limpias

La mayor parte de la gente estaría de acuerdo en que los valores económicos, y tecnológicos y utilitarios son importantes en la practica de la ingeniería, pero ¿lo son también los valores, sociales, los morales, y vitales?

Ahora bien, si se considera al ingeniero químico como una persona que se esfuerza en servir a las necesidades de la sociedad, tales valores adquieren un significado.

La moral y la ética están asociados con las relaciones de los hombres para con los hombres, sus orígenes se encuentran en las tradiciones culturales, profesionales y familiares y a veces son tan variados como lo

son estos grupos, de manera que un individuo al enfrentarse a un problema lo hace siguiendo generalmente un código moral que dependiendo del problema viene marcado según se trate de su vida profesional, moral, cívica o familiar.

Esta confusión hace que en determinados momentos se acepten o permitan conductas inmorales en sí mismas, que no se aceptarían en otros entornos.

En efecto en nuestra sociedad tan compleja y con un crecimiento acelerado por el desarrollo científico y tecnológico, el joven llega a la universidad con un conjunto de valores desarticulados que en la mayoría de los casos se traduce en confusión o suplantación de valores.

La controversia entre lo que es correcto o no en una sociedad existe desde hace siglos y al parecer nunca terminará. Este nuevo milenio ofrece abundantes oportunidades para las sociedades producto de los adelantos tecnológicos, los cuales alteran el comportamiento del mundo que conocemos en distintas áreas fundamentales. En este sentido, las fuerzas del entorno socioeconómico, cultural y natural impondrán nuevos límites a cada uno de los elementos afectados, en especial a las prácticas de mercadeo y de los negocios que sirven de medio para incorporar en el mercado esos avances.

En realidad, la ciencia en cuanto ciencia es amoral, lo cual significa que la ciencia, el conjunto de verdades objetivas, frías, racionales, se valoran en un plano que no toca la moralidad; se trata de otro tipo de valores. Por ejemplo: ¿qué valor moral se puede asignar a la ley general del estado gaseoso? ¿O que tan buena o mala, moralmente hablando, es la ley de la conservación de la materia?. Como se ve, estas preguntas no tienen sentido, porque se está intentando la aplicación de la Ética a lo que de suyo es amoral. Muy diferente es el caso del científico; él y su conducta, en cuanto son libres (actos humanos), son susceptibles de la aplicación de la Ética. Un científico puede tener mucho valor moral en sus investigaciones, y también es posible una conducta moralmente mala al aprovechar los conocimientos científicos para perjudicar a la humanidad por ejemplo fabricando armas químicas<sup>3</sup>.(Gutierrez,1998)

En la propia ciencia hay valores éticos, valores que un científico necesita, por ejemplo, la veracidad, el rechazo al plagio, a la corrupción, la búsqueda objetiva y sincera de la verdad. Esto es un valor moral y a la vez científico. Otros valores morales, pero también científicos, son, por ejemplo, el respeto al trabajo ajeno, la cooperación, la lealtad con los colaboradores, y por supuesto, dentro de la relación profesores alumnos, la objetividad, la imparcialidad en la valoración del trabajo de los alumnos, el respeto a su creatividad, la autoeducación, porque como dice Savater, la función de los maestros es enseñar a los demás a que prescindan de nosotros.

---

<sup>3</sup> Gutierrez Saenz, Raúl – Introducción a la Ética – Esfinge – México – 1998

La moral tiende a crear una sociedad ideal en donde se pudiera vivir lo mejor posible. Incluso las peores personas saben que es mejor vivir entre personas buenas y en un medio ambiente no contaminado. El asesino no quiere vivir rodeado de asesinos, el ladrón no quiere vivir rodeado de ladrones, el contaminador no quiere vivir en el smog y la suciedad. Todos estaríamos de acuerdo en que el mundo que queremos, no es un mundo poblado de ladrones, de cobardes, de mentirosos, de personas incapaces de solidaridad. Aunque nosotros seamos así no queremos ese mundo.

