



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE QUÍMICA

**LA INGENIERÍA DE PRODUCTO  
Y EL INGENIERO QUÍMICO EN EL SIGLO XXI**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A :  
**ISRAEL OLAFF SIERRA RODRÍGUEZ**



México, D.F.

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor Reynaldo Sandoval González

**VOCAL:** Profesor José Antonio Ortiz Ramírez

**SECRETARIO:** Profesor José Sabino Sámano Castillo

**1ER SUPLENTE:** Profesor José Fernando Barragán Aroche

**2DO SUPLENTE:** Profesor Héctor Israel Basave Rivera

**LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** Torre de Ingeniería, 5to piso ala Sur. Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.. Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria. Coyoacán. Distrito Federal, 04510.

**Asesor del Tema:**

---

M. en I. José Antonio Ortiz Ramírez

**Sustentante:**

---

Israel Olaff Sierra Rodriguez

A:

Mis Padres,

Hermanos,

Sobrino y

Amigos.

Gracias por su apoyo.

# CONTENIDO

|   | Página |
|---|--------|
| INTRODUCCIÓN  | 1      |
| OBJETIVO GENERAL  | 2      |
| OBJETIVO PARTICULARES   | 2      |
| 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA                 | 3      |
| 1.1. Antecedentes (440 A.C. – 1750 D.C.)                        | 3      |
| 1.2. Condiciones Iniciales ( 1780 – 1880 )                      | 9      |
| 1.3. Orígenes de la ingeniería química (1880-1910)              | 20     |
| 1.4. Definiendo una nueva profesión (1910-1945)                 | 26     |
| 1.5. Crecimiento Sustentable (1945-1970)                        | 31     |
| 1.6. Nuevos Retos (1970-?)                                      | 33     |
| 2. PANORAMA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN EL SIGLO XXI            | 37     |
| 2.1. Visión de la Ingeniería Química en el Siglo XXI            | 37     |
| 2.1.1 Investigación y Desarrollo: Producto                      | 38     |
| 2.1.2 Investigación y Desarrollo: Proceso                       | 39     |
| 2.1.3 Manufactura   | 41     |
| 2.1.4 Gestión y Servicios                                       | 43     |
| 2.1.5 Educación   | 44     |
| 2.1.6 Sociedad y Sustentabilidad                                | 46     |
| 2.2. Plan de trabajo de la Ingeniería Química en el Siglo XXI   | 47     |
| 2.2.1 Sustentabilidad y Tecnología Química Sustentable          | 49     |
| 2.2.2 Salud, seguridad, Ambiente y Percepción Pública de Riesgo | 50     |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.2.3   | Energía  | 50 |
| 2.2.4   | Alimentos y Bebidas                                  | 52 |
| 2.2.5   | Agua   | 53 |
| 2.2.6   | Bioprocesos y Biosistemas                            | 53 |
| 3.      | INGENIERÍA DE PRODUCTO                               | 55 |
| 3.1     | Definición de Producto                               | 55 |
| 3.1.1   | Clasificación de productos                           | 57 |
| 3.1.1.1 | Clasificación de Productos por su durabilidad.       | 57 |
| 3.1.1.2 | Clasificación Internacional de Productos y Servicios | 60 |
| 3.1.1.3 | Clasificación de Productos Químicos                  | 61 |
| 3.2     | Razones para la generación de nuevos Productos       | 62 |
| 3.3     | Ciclo de vida del Producto                           | 63 |
| 3.3.1   | Etapas de introducción del producto                  | 64 |
| 3.3.2   | Etapas de crecimiento                                | 64 |
| 3.3.3   | Etapas de madurez                                    | 65 |
| 3.3.4   | Etapas de declinación del producto                   | 67 |
| 3.4     | Ingeniería de Producto                               | 68 |
| 3.4.1   | Ciclo de Desarrollo del Producto                     | 68 |
| 3.4.1.1 | Preparación  | 68 |
| 3.4.2   | Fases del proyecto                                   | 70 |
| 3.4.2.1 | Planteamiento  | 71 |
| 3.4.3   | Información  | 76 |
| 3.4.4   | Cuantificación                                       | 77 |
| 3.4.5   | Calculo y Ajuste                                     | 80 |
| 3.4.6   | Comprobación   | 80 |
| 3.4.7   | Documentación  | 81 |
| 3.4.8   | Preparación  | 82 |
| 3.4.9   | Lanzamiento  | 83 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.    | EL INGENIERO QUÍMICO Y LA INGENIERÍA DE PRODUCTO           | 84  |
| 4.1   | Historia del concepto de Ingeniería de Producto Químico    | 84  |
| 4.2   | Estructura de la Ingeniería de Producto Químico            | 85  |
| 4.3   | Pirámide de Producto Químico                               | 86  |
| 4.4   | Integración de producto químico y diseño de proceso        | 88  |
| 4.4.1 | Ingeniería de Proceso Versus Ingeniería de Producto        | 89  |
| 4.5   | Enfoque multifacético                                      | 91  |
| 4.6   | Proceso del Diseño de Productos Químicos                   | 92  |
| 4.7   | Herramientas en el Diseño de Producto                      | 93  |
| 5.    | CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE PRODUCTO EN FERTILIZANTE SÓLIDO | 96  |
| 5.1   | Necesidad  | 96  |
| 5.2   | Idea   | 98  |
| 5.3   | Selección de la idea                                       | 99  |
| 5.4   | Prototipo  | 100 |
|       | CONCLUSIONES   | 105 |
|       | APÉNDICE   | 109 |
|       | Apéndice I   | 110 |
|       | BIBLIOGRAFÍA   | 115 |

| Lista de Tablas  | Página |
|--|--------|
| Tabla 1.1 Tendencias Industriales en el siglo XX.              | 35     |
| Tabla 1.2 Áreas de Investigación                               | 36     |
| Tabla 3.1 Clasificación Internacional de Productos y Servicios | 60     |
| Tabla 3.2 Clasificación de los Productos Químicos              | 62     |
| Tabla 4.1. Algunos factores de calidad                         | 88     |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabla 4.3  | Análisis económico para la instalación de un proceso de Adsorción en la recuperación de Xileno. (Coutihno, Viela, Pereira, Pessoa, Santos, & Kontogeorios, 2005)           | 90 |
| Tabla 4.3. | Comparación entre los costos anuales de la formulación original con xileno y la nueva formulación acuosa (Coutinho, Vilela, Pereira, Pessoa, Santos, & Kontogeorgis, 2005) | 91 |

| Lista de Figuras   | Página |
|--|--------|
| Fig. 1.1 Imagen del libro De Re Metallica  | 4      |
| Fig. 1.2 John Roebuck  | 9      |
| Fig. 1.3 Esquema del proceso de producción de álcali. LeBlanc.   | 10     |
| Fig. 1.4 Esquema del Proceso Solvay para producir álcali.<br>( <a href="http://scifun.chem.wisc.edu">http://scifun.chem.wisc.edu</a> )                                     | 12     |
| Fig. 1.5 Traité élémentaire de chimie, Lavoisier.<br>( <a href="http://chimge.unil.ch/De/redox/images/traite1.gif">http://chimge.unil.ch/De/redox/images/traite1.gif</a> ) | 12     |
| Fig. 1.6 Alambique Coffey  | 14     |
| Fig. 1.7 Edwin L. Drake, 1859 ( <a href="http://media-2.web.britannica.com">http://media-2.web.britannica.com</a> )  | 18     |
| Fig. 1.8 George E. Davis ( <a href="http://www.chemheritage.org">www.chemheritage.org</a> )  | 23     |
| Fig. 1.9 Estructura molecular de la baquelita.   | 26     |
| Fig. 2.1 Formulación de la visión de Otto C. C. Linn para la Ingeniería Química en el siglo XXI  | 37     |
| Fig. 2.2 Ingeniería de Producto y sus tendencias para el siglo XXI.  | 39     |
| Fig. 2.3 Ingeniería de Proceso y sus tendencias para el siglo XXI.   | 41     |
| Fig. 2.4 (a) Lab-on-a-chip. (b) Intensificación de Proceso.<br>(c)La Manufactura y sus tendencias para el siglo XXI.   | 42     |
| Fig. 2.5 La Gestión y los Servicios y sus tendencias para el siglo XXI.  | 44     |
| Fig. 2.6 Tendencias de la educación en la Ingeniería Química, Proyecto “Frontiers in Chemical Engineering Education”   | 45     |
| Fig. 2.7 Tendencias de la Ingeniería Química en el Siglo XXI (ICHEME)  | 48     |