La ética, dice Savater<sup>4</sup>, es siempre una ética para tiempos difíciles. No pasa nada cuando las cosas van bien, cuando todo nos sonríe, cuando las situaciones son de abundancia. Si sobra el agua o la comida, a nadie le importa compartirla. El problema de compartir es cuando falta. Cuando todo es armonía y no hace falta explicarse nada, no hace falta la ética. La ética, los valores, la necesidad de reflexionar sobre un proyecto humano compartido surge en los momentos de dificultad. Lo, que pasa, es que para los humanos, el momento de dificultad, es toda nuestra vida y es casi cualquier época, porque siempre estamos en momentos difíciles.



Fig.29.- La ética es la disciplina que trata de la valoración moral de los actos humanos.

### Ética y moral

La ética es la disciplina que trata de la valoración moral de los actos humanos y por ello se considera como un conjunto de principios y normas morales que regulan las actividades humanas. La ética profesional es aquella que centra su atención en el tema de los códigos de ética.

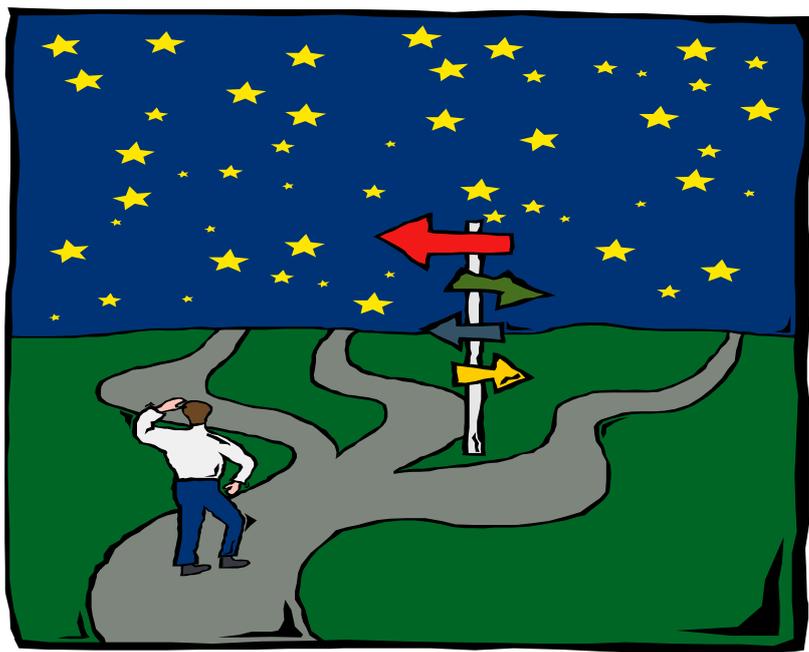
Ante un juicio de valor, el profesionista ha de responder con una serie de actos que ha de ser validos para el y para el momento. Sus decisiones las ha de hacer en base a hipótesis y nunca en generalizaciones, buscado el poder de su conocimiento y concluyendo en la ayuda a los demás, para mejorarlos en algún sentido.

Pero ¿cuáles son los valores del ingeniero químico?

---

<sup>4</sup> Savater, Fernando – Los caminos para la libertad. Ética y educación- Ariel – México-2000

Los valores que requiere un ingeniero químico, son guías y orientación de la conducta y proporcionan actitudes que orientan la actividad en beneficio de la sociedad y de su entorno haciendo un uso eficiente de los recursos, fomentando la conciencia social y ambiental. Una actitud según el IMIQ es una tendencia a decidir, pensar o actuar de una determinada manera bajo ciertas circunstancias. Las actitudes tienen que ver con los valores. Un valor es aquello a lo que uno decide dedicar la vida o una porción de ella. Un valor representa una manera de ser, una razón para vivir.



*Fig.30.- Los valores son indicadores de nuestras decisiones.*

¿Cuáles son los valores que debería tener un ingeniero químico<sup>5</sup>? Desde luego los ingenieros químicos deben tener valores vitales. La salud es muy importante, sin ella nadie puede desempeñar correctamente sus funciones. Una persona que no se cuida nos parece poco razonable, pues la gente concuerda en que la salud es mejor que la enfermedad. La agilidad y la destreza son también bienes deseables que se pueden adquirir a través de una alimentación sana, la práctica del deporte y la templanza en el comer y beber. Es obvio que los ingenieros químicos deben poseer valores económicos, pues laboraran en empresas que deben ser económicamente redituables. Por ello debe hacerse énfasis en los valores de la utilidad, la calidad, la economía, el éxito, la productividad., el ahorro. El dinero es necesario. Desde luego son necesarias las cosas para vivir. Pero el consumismo es una forma absurda, excesiva y perjudicial de gastar, ya que empobrece al hombre y a la Tierra.

<sup>5</sup> Valiente Barderas, Antonio –La transmisión de actitudes y valores en la Ingeniería Química- Revista del IMIQ-47 (1-2)-2006-pag.33

Entre los valores técnicos que debe poseer el ingeniero químico están: las habilidades de cálculo, el amor por el estudio y el deseo de seguir aprendiendo, la organización, la diligencia en el trabajo, la creatividad. La responsabilidad, el pragmatismo orientado hacia el desarrollo de productos y servicios. Sensibilidad hacia los problemas sociales.

Los valores afectivos son importantísimos sin autoestima, amor, voluntad, fidelidad, sinceridad, camaradería y confianza los ingenieros por muy buenos que fueran en su profesión no podrían vivir en armonía consigo mismo y los demás.

Entre los Valores intelectuales que deben cultivar los ingenieros químicos están: la sabiduría, el conocimiento científico y técnico, el amor por la verdad, el desarrollo del intelecto, la mentalidad innovadora. La flexibilidad de criterios, la capacidad de adaptación, la actitud emprendedora y la sensibilidad hacia los problemas sociales

Los valores sociales son muy importantes para el ingeniero químico. Entre los valores que debe cultivar están: la sensibilidad hacia los problemas sociales la amabilidad, la honestidad, el espíritu de servicio, la solidaridad con trabajadores, colegas, empresarios y autoridades. El patriotismo, la cooperación y cohesión social, la prosperidad, el prestigio, la autoridad, etc. La ética profesional, la conciencia del desarrollo sustentable. El liderazgo y el respeto por la autoridad.

Los ingenieros químicos también deben practicar los valores estéticos que significan el amor por lo bien hecho, por lo bello, por la buena apariencia y presentación, el amor por la ecología, la conciencia del aprovechamiento y preservación de los recursos naturales.

Los valores morales perfeccionan al ingeniero químico como profesionista y como hombre. Los valores morales orientan el comportamiento y las actitudes personales, principalmente se centran en los efectos que produce la conducta propia en las otras personas, en la sociedad o en el medio ambiente en general. Contienen elementos de juicio que permiten a los individuos tener ideas sobre lo que es bueno, correcto y deseable; de acuerdo a sus convicciones y las que le transmite la sociedad. El ingeniero debería ser prudente en sus decisiones, justo con sus colegas y subalternos, templado en sus deseos, valeroso en la toma de decisiones y en la adversidad.

Por último los valores teológicos no deben despreciarse, ya sea que el ingeniero sea creyente o no, para progresar en su carrera se necesita fe en las personas y en los proyectos que se emprenden, esperanza en lograr los resultados y en que las acciones producirán un mejor futuro para ellos y el mundo, caridad y solidaridad, con los que menos tienen y con los que saben menos.

Como se dijo el sistema de valores de cada persona es, en gran parte, adquirido o establecido durante los primeros años de su vida por influencia de su entorno familiar, social y cultural. El mismo puede ser modificado según la interacción social del individuo con otros sistemas

de valores. Los valores se apoyan en principios morales que orientan el comportamiento y las relaciones humanas de la sociedad; y sirven para el florecimiento de la ética, que es la forma como los hombres aplican los valores a sus relaciones y sus efectos. La ética puede también definirse como el sistema de reglas que gobiernan el ordenamiento de los valores.