|  |     |
|--|-----|
| Fig. 3.1 Elementos por los cuales se desarrollan nuevos productos.   | 63  |
| Fig. 3.2 Representación del ciclo de vida de un producto (Roozenburg y Eekels 1995)  | 64  |
| Fig. 3.3 Metodología para un proyecto en la Ingeniería de Producto   | 70  |
| Fig. 3.4 Etapas del proceso mental para solucionar problemas.  | 73  |
| Fig. 3.5 Herramientas para la generación de Ideas  | 74  |
| Fig. 4.1 Estructura de la Ingeniería de Producto Químico. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)   | 85  |
| Fig. 4.2 Pirámide de Producto Químico. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)  | 86  |
| Fig. 4.3 Escalas involucradas en la manufactura y suministro de productos estructurados. (Charpentie 2002)   | 91  |
| Fig. 4.4 Pasos para el diseño de producto químico, (Cussler & Moggridge, 2001)   | 92  |
| Fig. 4.5 Herramientas para cada una de las etapas involucradas en el proceso de diseño de Producto. Basado en el curso de Diseño de Producto Químico impartido en la Universidad de Coimbra. | 93  |
| Fig. 5.1 Consumo mundial de Nitrógeno para uso en fertilizantes. (International Fertilizer Industry Association (IFA))   | 98  |
| Fig. 5.2 Grados de calidad en el recubrimiento.  | 99  |
| Fig. 5.3 Efecto del agua en viscosidad y ángulo de contacto. (Bröckel y Hahn 2004)   | 101 |
| Fig. 5.4 Efecto de la temperatura en la viscosidad. (Bröckel y Hahn 2004)  | 101 |
| Fig. 5.5. Diagrama de Onhesorge (Bröckel & Hahn, 2004)   | 102 |
| Fig. 5.6 Calidad del revestimiento en función de las condiciones de secado   | 103 |
| Fig. 5.7 Efecto de la calidad del revestimiento en la liberación de nitrógeno. (Bröckel y Hahn 2004)   | 104 |



## INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Química, desde su institucionalización como profesión, no fue bien vista por ser un híbrido entre Química e Ingeniería, sin embargo a lo largo de sus 122 años, de creación, ha crecido notablemente, y su desarrollo ha ido encaminado, según lo requerido por circunstancias sociales, industriales, económicas y ambientales. Dicha disciplina es definida, de manera general, como una rama de la Ingeniería que se auxilia de las Matemáticas, Química, Física y otras ciencias básicas, para la planeación, desarrollo y aplicación, con juicio, de conocimientos enfocados a la transformación de materiales o sustancias químicas en productos con mayor utilidad y valor comercial, de tal manera que se satisfaga una necesidad en los consumidores; la Ingeniería Química posee una dualidad, una faceta científica y otra heurística, dotando a la profesión de una visión dual para la solución de los problemas.

Por lo anterior, dentro de la primera década del siglo XXI se ha observado que la Ingeniería Química tiende hacia la creación y desarrollo de nuevas actividades y responsabilidades; por ejemplo, anteriormente se crearon las plantas industriales más grandes y complejas del mundo, sin embargo, debido a la problemática ambiental generada, actualmente se requieren de procesos intensificados, que sean amigables con el medio ambiente.

Un Ingeniero Químico tradicionalmente se ha centrado en el diseño, síntesis, operación, optimización y control de los procesos industriales, mientras que en otras áreas como la Ingeniería Mecánica y Eléctrica se le da un peso importante al diseño de productos. Uno de los desafíos de la Ingeniería Química, está ligado a mejorar y/o desarrollar nuevos productos que además de satisfacer las necesidades del consumidor sean amigables con el medio ambiente, para lo cual se cuenta con una valiosa herramienta identificada como Ingeniería de Producto, que se encarga de proyectos encaminados a la

generación, mejora y desarrollo de nuevos productos. Dicha materia ha tomado mucha importancia, debido a que las empresas, en su búsqueda de vigencia y éxito comercial, convienen en invertir en su departamento de desarrollo e investigación, empleando la herramienta antes mencionada, de ahí su gran importancia.

Más allá de los desarrollos necesitados y esperados para la descripción mejorada de los fundamentos del proceso químico y físico, requeridos para modelos de reacción, se requiere de la investigación científica sobre la relación estructura/propiedad a nivel molecular y microscópico, tema propio de la Ingeniería de Producto y conocimiento requerido para modelar sistemas complejos para el diseño de productos y el desarrollo apropiado de su producción.

Conforme a lo anteriormente expuesto, el Ingeniero Químico, tomará y desempeñará un papel relevante para la identificación, propuesta, entrega y apoyo en la solución de los desafíos del presente siglo.

## OBJETIVO GENERAL

Presentar la relación de la Ingeniería Química con la Ingeniería de Producto y su importancia en el siglo XXI como área de desarrollo de la disciplina y sus profesionales para el diseño de productos químicos que satisfagan las necesidades de la industria y sociedad.

## OBJETIVO PARTICULARES

- Conocer de manera general la historia de la Ingeniería Química.
- Presentar el panorama de la Ingeniería Química en el Siglo XXI.
- Abordar el tema de la Ingeniería de Producto de manera general.
- Conocer la estructura de la Ingeniería de Producto que tiene relación con la Ingeniería Química y
- Presentar un caso de estudio donde se utilice la Ingeniería de Producto para el diseño de un producto químico.

# 1

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

*“Vita brevis, ars longa, occasio praeceps, experimentum periculosum, iudicium difficile”*

*“La vida es breve, el arte, largo; la ocasión, fugaz; la experiencia, confusa; el juicio, difícil.”*

Séneca

### **1.1. Antecedentes (440 A.C. – 1750 D.C.)**

El origen de la Ingeniería Química puede ubicarse en varios acontecimientos a lo largo de la historia de la humanidad, lo que es cierto es que todo se complementa, ningún suceso histórico es fortuito, éstos tienen un impacto directo o indirecto en el presente o en el futuro, tal es el caso de los siguientes hechos que ayudaron a la consolidación de la Ingeniería Química:

Hacia el año 440 A.C. Demócrito (470–400 A.C.) imaginó que la materia estaba formada por átomos y vacío, y fuera de éstos no podría existir cuerpo alguno: Dijo que los átomos eran partículas infinitamente pequeñas, indivisibles, eran la última manifestación de la materia y estaban separados por vacío.

Para el año 250 A.C. Arquímedes (287–212 A.C.) deduce la ley de la palanca, de ahí su frase célebre “Dadme un punto de apoyo y moveré al mundo”, y por casualidad llegó a enunciar el principio que lleva su nombre: *“todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado”*, no solo tiene estas aportaciones, entre otras cosas, se anticipó al descubrimiento del cálculo integral con sus estudios acerca de las áreas y volúmenes de figuras sólidas curvadas y de

áreas de figuras planas; realizó un exhaustivo estudio de la espiral uniforme, conocida como espiral de Arquímedes , entre otras cosas.

En México, se instala la primera industria minera, en la mina la concepción, Mineral de Pachuca, para el año de 1555, Bartolomé de Medina es el encargado de echar a andar un proceso de recuperación de plata mediante un método llamado “de patio”. Consistía en una serie de procesos químicos a base de mercurio y sal, además del tratamiento con hierro y más tarde con magistral<sup>1</sup>. La aplicación de éste método de patio posibilitó un gran desarrollo en el sector minero, pues hizo factible la explotación de minerales rebeldes. (Blanco y Romero Sotelo 2004)

Para el año de 1540 el italiano Vannoccio Biringuccio (1480-1539), publica su obra “*De La Pirotechnia*”, la cual es la primera en su especie, ofrece una vasta descripción de la fabricación de pólvora, éste libro ofrece un intento por describir las causas de un cohete al moverse, dicha publicación le confiere a Vannoccio ser considerado el padre de la metalurgia.

El médico alemán Georg Bauer (Agricola) (1527–1555) escribe su libro más representativo, “*De Re Metallica*”, publicado en 1556, en donde hace una detallada descripción de los conocimientos geológicos, mineros y metalúrgicos de su tiempo, esto a que trabajaba como medico de un centro minería de Joachimsthal.



Fig. 1.1  
Imagen del libro De Re  
Metallica

Para el año 1620, se establecen las bases del método científico por Fancis Bacon (1561-1626), el cual llamó a su libro *Novum Organum* para señalar que su método debería reemplazar al entonces promulgado en una recopilación medieval de escritos aristotélicos conocida como Organon. Los problemas relacionados con el estudio de la naturaleza que el Organon no tomaba en cuenta (e incluso, patrocinaba) fueron bautizados como “ídolos” y clasificados en cuatro grupos:

---

<sup>1</sup> Una composición de sulfato calcinado.

1) los ídolos de la tribu, dependientes de la naturaleza humana, que tienden a aceptar hechos sin documentación adecuada y a generalizar a partir de información incompleta.

2) los ídolos de la cueva, basados en la tradición y en la educación del individuo.

3) los ídolos del mercado, que tienen que ver con el uso inadecuado del lenguaje.

4) los ídolos del teatro, que son todos los dogmas incorporados en el periodo en que el individuo todavía no ha desarrollado la capacidad para examinarlos racionalmente (religiosos, culturales y políticos) y que son tan persistentes y tan difíciles de objetivar.

De acuerdo con Bacon, la filosofía aristotélica era un ídolo del teatro que debería ser exhibido y desacreditado, por las siguientes razones:

1) propone la colección accidental y acrítica de datos, sin la guía de alguna idea o hipótesis directriz.