### Códigos de Ética

Los principios morales son directrices para la conducta humana que han demostrado tener un valor duradero, permanente. Los principios forman parte de las religiones, de las filosofías sociales y de los sistemas éticos. Son leyes que han estado presentes en las sociedades civilizadas a lo largo de la historia y que han influenciado a todas las familias e instituciones. Los principios son verdades profundas que expresan valores fundamentales de aplicación universal. Se aplica a los individuos, a las familias y las organizaciones de cualquier tipo. Cuando esas



verdades se interiorizan como hábitos, otorgan el poder de crear una amplia variedad de prácticas para abordar diferentes situaciones...

*Fig. 30.-La aplicación de la ética a la ingeniería permite obtener las mejores decisiones aceptables.*

El conjunto de valores, principios y creencias que posee una organización de forma distintiva se pueden poner dentro de un Código de ética o conducta y deben ser publicados y conocidos para que tengan un significado importante y compartido por cada uno de sus

miembros.

La ética en ingeniería es el estudio de los asuntos morales y de las decisiones que se presentan a los individuos y a las organizaciones al ejercer la profesión, así como el estudio de la conducta moral, el carácter, los ideales y las relaciones entre las gentes y las organizaciones relacionadas con el desarrollo tecnológico.

La aplicación de la ética a la ingeniería permite el estudio de la moralidad de las decisiones ingenieriles y define guías para la conducta moral aceptable para todos los profesionistas. Tales guías están basadas parcialmente en códigos éticos desarrollados por las asociaciones de ingeniería para lograr mantener el respeto de la sociedad por esas disciplinas. Los códigos éticos invitan a los ingenieros

a comportarse de una manera que los beneficie a ellos, a la sociedad y a su profesión. Debe recordarse que por encima de todo, los ingenieros están al servicio de la sociedad, y eso implica códigos éticos de conducta.

Los códigos de ética se inician a partir de la filosofía de sus fundadores y se mantienen a través de la influencia y reforzamiento de sus líderes. El código ético influye en el comportamiento ético y en el desempeño de las organizaciones a nivel individual y en su conjunto. Este código orienta en las relaciones internas y externas de los profesionistas y sus organizaciones y compañías.

Dedicarse a la ingeniería conlleva también un grado de autoentrega y de contacto directo con las personas y por ello no basta con ser un buen profesional, sino también es preciso destacar la calidad humana de la persona que encarna la ingeniería. Ser ingeniero no se reduce a poseer unos conocimientos más o menos perfectos sobre el funcionamiento de los aparatos, sino que exige una verdadera vocación, una actitud de verdadera entrega y desprendimiento, capaz de sacrificar, incluso intereses personales en aras de un mejor servicio a la comunidad,

Aunque un gran número de profesionales de la ingeniería encarnan este ideal, existen notables excepciones que han causado entre la población una verdadera crisis en la imagen de estos profesionales. Un factor que ha contribuido es la falta de interés y la impersonalidad de algunos profesionales en empresas públicas y privadas. El otro son las instituciones que contribuyen a destruir el ambiente, y los profesionistas que utilizan sus conocimientos para hacer más estragos y debilitar los ecosistemas en aras de la productividad o de la economía.

El código ético es un esfuerzo premeditado para fortalecer y garantizar el ethos, pero nacido para ir más allá asegurando al profesionista, al cliente y al público en general, un modelo profesional de relaciones humanas. El código ético saca su fuerza del ethos que necesita para profundizar y fortalecerse; pero más que eso, en moral profesional es un esfuerzo concreto para asegurar normas precisas. Es más una guía que un control. Sin embargo, se usa también para garantizar un mínimo de control ético por parte de las asociaciones y algunas veces evita la necesidad de que el estado legisle o interfiera en cuestiones propias de la profesión. Un código de ética enuncia valores o conductas específicas. Un código establece, de manera clara y precisa, la forma en que se traducen en la vida diaria y en las relaciones humanas los valores éticos y la misión de una institución. Además orienta las actitudes y conductas que se esperan de cada uno de sus miembros; el código contribuye a conseguir de manera más eficiente y eficaz las metas y objetivos institucionales.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> 1.- Código de conducta de los trabajadores del Instituto Politécnico Nacional- Secretaria de Administración de Recursos humanos- -México D.F.-2005