2) generaliza a partir de muy pocas observaciones.

3) se basa en la inducción por simple generalización, que sistemáticamente excluye los experimentos negativos.

4) el valor real y práctico de los silogismos descansa exclusivamente en la definición específica o en la realidad de las premisas.

5) muestra interés excesivo en la lógica deductiva, o sea en la deducción de consecuencias a partir de principios primarios, cuya demostración debe ser inductiva.

El "nuevo" método científico baconiano surgió como un intento de corregir las deficiencias de la teoría aristotélica clásica, pero en realidad sólo aportó dos cosas nuevas: un procedimiento para hacer inducciones graduales y progresivas, y un método de exclusión. Respecto a las inducciones, Bacon postuló que primero debería recopilarse una "serie de historias naturales y

experimentales" y hasta no contar con información empírica amplia no dar el siguiente paso, que sería empezar a eliminar algunas posibilidades. Bacon puso como ejemplo la determinación de la causa del calor, para lo que debe hacerse una lista de todas las cosas que sean calientes y otra lista de las que no lo son, así como una lista más de las cosas que muestran distintos grados de calor. En la primera de estas listas ("Tabla de esencia y presencia") se encuentran el Sol, el verano y el fuego, entre muchas otras; en la segunda lista ("Tabla de desviaciones o de ausencia de proximidad") están la Luna, las estrellas, las cenizas mezcladas con agua, y el invierno, también entre otras; y en la tercera ("Tabla de grados o de comparación del calor") tenemos a los planetas, el estiércol, las variaciones de temperatura ambiental, fuegos de distinta intensidad, etc. Con estas tablas ya es posible excluir algunos factores como causa del calor, y Bacon señala que la "luminosidad y el brillo" pueden eliminarse, en vista de que la Luna, aunque posee ambas características, es fría. De esta manera se puede llegar a la primera conclusión sobre la causa del calor, que para Bacon no es otra cosa que el movimiento. El siguiente paso es buscar en otros fenómenos naturales si esa correlación, entre calor y movimiento, se confirma; si es así, puede procederse a establecer una segunda correlación, y repitiendo el proceso cada vez a niveles más altos de generalidad se obtiene mayor confianza en el conocimiento sobre la esencia del calor. Se ha dicho que Bacon pensaba que con este método la generación del conocimiento científico era algo automático. (Tamayo 1990)

Para 1616 se publica el libro *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* (Un estudio anatómico sobre la moción del corazón y de la sangre de los animales), por William Harvey (1578-1657) a quien se le atribuye como la primer persona en describir de forma correcta y basado en el método científico en argumentar su teoría de que la sangre era bombeada alrededor del cuerpo por el corazón en un sistema circulatorio.

John Winthrop en 1635 inaugura la primera planta química en Boston para producir Nitrato de Potasio (empleado para generar pólvora).

Evangelista Torricelli (1608-1647) para el año de 1644 describe el barómetro y con ello la existencia de la presión atmosférica, establece el

teorema que lleva su nombre, el cual recita: “el flujo de un líquido por una abertura es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del líquido”.

Siguiendo con el tema de la presión, para el año de 1647 el matemático, físico y filósofo francés Blaise Pascal (1623-1662), calcula la presión del aire, la cual varía dependiendo de la altitud en la cual sea determinada de la manera que Torricelli hizo en su momento. Pascal también desarrolla un invento llamado la Pascalina, denominada la primera máquina sumadora de la historia de funcionamiento mecánico a base de engranes.

Para el año de 1650 el químico Alemán Johann Rudolph Glauber (1604-1670) descubre un método para la producción de Ácido Clorhídrico<sup>2</sup> a partir de la de la reacción entre el Ácido Sulfúrico y la sal común, de ésta reacción se obtiene sulfato sódico, también conocido como sal de Glauber.

Robert Boyle (1627-1691), físico y químico irlandés, para el año de 1661 publicó “The Skeptical Chimist”, obra con la cual marca una ruptura total con la Alquimia, y para 1663 enuncia la ley de Boyle: “El volumen de un gas es varía de manera inversa y proporcional a la presión”.

Philosophiae Naturalis Principia Materia, es publicado para el año 1687 por Sir Isaac Newton (1643-1727), éste libro es el comienzo de la ciencia moderna, al ser un estudio sobre mecánica, teoría gravitatoria, teoría de la luz y el cálculo infinitesimal<sup>3</sup>.

Thomas Savery (1650-1715), en el año de 1698 patenta una máquina utilizada para elevar grandes cantidades de agua por medio de una máquina de vapor que inyectaba vapor a un recipiente lleno de agua hasta vaciar su contenido por un tubo vertical a través de una válvula de seguridad. Cuando el recipiente se vacía cesa el suministro de vapor y el vapor contenido se condensa por medio de un chorro de agua fría que cae sobre las paredes exteriores de dicho recipiente y que proviene de una cisterna colocada en su parte superior. Esto produce un vacío y permite que otro tubo, controlado por

---

<sup>2</sup> Desde hace tiempo se buscaba la producción del Ácido Clorhídrico, Libavius fue el primero en describir la preparación de éste.

<sup>3</sup> También tratado por Laibnitz.



otra válvula de seguridad, aspire agua del pozo distribuidor a cualquiera que sea la fuente. Entre tanto, una operación paralela se lleva a cabo en otro recipiente semejante al primero. El vapor se suministra de un horno que consiste de una caldera principal que tiene una alimentación continua de agua caliente la cual proviene de otro horno que calienta agua fría por el fuego encendido en su hoguera. Los niveles de agua en las calderas se controlan por sendas válvulas de presión.

En 1705 Thomas Newcomen (1663-1729) y John Cawley, su asistente, mejoraron la operación del pistón al forzar su caída por acción de la presión atmosférica. Al hacerlo producía trabajo mecánico sobre una bomba que introducía el agua por bombear. Después de varios ajustes técnicos estas máquinas fueron producidas en gran tamaño y en serie por John Smeaton hasta que en 1770 fueron superadas por las innovaciones debidas a James Watt (1736-1819).

En 1763 éste notable fabricante de instrumentos escocés, al reparar una de las máquinas de Newcomen se sorprendió de ver el enorme desperdicio de vapor que ocurría durante el proceso de calentamiento y enfriamiento del cilindro, dentro del cual operaba el pistón. El remedio, en sus propias palabras, consistiría en mantener al cilindro tan caliente como el vapor de entrada. Después de seis años sus experimentos lo llevaron a patentar, en 1769, una máquina que superaba a las de su antecesor por su mayor rapidez en la carrera del pistón y por ser mucho más económica en cuanto al consumo de combustible, sin embargo estaba reducida al bombeo y adolecía de otras limitaciones técnicas. La forma en que estas limitaciones fueron superadas queda fuera de contexto, pero vale la pena subrayar que el propio Watt en 1781 ideó la forma de usar la máquina para hacer girar un eje y por lo tanto, abrir sus aplicaciones a muchos otros usos además del bombeo. (García-Colín 1997)

Un logro importante que se da en Europa es la fabricación de la porcelana de pasta dura, hay que recordar que la existente solo se producía en China o Japón y representaba un lujo la posesión de ésta, es por ello que se decide

fabricarla en Europa, gracias a la investigación de Ehrenfried Walther von Tschirnhaus<sup>4</sup> para el año de 1710 se funda la fábrica de porcelana Meissen<sup>5</sup>.

Se instala para el año de 1771 la primera fábrica de Hilados en Gran Bretaña, hiladora Arkwright, donde su dueño Richard Arkwright, empleo la fuerza hidráulica para la producción de hilo delgado y suficientemente fuerte para la confección de ropa, a partir de algodón. También diseño un reglamento industrial, el primero de la época moderna, para organizar a sus trabajadores.

### 1.2. Condiciones Iniciales ( 1780 – 1880 )

La Revolución Industrial en los comienzos del siglo XVIII da como consecuencia el nacimiento de una nueva profesión, la cual está involucrada con el desarrollo de la química moderna y los procesos químicos industriales, después del siglo XVIII la Ingeniería Química primero fué conceptualizada en Inglaterra debido a que en el año 1736 se empieza la fabricación de Ácido Sulfúrico a un nivel industrial, con lo cual se requirió que en el perfil de los ingenieros de la época no sólo tuvieran conocimientos sobre física, mecánica y/o electricidad, se requería de un ingeniero que además de éstos, conociera sobre el manejo de los reactivos, el manejo y control de los equipos de producción y conocimientos sobre química.



Fig. 1.2  
John Roebuck

Para la producción de Ácido Sulfúrico (usado hasta 1949), se empleo el poco entendible Método de la Cámara de Plomo, desarrollado por John Roebuck (1718-1794) (Ilustración 1.2.), el cual requería de aire, agua, nitrato, dióxido de azufre, y un gran contenedor de plomo. De entre los ingredientes el que resultaba más caro era el nitrato, esto debido a que en el paso final del proceso era emitido a la atmosfera y debido a ello se requería de una corriente fresca de nitrato, la cual era alimentada como nitrato de sodio que tenía que ser importada de Chile y con ello realizando un costo innecesario.