La moral profesional significa un esfuerzo sistemático para iluminar el ethos y elaborar las perspectivas y las normas de una profesión. Intenta robustecer la moralidad, el criterio moral y las decisiones del profesionista y sus clientes. Las profesiones, como grupos constituidos, responden a los problemas éticos que se presentan mediante una serie de códigos en los que se define lo que no se debe de hacer o lo que se debe hacer para el buen ejercicio profesional. La persona sin criterio moral puede encontrar en ellos un instrumento adecuado para justificar lo que hace, (si no está en contra de ese código), quedando satisfecho consigo mismo al diluir su responsabilidad en el grupo, sin tener en cuenta que la ética de una profesión es la ética de cada uno de sus miembros y no al revés.

La moralidad del profesionista es la realización subjetiva y personal del acceso a la profesión, el vivir en la plenitud de su ethos; la capacidad del actuar de acuerdo a una conciencia bien formada, y de tomar decisiones concretas con una actitud justa y con visión y criterios claros.

Es deseable que todos los institutos y asociaciones relacionados con la ingeniería química den a conocer su Código de Conducta entre sus asociados. También es deseable que estos se dieran a conocer a los estudiantes de ingeniería química que se están preparando en las diversas instituciones para que salgan con el conocimiento del conjunto de normas y valores que constituyen la Ética profesional.

Como ejemplo presentamos el Código de ética del IMIQ

### ***Código de Ética del IMIQ (Constitución reglamento. Código de Ética. (1968)***

El Instituto espera que las actividades de sus socios se rijan por las siguientes reglas:

- 1.-En todas sus relaciones seguirá los más altos niveles de integridad y obrarán siempre de buena fe.
- 2.-Siempre mantendrán ante el público la dignidad de la profesión en general y la buena reputación del Instituto.
- 3.- Evitarán y desaprobarán el sensacionalismo, la exageración y las declaraciones no solicitadas. Al hacer la primera publicación relativa a inventos, descubrimientos químicos o mejoras, dicha publicación se hará por conducto de sociedades científicas o publicaciones técnicas.

- 4.-Rehusarán hacer, cobrando, trabajos que crean no serán remunerables para los clientes; y deberán hacer notar a los mismos la improbabilidad de resultados satisfactorios.
  - 5.-Mantendrán el principio de que cobrar demasiado poco por trabajo profesional tiende a producir trabajo de poca calidad y poco digno de confianza.
- 6.-Rehusarán el uso de sus nombres para cualquier empresa dudosa.
- 7.- Serán conservadores en todas sus estimaciones, informes, testimonios, etc. Especialmente en el caso de los que estén relacionados con la promoción de negocios.
- 8.- No se comprometerán en ninguna ocupación que sea contraria a la ley o bienestar público.
- 9.- Cuando un ingeniero químico tome por cuenta de otros, trabajos en relación a los cuales pueda hacer mejoras, inventos , planos, diseños, etc., es preferible que celebre un convenio escrito respecto a la propiedad de los mismos. En caso de que no se haya hecho dicho convenio, o el mismo no cubra determinado aspecto, regirán normalmente las siguientes reglas:
- a) Si un ingeniero químico utiliza información que no sea del conocimiento público o propiedad pública pero obtenida de un cliente o patrón, los resultados tales como planos, diseños, etc., no podrán ser considerados como de su propiedad, sino como propiedad de su cliente o patrón.
  - b) Si un ingeniero químico usa solamente sus conocimientos o información o datos que por publicación anterior o en otra forma son propiedad pública, y no obtiene información relativa a ingeniería química de un cliente o patrón, excepto especificaciones de resultado o informaciones rutinarias, entonces los inventos, planos, diseños, etc., resultantes deberán ser considerados como propiedad del ingeniero y el cliente o patrón sólo podrá utilizarlos para el objeto el cual el ingeniero fue contratado.
  - c) Todo trabajo y los resultados obtenidos por un ingeniero químico en forma de inventos, planos diseños, etc., fuera del campo para el cual un cliente o patrón lo ha contratado, deberán ser considerados como propiedad del ingeniero químico.
  - d) Cuando un ingeniero químico participa en la construcción de algún aparato de acuerdo con los diseños proporcionados por el cliente, dichos diseños continúan siendo propiedad del cliente y no

deberán ser copiadas por el ingeniero o cualquier otra persona que lo represente, para ser usados por terceros sin la autorización expresa del cliente.

- e) Los datos o información de ingeniería química que un ingeniero químico obtiene de su cliente o patrón o que el descubra como resultado de tal información, deben ser considerados confidenciales por el ingeniero; y aún cuando tiene derecho a utilizar tales datos o información en su propia práctica como parte de su experiencia profesional, su publicación sin autorización del cliente se considera indebida.
- f) Los diseños, datos y notas hechas por un empleado que no sea consultor, relacionados con el trabajo de su patrón, deberán ser considerados como propiedad del patrón.
- G) Un cliente no adquiere derechos exclusivos sobre planos o aparatos hechos o contruidos por un ingeniero químico consultor, excepto para el caso específico para el que fueron hechos.
- 10.-Un ingeniero químico no podrá aceptar en un asunto determinado, sin menoscabo de su prestigio, compensación monetaria o de cualquier otro tipo de más de una persona sin el consentimiento de todas las partes interesadas. Si está trabajando como consultor en trabajos de diseño, instalación u operación, no deberá aceptar compensación directa o indirectamente de personas que tratan con su cliente o patrón, excepto con el conocimiento y consentimiento del mismo. Cuando sea llamado para decidir sobre el uso de inventos, aparatos y procesos, etc., en los cuales tenga un interés económico, deberá aclarar perfectamente su posición antes de comprometerse.
- 11.- El ingeniero químico deberá esforzarse siempre por dar crédito al trabajo de aquellos que, según su leal saber y entender, son los verdaderos autores de dicho trabajo.
- 12.-No será permitida la publicidad poco digna, sensacional o confusa. Tampoco se permitirá el empleo de los nombres o fotografías de los socios para tal tipo de publicidad, ni el uso del nombre del Instituto en relación con la misma.

## Bibliografía

- \*Tyler, *Chemical Engineering Economics*. McGraw Hill, New York, 1945.
- \*E. LITTLEJOHN, *Introducción a la ingeniería química*. CECSA, México, 1960.
- \*D. MCGREGOR, *El aspecto humano de las empresas*. Editorial Diana, México, 1979.
- \*D.W.F. HARDIE Y J.D. PRATT, *A History of the Modern British Chemical Industry*. Pergamon Press, Glasgow, 1969.
- \*E. LEFF, *Ciencia, técnica y sociedad*. ANUIES, México, 1977.
- \*F.S. TAYLOR, *Los alquimistas*. Fondo de Cultura Económica, México, 1957.
- \*G. NONHEBEL, *Chemical Engineering in Practice*. Wykeham, Londres, 1973.
- \*H.H. ALBERS, *Principios de organización y dirección*. Limusa, México, 1974.
- \*K. KAMMERMEYER Y J.O. OSBURN, *Money and the Chemical Engineer*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1956.
- \*RODRIGO, *Nuevos productos químicos*, Salvat, Barcelona, 1975.
- \*MANUAL DE FRASCATI, *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*, París, 1970.
- \*O.A. HOUGEN, *Los ingenieros químicos y cómo crecieron*. Chemtech, enero 1979.
- \*P. KOTLER, *Dirección de mercadotecnia, análisis, planeación y control*. Editorial Diana, México, 1977.
- \*P.F. DRUCKER, *La gerencia de empresas*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires, 1974.
- \*P.R. LANTOS, *A Wide World of Careers for Chemical Engineers*. Chemical Engineering, 2 enero 1976.
- \*R. LANDAU, *La planta química*, CECSA, México, 1979.
- \*R.J. FORBES, *Historia de la Técnica*. Fondo de Cultura Económica, México, 1977.
- \*T.L. Williams, *The Chemical Industry*. Open University, Menston, Yorkshire, 1972.
- \*T.K. DERRY Y T.I. WILLIAMS, *Historia de la tecnología*. Siglo XXI Editores, México, 1977.