---

<sup>4</sup> A menos de una semana de la muerte de Ehrenfried Walther von Tschirnhaus, Johann Friedrich Böttger continuó el trabajo de investigación y dio a saber que contaba con la formulación de la porcelana de pasta dura por lo que frecuentemente se le atribuye el mérito.

<sup>5</sup> Del alemán Meißner Porzellan

En 1859 John Glover (1790-1868) ayudó a solucionar éste problema con la introducción de una torre de recuperación de nitrato, en esta torre, el ácido sulfúrico (que aún tenía nitratos) era goteado en contracorriente con gases de combustión. El flujo de gas absorbía algo del óxido nítrico, que después era reciclado a la cámara de plomo, en general en ésta torre tenían lugar: la liberación de los óxidos nitrosos, el reciclaje de éstos, la oxidación parcial del  $\text{SO}_2$  y la concentración del Ácido Sulfúrico que caía por la torre. (Pafko 2000)

Otra mejora la aporta el francés Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) al implementar una torre que recuperaba los óxidos nitrosos del proceso (Fig. 1.3.), ya que en el siglo XIX se descubre que al inyectar oxígeno en la cámara de plomo se mejoraba el rendimiento, y se reducía el consumo de la sal, con ésta aportación se mejora la concentración del Ácido Sulfúrico, de un 35-40% a 78%, pero la industria de los tintes y otras industrias químicas requerían de una mayor concentración, la cual era obtenida por la destilación en seco, quemando piritita con sulfato de hierro a  $480^\circ\text{C}$ . (Kiefer 2001)

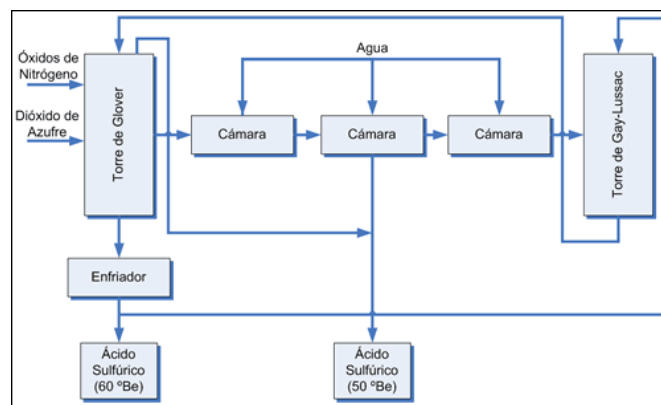


Fig. 1.3 Esquema del proceso de producción de ácido sulfúrico. LeBlanc.

La producción de Alcalis<sup>6</sup> es desarrollada a nivel industrial por el químico Francés Nicolas LeBlanc<sup>7</sup> (1742-1806), patentando el Método de Producción de alcalis que lleva su nombre, la fábrica de producción de carbonato sódico fué

<sup>6</sup> Carbonato Sódico,  $\text{NaCO}_3$ , Sosa, Alcali.

<sup>7</sup> La Academia Francesa de Ciencias ofrecía 2400 francos a quien desarrollara el método de producción de alcali, para el año de 1789 ocurren dos hechos, uno se patentó el método LeBlanc y el segundo es que estalla la Revolución Francesa por lo cual éste nunca recibió el premio de la Academia y con ello muchos eventos desafortunados para LeBlanc hasta llevarlo a la ruina y suicidio.

instalada en Saint-Denis (París) para el año de 1791, éste método consistía en calentar sulfato de sodio con carbón y carbonato de calcio, se obtenía el carbonato de sodio y subproductos altamente agresivos como sulfuro de calcio y cloruro de hidrogeno. Éste método fué altamente reconocido ya que la creciente demanda de la industria textil de la época requería de blanqueadores, para la fabricación de jabones, entre otros usos. El método fué aplicado en varios países, entre los cuales Inglaterra destacó por su gran producción de sosa, pero los efectos de los subproductos eran notables en el ambiente y afectando la salud de los seres vivos. El método de LeBlanc tuvo vigencia industrial y comercial más de 60 años tras su murete, hasta que hacia 1870 fué sustituido por el método Solvay, más rentable económicamente. (Pafko 2000)

Para el año de 1793 se instala en Philadelphia, E.U.A., la industria para la producción de Ácido Sulfúrico, empleando el método de la cámara de plomo, el responsable un joven de 20 años llamado John Harrison (1693-1776), quien estudio en Inglaterra, inicialmente la producción llegó a 45,000 lb de ácido sulfúrico por año y para el año de 1804 la producción se acerco a las 500000 lb anuales. (Kiefer 2001)

Como era de esperarse surgió otro método para producir álcali, ésta vez fué en Bélgica con Ernest Solvay (1838-1922), quién en 1876 construye en Francia e Inglaterra las primeras plantas industriales que emplean un método distinto al empleado por LeBlanc, éste proceso consistía básicamente en la reacción de carbonato ácido de amonio con una solución saturada de sal común, en la que se separa carbonato ácido de sodio sólido, insoluble en la solución de cloruro de amonio, teniendo como único producto secundario el cloruro de calcio; éste proceso es revolucionario ya que logro recircular el amoniaco y emplearlo nuevamente dentro de la planta. La manufactura que empleaba el método de LeBlanc fué decayendo poco a poco y abandonado para el año 1915.

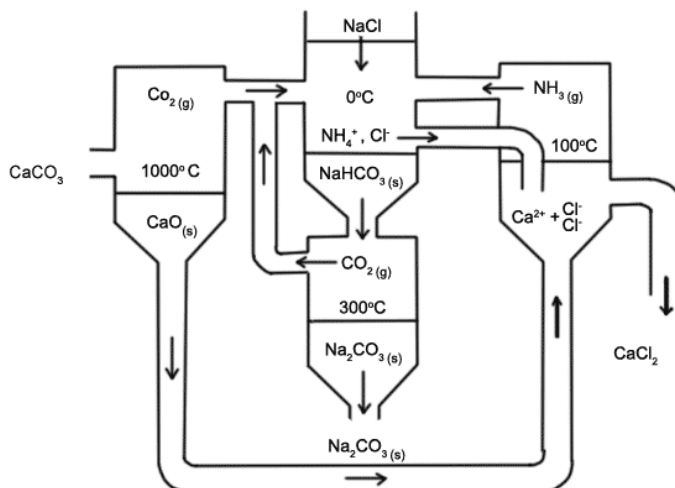


Fig. 1.4 Esquema del Proceso Solvay para producir álcali.  
(<http://scifun.chem.wisc.edu>)

En paralelo con estos desarrollos industriales, los conceptos básicos de la ciencia química estaban empezando a establecerse. Antoine-Laurent de Lavoisier, en su obra *Traité Élémentaire de Chimie* (Fig. 1.5.), publicado en 1789, enuncia el principio de la conservación de la materia: “Nada se crea o se destruye, en cada proceso existe una misma cantidad de materia al inicio y al final del mismo”. La teoría atómica fué descubierta en la primera mitad del siglo XIX por John Dalton, Jons Jakob Berzelius y otros. Para 1850, los científicos químicos tenían a su disposición trabajos relacionados con la estructura de la materia, y leyes que describían los fenómenos químicos. (Perkins 2001)

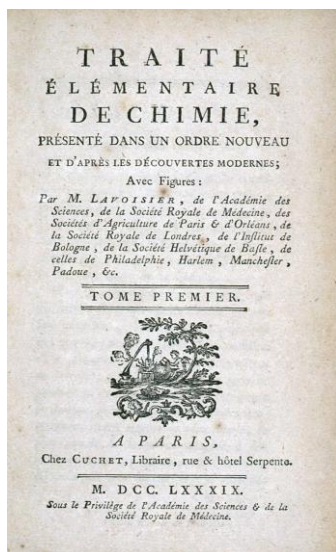


Fig. 1.5 *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier.  
(<http://chimge.unil.ch/De/redox/images/traitel.gif>)

La termodinámica en su etapa científica es fundada por el francés Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832) al publicarse su ensayo “Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance<sup>8</sup>”.

La fundación de una compañía importante hasta nuestros días se gesta en julio de 1802 por el francés Eleuthère Irénée du Pont de Nemours, en Delaware (Estados Unidos), él y su familia escaparon de Francia debido a la Revolución(1789-1799) e instalados en Norteamérica se dedicaron a la manufactura de pólvora al notar que ese sector no estaba muy desarrollado. Cabe mencionar que a mediados de siglo era la mayor proveedora de pólvora del país y fué la proveedora del 50% del consumo de ésta por el ejército de la unión durante la Guerra Civil (1861-1865).

John Bennet Lawes (1814-1900), empresario y científico inglés, se interesó en el problema de la química aplicada a la agricultura cuando uno de sus vecinos le señaló que en una granja local el empleo de huesos en forma de harina aumentaba la producción de nabo, mientras que entras parecía no tener efecto, sus estudios sobre éste fenómeno lo llevaron al descubrimiento del superfosfato, al señalar que era necesario hacer más soluble en el suelo el fosfato de los huesos, esto lo logró agregando Ácido Sulfúrico a los huesos triturados. Para el año de 1842 obtiene la patente del Superfosfato y un año más tarde abre la fábrica para su producción.

Durante el reinado de Ana de Inglaterra (1702-1714), el gobierno dejó de controlar las destilerías por lo que cualquiera podía hacer y vender ginebra sin supervisión, aumentando la producción y disminuyendo el costo del producto hasta que en 1736 se promulgó el Gin Act, el cual aplicaba un fuerte impuesto a la bebida y prohibió su venta en pequeñas cantidades, para 1750 los derechos de la producción y distribución se concedieron a grandes empresas, resultando en la disminución de consumo y volviendo al producto como

---

<sup>8</sup> Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas susceptibles de desarrollar esta potencia, éste ensayo es la base para los trabajos desarrollados por Rudolf Clausius y William Thompson (Lord Kelvin).

suntuario, pero aún la calidad era baja pues no se contaba con un proceso para mejorar la destilación del alcohol del agua ardiente<sup>9</sup>.

Para 1831 el francés Aeneas Coffey (1780-1852) obtiene la patente para el proceso continuo de destilación de alcohol empleando el alambique Coffey, el cual consiste en tres torres interconectadas, equipadas con platos perforados separados de 20 a 30 cm. Cada torre tiene dos entradas, una para la alimentación del fermento y otra para una corriente de vapor presurizado, la alimentación del fermento es por la parte superior de la torre y la del vapor presurizado por la inferior, con ello se logra que la mezcla de fermento va goteando mientras que el vapor sube por la torre separando el alcohol del líquido que lo contenía, este proceso se lleva a altas temperaturas; la tercer torre es más pequeña, pues destila una cantidad más pequeña, ya que el volumen es mucho menor que al inicio del proceso.

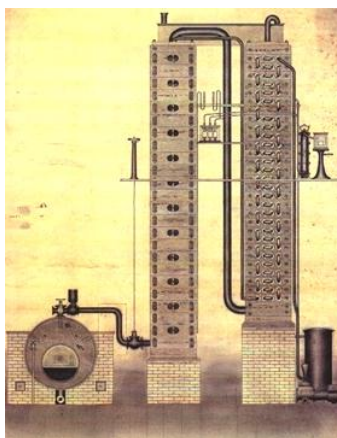


Fig. 1.6 Alambique Coffey

Como producto final se obtiene un alcohol altamente purificado (95.6% vol/vol) sin importar la materia prima, limpio y sin aromas ajenos al característico de las materias primas pero más intenso.

Para 1845 el científico alemán August Wilhelm von Hofmann (1818-1892) realizó su primera investigación en el laboratorio de Justus von Liebig en Giessen, extrayendo sustancias del alquitrán de hulla<sup>10</sup>, de la cual pudo

---

<sup>9</sup> Agua Ardiente proviene de Acquavitae, que significa “Agua de vida”, significado que también tiene la palabra Whisky, que tiene su raíz en la palabra Gaélica “uisge beata” o “usquebaugh” y que por la influencia de la lengua inglesa deriva en whisky.

<sup>10</sup> Del francés *houille*, carbón de piedra que se congutina al arder; líquido negro y espeso obtenido al calentar carbón en ausencia de aire.

obtener muchas sustancias de interés químico, pero en mayor abundancia e importancia el benceno, que hasta esa fecha nadie conocía su estructura y en el año de 1834 el químico Eilhard Mitscherlich (1794-1863) había demostrado que cuando el benceno se trata con Ácido Nítrico concentrado se forma Nitrobenceno y se reduce hasta que se obtiene anilina<sup>11</sup>, descubierta en 1826 por Otto Unverdorben (1794-1863) al destilar el índigo natural, Hoffman propuso varias maneras de sintetizar aminas, reacciones que llevan su nombre, Hoffman.

Hoffman tiempo después fué a trabajar a Inglaterra y dar clases en el Royal College of Chemistry, donde se le asignó como ayudante a William Henry Perkin (1838-1907) quien emprendió la tarea de obtener quinina, idea obtenida de Hoffman al querer sintetizarla a partir de un producto del alquitrán de hulla, y así poder librar a Europa de la importación de quinina para el tratamiento de la malaria. (Asimov 2003)

Perkin y Hoffman no sabían que no era posible realizar la síntesis deseada, pero en los intentos de Perkin consiguió algo muy importante; durante el año de 1856, había tratado Anilina con Dicromato de Potasio y estaba a punto de desechar la mezcla resultante como si fuera un nuevo fracaso, cuando sus ojos percibieron un reflejo púrpura en ella. Añadió alcohol a la solución, y adquirió un color purpura. (Asimov 2003)

Con tan solo 18 años de edad Perkin patentó aquello a lo que se le denominó “purpura de anilina”, colorante aclamado por los tintoreros franceses, los cuales denominaron al colorante azoico “color malva”, su importancia radicaría en que era un color que había sido complicado de obtener naturalmente, siendo desde tiempos de los fenicios un gran negocio, y Perkin sabiendo eso decide montar una fábrica junto con su padre y hermano para la producción y comercialización del colorante, se retiró en plena opulencia a los 35 años para seguir realizando investigación y en 1869 encontró la forma de producir alizarina, un colorante rojo brillante, entonces

---

<sup>11</sup> Del alemán *anilin* y éste del portugués *anil*, *añil*, índigo; sustancia importante para la síntesis de colorantes.



tramitó la patente pero había ido expedida un día antes para la empresa BASF . (Asimov 2003)

Otro hecho causal en el campo de los explosivos es el del alemán Christian Friedrich Schönbein (1799-1868) que en 1845 realizando un experimento en su casa, derramó una mezcla de Ácido Nítrico y Ácido Sulfúrico, se dispuso a secar el derrame utilizando el delantal de algodón de su esposa, el cual colgó cerca de la estufa para que se secase y una vez seco el delantal explotó. Había convertido la celulosa del delantal en nitrocelulosa al emplearse los grupos nitro, del ácido nítrico, como fuente interna de oxígeno y la celulosa al calentarse, se oxidó por completo en un instante.

Éste descubrimiento es importante, pues en la fecha se empleaba pólvora como explosivo, el cual desprendía una densa y oscura nube de humo y hollín, la nitrocelulosa hizo posible la “pólvora sin humo” y por su potencial en la utilización de artillería “algodón de pólvora”.

Para 1847 se descubre la nitroglicerina por el italiano Ascanio Sobrero (1812-1888) al agregar mezclar lentamente unas gotas de glicerina a una mezcla de Ácido Nítrico y Ácido Sulfúrico, el resultado fué un líquido inestable al que llamó “piroglicerina” que estallaba a la menor vibración y Sobrero no contemplo su explotación comercial, pero la Familia de Alfred Bernhard Nobel (1833-1896) se dedicó a la fabricación de ella hasta que una explosión murió uno de sus hermanos, el gobierno no le permitió volver a abrir la fabrica y es como Alfred se dedica al estudio para la domesticación de éste explosivo. En 1866 halla una tierra absorbente llamada “kieselguhr” que era capaz de esponjar cantidades enormes de nitroglicerina, el kieselguhr húmedo puede moldearse en barras, esta nueva presentación de la nitroglicerina de confería mayor estabilidad, conservando el poder explosivo de la misma. Alfred Nobel la denomina “dinamita<sup>12</sup>”.

Antes de los años 80's del siglo XIX se empleaba sebo en lámparas como medio de iluminación, el empleo de la grasa animal tenía serias desventajas, como un mal olor y desprendían mucho hollín, principalmente se empleaba

---

<sup>12</sup> Nobel pensó que con éste nuevo descubrimiento las guerras serían tan horribles que las naciones optarían por la paz.

aceite del esperma de ballenas, que con la creciente demanda de iluminación, éstas se vieron amenazadas y en peligro de extinción hasta que en 1853 el farmacéutico polaco Ignacy Łukasiewicz (1822-1882) perfeccionó las técnicas de destilación empleadas por el canadiense Dr. Abraham Gesner (1797-1864) para la destilación de queroseno a partir del petróleo. Sus experimentos ganaron notoriedad y la industria europea del petróleo nació una noche oscura del 31 de julio de 1853 en que Łukasiewicz fué llamado a un hospital local para proporcionar luz a partir de una de sus lámparas para una cirugía. El hospital impresionado por su invención ordenó varias lámparas y 500 kg de queroseno. Para diciembre de ése mismo año viajó a Viena para instalar su proceso destilador.

Para proporcionar el aceite para el negocio de queroseno, Łukasiewicz recogió inicialmente un petróleo bruto, grueso y pegajoso de pozos bajos, cavados a mano en la región de Gorlice, con forme fué perforando más y más los pozos descubrió que el petróleo de pozos profundos tenía mejor calidad para destilar queroseno.