## Referencias

- \*ALVAREZ MEDINA, CONSTANTINO. *Origen y desarrollo de la ingeniería química en México*. Revista IMIQ, año xxxii, vol. 23, septiembre 1991.

- \*BATILE, JORGE Y Gumuzzio José. *La química, ciencia de la materia y el cambio*. Madrid, Salvat, 1985.
- \*BYRON, R. Bird - *Book writing and Chemical Engineering Education*. Chemical Engineering Education, 1963.
- \*COEURET, F. *Elements the genie electrochimique*, Paris, Ed. Lavoisier, 1993.
- \*LITTLE, A.D. *Report to the corporation of M.I.T. Silver Anniversary Volume-A.I.C.H.E.*, 1993.
- \*O.A. HOUGEN, *Seven decades of chemical engineering- Chemical Engineering Progress*, enero 1977.
- \*HOWARD F. RASE. *The philosophy and logic of Chemical Engineering*. Houston, Gulf Publishing Co., 1961.
- \*Ríos SÁNCHEZ, ALFREDO. *El ingeniero químico del futuro*. Revista IMIQ, año xxix, vol. 2, marzo 1957.
- \*RUIGARCIA, ARMANDO. *Mitos y creencias en la docencia de la ingeniería*. Revista IMIQ, septiembre 1993.
- \*VALIENTE, ANTONIO Y RUDI P. STIVALET. *El ingeniero químico ¿Qué hace?* México, Alhambra, 1980.
- \*VALIENTE BARDERAS, ANTONIO. *Los estudiantes de Ingeniería química*, Revista IMIQ, año xxxiv, vol. 3, noviembre 1993.
- \*VALIENTE BARDERAS, Antonio. *La creación de un libro de texto de Ingeniería química: experiencia de un autor*. Revista Educación Química, no. 2, vol 3, abril 1992.
- \*GALDEANO BIENZOBAS, CARLOS. *Investigación y comparación de los planes de estudio de las universidades y tecnológicos que imparten la carrera de Ingeniería Química en la República Mexicana*. Tesis. Fac. de Química, UNAM, 1982.
- \*VALIENTE BARDERAS, ANTONIO. *La demanda de educación superior en México en el área de la Química*. Revista Soc. Quim. Mex., No. 2, vol. 24, marzo 1960.
- \*Kamenetzky Mario – *La ingeniería Química – Editorial universitaria de Buenos aires- 1971*
- \*GARRITZ Ruiz, ANDONI. *Química en México, ayer, hoy y mañana*. Fac. de Química, México, UNAM, 1991.
- \* AIChE- *Code of Ethics*- January 17, 2003
- \* Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y de Químicos, *Código del CONNIQ* - México, D.F.
- \* IPN- *Código de conducta de los trabajadores del Instituto Politécnico Nacional*- Secretaria de Administración de Recursos humanos- -México D.F.-2005
- \* Savater, Fernando – *Los caminos para la libertad. Ética y educación*- Ariel – México- 2000
- \* Valiente Barderas, Antonio – *La transmisión de actitudes y valores en la Ingeniería Química*- Revista del IMIQ-47 (1-2)-2006-pag.33

\* Gutiérrez Sáenz, Raúl – *Introducción a la Ética* – Esfinge – México – 1998.

\* IMIQ - Constitución, reglamento , *Código de ética del IMIQ*- 1968.- México.D.F.