Para el año de 1854 Benjamin Silliman (1779-1864) obtiene valiosos productos a partir de la destilación del petróleo y evaluó cada una de las fracciones por fotometría, determinó que el petróleo destilado es mucho más brillante que los combustibles conocidos hasta la fecha. También destacó el potencial uso de las fracciones menos volátiles como lubricantes y el prolongado uso que éste producto podía ofrecer. Silliman se convirtió en un personaje importantísimo para el desarrollo de la industria petrolera en América del norte.

El coronel norteamericano A. E, Ferris se hizo célebre en toda la costa del Atlántico por haber lanzado al mercado una lámpara a petróleo de su invención. Estaba el descubrimiento pero no se disponía de mucho combustible. En aquella época el petróleo era conocido como un preparado medicinal llamado “Aceite de Séneca<sup>13</sup>”, el farmacéutico de Pittsburg Samuel

---

<sup>13</sup> No referido al filósofo latino Séneca, sino al nombre de una tribu de pieles rojas llamada séneca y que utilizaba el producto como medicamento

Kier (1813-1874) empezó a perforar y habiendo llegado a una profundidad de 400 pies, dio con la nafta mezclada con agua, Kier comenzó su propaganda.

El “Coronel Edwin L. Drake<sup>14</sup>” (1819-1880) construye la Pennsylvana Rock Oil Company, en Titusville (en unas colinas de Oil Creek, Pittsburg) que a quince días de cerrar por los pocos fondos con los que contaba, el 27 de Agosto de 1859, con la colaboración de Billy Smith como perforador, alcanza la profundidad de 69.5 pies y llegan a un pozo de petróleo, pocos meses después aquella localidad se había convertido en un bosque de perforaciones.



Fig. 1.7 Edwin L. Drake, 1859  
(<http://media-2.web.britannica.com>)

Ahora aquí se entra un conflicto histórico, pues hay varios países que se atribuyen ser los pioneros en el campo de la perforación de pozos de petróleo; los polacos como ya lo vimos con la invención de la lámpara de queroseno gracias al farmacéutico Łukasiewicz logro iluminar un hospital, para la obtención del queroseno él había perforado ya algunos pozos; los Checos que a pesar de no tener pozos en 1836 emplearon lámparas de petróleo, lo que supone que tenían conocimientos sobre la destilación del petróleo pero de una manera ineficiente; los rusos declaran que la primera instalación destinada a la destilación de petróleo fué fundada en Rusia hacia el año 1823 por los

---

<sup>14</sup> Edwin L. Drake ha pasado a la historia como coronel pero su preparación militar se limita a los servicios que había prestado como conductor del ferrocarril en New Heaven.

hermanos Dubinin, aunado a esto el alemán Atanasio Kircher propuso la idea de conducir el petróleo mediante tuberías de plomo, anticipándose en doscientos cincuenta años a la idea de las “*pipe-lines*”. Pero no es todo los japoneses afirman que ellos fueron los primeros en extraer petróleo de sus pozos de Chingo (isla de Hondo) en el siglo XII para el alumbrado del palacio Imperial, y la lista de propietarios del hecho histórico sigue y sigue, lo que no cabe duda alguna es que sea quien fuere el descubridor el hecho marcó una nueva era en la historia del ser humano en todos los sentidos. (Semjonow 1940) (Pafko 2000)

Pasando al terreno de los polímeros, el primero fué descubierto por el norteamericano John Wesley Hyatt (1837-1920), la empresa Phelan y Collander ofreció una recompensa de \$10, 000.00 al que encontrara un material para la elaboración de bolas de billar que sustituyera el empleo de marfil; Hyatt en el año de 1869 usa un ungüento elaborado a base de nitrato de celulosa, alcanfor y alcohol para una herida, al aplicarse la mezcla, parte se derramó en el suelo y al secarse formó una fina capa que tenía la propiedad de unir el serrín y el papel.

Continuaron la investigación en esta línea y descubrieron que, si se sometía el producto a alta presión, formaba un material apto para la fabricación de bolas de billar. Sin embargo, aún quedaron algunos problemas por solucionar porque, aunque el alcanfor reducía drásticamente la propiedad explosiva del nitrato de celulosa, en ocasiones las bolas explotaban. Se había formado el celuloide, el primer plástico sintético.

Hyatt funda su propia fábrica, la Albany Dental Plate Company, para la producción de bolas de billar en 1870, y no hay pruebas de que se haya pagado la recompensa.

La Standard Oil es fundada en Ohio en el año de 1870 por John D. Rockefeller, su hermano William Rockefeller, Henry Flagler, el químico Samuel Andrews y Stephen V. Harkness, esto para fusionar varias compañías especializadas en el petróleo y así formar un trust de miles de millones de dólares. La Standard Oil trabajó rápidamente para asegurar el monopolio de la transportación de la costa este, vía ferrocarril y oleoductos. (C. Brown 1993)

La compañía alemana con gran importancia actualmente, se funda en 1865 por Friedrich Engelhorn(1821-1902), para la producción de los colorantes sintéticos fucsia y alizarina, ésta compañía es “Badische Anilin- und Soda-Fabrik” que por sus siglas en Alemán es llamada BASF. Una característica primordial en esta compañía es que cada instalación de producción está unida a otras plantas de manera que los productos y los residuos de una planta sirven de materia prima para la planta siguiente.

### **1.3. Orígenes de la ingeniería química (1880-1910)**

La moderna industria química desarrollada hasta el siglo XIX trajo consigo que la forma de hacer química que hasta ese momento se había utilizado no fuera capaz de dar respuesta a las nuevas necesidades que eran demandadas. Se produce en consecuencia un vacío que debe cubrir una nueva disciplina que pueda dar satisfacción a estas necesidades provenientes de la moderna industria química. Aunque ya existían incipientes cursos técnicos donde se proporcionaban habilidades para la operación de las plantas existentes en la época, aun se carecía de un fundamento científico que impulsara el desarrollo de la nueva profesión; los técnicos que dirigían las plantas eran llamados “Químicos Industriales”.

Los primeros en ser llamados “Ingenieros Químicos” fueron los ingenieros mecánicos que conocían acerca de los equipos de procesos químicos; los jefes de planta que habían trabajado gran parte de su vida en la planta y habían adquirido conocimientos de manera práctica. (University of Massachusetts s.f.)

Entre los años de 1879 y 1881 se llevaron a cabo una serie de reuniones en Gran Bretaña para la creación de “The Society of Chemical Industry”(SCI), la cual se funda el 4 de Abril de 1881 en las oficinas de la Sociedad Química, hoy The Royal Society of Chemistry, entre los 360 miembros de la nueva sociedad se encontraban: Sir Henry Roscoe (elegido como primer presidente de SCI), Eustace Carey, Ludwig Mond, F. A. Abel, Lowthian Bell, William H. Perkin, Walter Weldon, E. Rider Cook, Thomas Tyrer y George E. Davis, todos

excepto Davis fueron nombrados presidentes de SCI, Davis fué el primer secretario general.

George E. Davis no estaba a favor del título de “The Society of Chemical Industry”, el propuso que la nueva organización se llamará “The Society of Chemical Engineering” en una de las reuniones llevadas a cabo en abril de 1880 en el Owens College, Manchester, pero su propuesta fué rechazada. (Perkins 2001)

Los objetivos principales, en términos de la misión de La Sociedad de la Industria Química eran:

- Para fomentar el contacto y comunicación entre las personas de la industria química.;
- Para publicar las actas de las reuniones y la correspondencia pertinente;
- Para celebrar reuniones generales en las que se regularan asuntos de la sociedad y
- Para adquirir y disponer de la propiedad en cumplimiento de lo anterior.

(Shepard y O'Driscoll s.f.)

Un año más tarde, en 1882, se ofrece el curso de Chemical Technology (Tecnología Química) en University College, London. (Kim 2002)

Para el año de 1883 el alemán Christian Karl Rudolf Diesel (1858-1913) publica el libro *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Verbrennungsmotoren* (*Teoría y construcción racional de un motor de calor para reemplazar la máquina de vapor y motores de combustión conocida hoy*), libro que más tarde le ayudaría a obtener la patente del primer motor de explosión interna, en su motor, el combustible se inyecta al final de la compresión y el combustible se enciende por la alta temperatura resultante de la compresión.

El desarrollo realizado por Diesel fué aplicado por Karl Benz (1844-1929) en 1885 al fabricar un motor de combustión interna de 4 tiempos que utilizo para hacer móvil un triciclo (Motorwagen) con 0.88HP que al ser probado en

Múnich desató la burla de la gente, pero se había hecho acreedor a obtener la patente del primer vehículo capaz de moverse por sí mismo, empleando una fracción del petróleo que era indeseable, la gasolina, ya que produjo incendios, por su tendencia a explotar, al ser puesto en las lámparas de queroseno. (Pafko 2000)

En una iniciativa para enfrentar la falta de educación técnica en Gran Bretaña, las compañías de Londres fundaron en 1878 un gremio en el London Institute, el cual tenía dos objetivos. Uno era proveer un sistema de exámenes de calificación en materia técnica. El otro era establecer en Londres un “Instituto Central” el cual pudiera ofrecer una nueva y más avanzada forma de educación técnica. El “Instituto Central” fué abierto en el Sur de Kensington en Junio de 1884. El profesor H. E. Armstrong fué designado profesor de Química, y estableció un curso de tres años para obtener el Diploma de “Ingeniero Químico”, expedido por el departamento de Química. El curso de Armstrong ha sido discutido a detalle por Tailby<sup>15</sup>, que concluye que el curso “no era ingeniería química sino una mezcla de ingeniería mecánica y química”. De cualquier forma en 1887, la “Institution Central” resolvió que los graduados de este curso no recibirían después de todo el diploma en “Ingeniería Química”, sino en “Química”. (Perkins 2001)

Un ejemplo de plan de estudios (de 1888-1889) es el realizado por Edmund James Mills (1840-1921), el cual utiliza el título de Ingeniero Químico para su curso de 24 lecturas que abarcaba “la construcción y operación de una planta química”. Un curso de tres años en Ingeniería Química también se ofreció en 1887 en Glasgow College y en West of Scotland Technical College. Es interesante hacer notar que la Sociedad de la Industria Química tenía una estrecha relación en Glasgow College en donde Mills era un miembro activo. (Perkins 2001)

Un evento ampliamente reconocido para el descubrimiento de la Ingeniería Química fué el curso de 12 Lecturas impartido por George E. Davis en Manchester en el año de 1887. Algunas de sus lecturas fueron publicadas

---

<sup>15</sup> S.R. Tailby, Early Chemical Engineering Education in London and Scotland, in: W.F. Furter (Ed.), A Century of Chemical Engineering, Plenum Press, New York, 1982.

en el Chemical Trade Journal, un periódico que el mismo Davis había fundado en 1887. En sus lecturas, Davis analizaba los procesos de la industria química contemporánea, presentándolos como una serie de operaciones básicas. Él reconoció que “los procesos químicos podrían considerarse como combinaciones o secuencias de un número relativamente pequeño de los procedimientos”. Davis había reconocido que los problemas que enfrentaba la industria eran problemas de ingeniería, y la manera de formar profesionales era no haciendo énfasis en los detalles específicos de cada industria, sino mejor dar principios científicos y como usarlos. (Perkins 2001)

*... Chemist, it is true, have a much greater knowledge (than previously) of the methods of substitution of isolation, and of recombining different and various organic radicles, and to their researches we owe much of our present prosperity in the chemical trade; but the greatest progress has been made in the mechanism of plant, and the way in which chemical operations have been carried out on the large scale. Thought chemical operations are now; more much intricate than they were a quarter of a century ago, they are carried out less expensively, more completely, and with greater safety to the work people, and at least the moiety of this improvement must be credited to The Chemical Engineer. Of course “practical experience” is a very good master when the pupil is an apt scholar, but practical experience uncombined with the scientific knowledge, is a poor staff to rest upon, and is very soon played out.*



Fig. 1.8  
George E. Davis

George E. Davis, 1887, Manchester. (Kim 2002) (Apéndice I)



Davis era un hombre con vasta experiencia, pues trabajó por 3 años en Brearley and Sons, en 1863 fué inspector de la Ley Álcali<sup>16</sup>, en la cual se requería que las fabricas de sosa redujeran la cantidad de gas Ácido Clorhídrico que emitían a la atmósfera, para 1872 fué gerente de Lichfield Chemical Company, fué un hombre indispensable para la formación de The Society of Chemical Industry e influyo de manera decisiva para la formación del primer plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química.

Éste curso de Ingeniería Química, el primero en su especie, se inicia en el año de 1888 en Estados Unidos de Norteamérica. Lewis Mills Norton (1855-1893) como profesor de orgánica y química industrial del departamento de química del Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachussett, MIT), fué el que se encargó de la organización y puesta en marcha del curso hasta su muerte. Éste curso es conocido como el Curso X<sup>17</sup> y se orientaba para una capacitación general en ingeniería mecánica y a la vez dedicar una porción de tiempo para el arte de la química, especialmente a los problemas de la ingeniería que estuvieran relacionados con la manufactura de productos químicos. La mayoría de las materias del curso eran impartidas en los cursos de Ingeniería y Química; pero para el último año, sólo los estudiantes de Ingeniería Química cursaban “Química Aplicada” en la cual se presentaban a discusión los equipos usados en la manufactura y química aplicada, desde un punto de vista ingenieril. El autor Warren K. Lewis, apunta que éste curso representa el primer curso de operaciones unitarias incorporado a un currículo organizado en Ingeniería Química.

Durante el final del siglo XIX se inauguraron muchos cursos de Ingeniería Química en Estados Unidos, todos establecidos en el Departamento de Ingeniería Química y más tarde emergieron de otras disciplinas ya establecidas como de Ingeniería Mecánica o Eléctrica. (Perkins 2001)

En Octubre de 1905 R.K. Meade cuestiona “¿Porqué no La Sociedad Americana de Ingenieros Químicos?”, como publicación, ya que la disciplina había tenido un lento surgimiento y que varios colegios ofrecían cursos con el

---

<sup>16</sup> Primer pieza en Legislación Industrial

<sup>17</sup> Debido a que era el décimo curso que se ofrecía en el MIT.

título de Ingeniero Químico y estimaba que en esa fecha existían alrededor de 500 en Estados Unidos; una sociedad podría ayudar a convencer a industriales que los ingenieros químicos deberían diseñar y operar sus plantas y promovería el intercambio de ideas para ventajas comunes. Meade volvió a imprimir su artículo en Marzo de 1907 y lo mandó junto con una carta a 50 químicos e ingenieros químicos buscando su apoyo para la formación de una sociedad profesional para la reciente disciplina; Meade tomó responsabilidad de la organización y reunión para la discusión de la propuesta.

La reunión tuvo lugar en Junio de 1907, teniendo respuesta de 187 personas, de las cuales el 17% estaba a favor de la creación de la sociedad y el 87% consideraba que se necesitaba de más miembros, pero Meade no se dio por vencido tan fácilmente y continuó con reuniones hasta que en Junio de 1908, en Philadelphia, se crea el American Institution of Chemical Engineering, siendo su primer presidente Samuel Sadtler y John Olsen fué electo Secretario.

Para Febrero de 1909 el Belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) informa ante la American Chemical Society su descubrimiento, resultado de la búsqueda del sustituto de la laca en goma (fabricado a partir de la excreción de escarabajos). Investigó la reacción entre el fenol y el formaldehído, obteniendo una laca soluble llamada “Novolak”, pero sin valor comercial, entonces continuo su investigación controlando la Presión y la Temperatura de los reactivos hasta que obtuvo un plástico termoestable, un sólido maleable mientras se forma y duro una vez que ha fraguado, dieléctrico, resistente al agua y solventes, éste plástico es la primer resina obtenida por el hombre y es utilizado para la fabricación de muchos aparatos electrodomésticos, tiene tanta relevancia que es con el descubrimiento de éste plástico, llamado baquelita<sup>18</sup> que empieza la “Era de los Plásticos”.

---

<sup>18</sup> Años antes, en 1872, el premio Nobel en Química Adolf Von Baeyer ya había realizado la misma investigación pero no obtuvo los resultados deseados

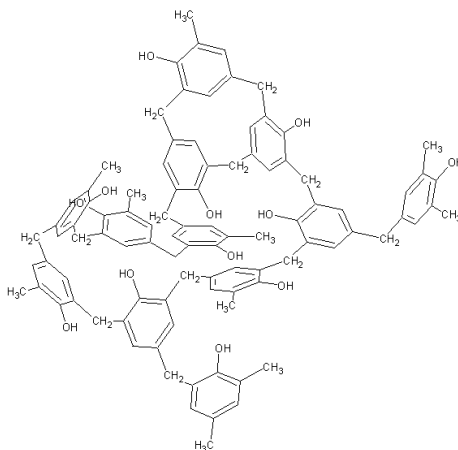


Fig. 1.9 Estructura molecular de la baquelita.

Para 1910, el uso del término de “Ingeniero Químico” había adquirido cierta importancia, tanto en Inglaterra como en América. Se crearon cursos en las universidades de Norte América (Canadá), aunque no había todavía muchos Departamentos independientes de Ingeniería Química. La rápida expansión de de la industria química en Estados Unidos puso al descubierto la necesidad de un nuevo tipo profesional correctamente formado para el manejo de la manufactura química a gran escala. Después de un cuidadoso análisis, se creó el American Institute of Chemical Engineering (AIChE) para promover la formación de una nueva profesión.

#### 1.4. Definiendo una nueva profesión (1910-1945)

En el año de 1913 se da a conocer el Craqueo Térmico por la Standar Oil, la demanda de gasolina por la creciente industria del automóvil y el uso de la misma para maquinas orilló a buscar la forma de aumentar el rendimiento de gasolina del petróleo. Del año de 1909 a 1913 el Dr. William M. Burton, que en ese momento era director general de manufactura en la Satandard de Indiana, encargó al jefe en química Robert E. Humphreys se ocupara de aumentar el rendimiento de la gasolina utilizando las variables de temperatura y presión, ésto de manera económica.

Los resultados dieron fruto en el año de 1913 y la innovación fué llamada “Craqueo Térmico”, esto es que se emplea calor para “quebrar” las moléculas de petróleo, y la presión para separar las corrientes de productos con alto

valor. Este proceso fué adoptado rápidamente por todas las industrias de la refinería del petróleo. (BP America s.f.)

Ahora, regresando al tema de la institucionalización de la Ingeniería Química, en 1915 se da un hecho importante, pues el Dr. Arthur D. Little, a quien se le atribuye ser el primero en utilizar el término “operaciones unitarias”:

*“Any Chemical process, on whatever scale conducted, may be resolved into a coordinate series of what may be termed Unit Operation, as pulverizing, dyeing, roasting, crystallizing, filtering, evaporation, electrolyzing, and sons. The number of these basic unit operations is not large and relatively few of them are involved in any particular process. The complexity of chemical engineering results from the variety of conditions as to temperature, pressure, etc., under which unit operations must be carried out in different processes, and from the limitations as to material of construction and design of apparatus imposed by the physical and chemical character of the reacting substances.”*

Arthur D. Little, reporte al presidente de la MIT, 1915. (Kim 2002)

El término de “operaciones unitarias” delimitó claramente el dominio de la Ingeniería Química y la distinguió de la Química Industrial, de la Química Aplicada y de la Ingeniería Mecánica. La Química Industrial se había enfocado en los productos, la Química Aplicada se enfocó en reacciones específicas para la manufactura y la Ingeniería Mecánica en los equipos empleados en la industria; pero ninguna de las anteriores había tomado en cuenta el proceso y ver las operaciones comunes como una unidad en la que hay una variedad de productos y equipos. El concepto de operaciones unitarias fué la llave para establecer una Independencia incipiente en el ámbito profesional y académico de la ingeniería Química.

*“Chemical engineering ... is not a composite of chemistry and mechanical and civil engineering, but a science of itself, the basis of which is those unit operations which in their proper sequence and*

*co-ordination constitute a chemical process as conducted as the industrial scale.”*

Arthur D. Little, reporte final al presidente de la MIT, 1922. (Perkins 2001)

En el año de 1919 empieza la producción de gasolina sintética por el proceso de Begius, desarrollado por el alemán Friedrich Karl Rudolf Bergius (1884-1949). Éste proceso fué develado desde 1913 y su aplicación industrial fué retardada por la Segunda Guerra Mundial. El proceso Bergius utiliza carbón y alquitrán de hulla como materia prima. El carbón, mezclado con un aceite pesado, se muele hasta convertirse en una pasta fina, y se calienta con hidrógeno, sometido a alta presión, en presencia de un catalizador compuesto por sulfuros metálicos. El aceite resultante vuelve a hidrogenarse, y en una tercera hidrogenación se obtiene gasolina. Una tonelada de carbón produce unos 300 litros de gasolina.

La conversión de carbón, lignito y otra materia carbonada en combustibles líquidos despertó interés en los países que no cuentan con recursos petroleros. Alemania fué la que inició este desarrollo, pero también otros países han construido instalaciones experimentales como garantía contra el agotamiento de los yacimientos petrolíferos.

El proceso Bergius se lleva a cabo en dos etapas. En el tratamiento en fase líquida, se mezcla carbón pulverizado con residuos de aceite pesado y una pequeña cantidad de catalizador, se convierte en aceites pesados y medianos a una temperatura de 450°C y una presión de 680 atmósferas. En la segunda etapa, los aceites medianos se vaporizan y pasan junto con hidrógeno, sobre un catalizador fijo. Los productos se separan por destilación.

Para 1920 se establece el departamento de Ingeniería Química como independiente en el Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetts, MIT).

Continuando con los desarrollos tecnológicos, en el año de 1921 la Standard Oil, en su sede en New Jersey, produce el primer derivado del petróleo con uso comercial, el alcohol isopropílico, fruto de la investigación que se desarrollaba en la empresa para obtener productos útiles.

En las siguientes dos décadas, se publicaron un número significativo de textos relacionados con la Ingeniería Química, en 1925 la editorial McGraw-Hill lanza una serie de Ingeniería Química, bajo el auspicio de “Advisory Committee” en el cual estaban Warren K. Lewis, Arthur Little, William Walker y Wiley (todos ellos teniendo en común su participación, en algún modo, en la MIT). La mayoría de los textos eran referentes a operaciones físicas de procesos de transporte y el procesamiento de sólidos.

En 1928 Thomas Midgley Jr. inventó los clorofluorocarbonos (CFCs), o mejor conocidos como Freón<sup>19</sup>, como un refrigerante para los refrigeradores domésticos, esto como tarea asignada por su jefe Charles Kettering (McGrayne s.f.). Para 1930 la empresa DuPont junto con General Motors, crea la empresa “Kinetic Chemical Company” para la producción del freón.

Vale la pena mencionar que la empresa DuPont ve un área de oportunidad en la investigación básica y decide instalar un laboratorio de investigación para el desarrollo de materiales artificiales, en el año de 1928, bajo la supervisión de Wallace Carothers (1896-1937), bastaron tres años para que se empezara la producción de una goma sintética llamada neopreno (originalmente fue nombrada “dupreno”), actualmente se utiliza en trajes de buceo, piezas ortopédicas, en aislamiento eléctrico, etcétera. Para 1935 Wallace obtiene una fibra textil elástica y resistente que no precisa planchado, el nylon.

Para el año de 1934 aparece la primera edición del libro “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”, con dos editores: Robert H. Perry y Donald W. Green, ambos ingenieros químicos trabajando para la compañía DuPont, la cual había conformado en 1929 un grupo de ingenieros químicos en la estación experimental de Wilmington, Delaware; bajo la dirección de T. H. Chilton. Ésta publicación toma importancia dentro del mundo de la ingeniería química en todos los ámbitos, pues como se describe en el prefacio:

*“This handbook is intended to supply both the practicing engineer and the student with an authoritative reference work that covers*

---

<sup>19</sup> Su uso comprende hasta Enero de 1989, año en que entra en vigor el Protocolo de Montreal, el cual prohibió su uso en los refrigeradores por ser un agente degradador de la capa de ozono

*comprehensively the field of chemical engineering as well as important related fields. To ensure the highest degree of reliability the co-operation of a large number of specialists has been necessary; this handbook represents the efforts of 60 contributing specialists”*

Ésta publicación de treinta secciones tratan operaciones unitarias. Aproximadamente un tercio de las contribuciones se basaron en universidades, otro tercio fué por gente de DuPont y el resto por otras empresas industriales.

Un año más tarde se publicó en Alemania un tratado de 2200 páginas, utilizado como libro de texto y referencia para el trabajo, el libro: “Chemische Ingenieur-Technik”, siendo su editor Ernest Berl. (Perkins 2001)

Un producto relevante en la época es el descubrimiento del Diclorodifenildicloroetano, mejor conocido como DDT<sup>20</sup>, su descubridor Paul Hermann Müller (1899-1965) recibió el premio Nobel de Medicina en 1948 por haber descubierto su aplicación como exterminador de varios artrópodos pues se trata de un insecticida muy tóxico para los insectos que no afectaba a las plantas ni a los animales de sangre caliente. El “Gesarol” y el “Neocide”, son los dos primeros productos a base de DDT. (The Nobel Foundation 1948)

Para el año de 1945 se registra como producto de marca, el Teflón (politetrafluoretileno), descubierto en el año de 1938 por el estadounidense Roy J. Plunkett (1910-1994); éste desarrollo fué producto de la casualidad pues mientras Plunkett trabajaba en el desarrollo de mejores refrigerantes a base de freones para el laboratorio de investigación y desarrollo de DuPont, en una de sus pruebas en las que intentaba producir tetrafluoretileno, llamó su atención que como producto obtuvo una pasta blanca en lugar de un gas, había obtenido un polímero que al caracterizarlo se percató que tenía la propiedad de ser inerte a todos los disolventes, ácidos y bases disponibles, su coeficiente de rozamiento era el más bajo conocido, servía como aislante eléctrico, altamente flexible , resistente a muy altas temperaturas (300°C) y su propiedad principal, la anti adherencia.

---

<sup>20</sup> Se prohibió su uso en el año de 1972 por la Agencia de Protección al medio Ambiente, tras exponerse en 1962 sus daños en el libro Primavera silenciosa de Rachel Carson

### **1.5. Crecimiento Sustentable (1945-1970)**

El desarrollo de la ingeniería química en el periodo de la post guerra, con el soporte de la industria y el gobierno, provee una evidencia concreta para la campaña de una nueva profesión mejor equipada para atender las necesidades de la industria química, para finales de los años 40's la ingeniería química estaba formada como una profesión y pieza clave para el rápido crecimiento de la industria química, tanto la industriales como la inversión pública, encaminaron sus esfuerzos para tratar de y garantizar una oferta adecuada de los futuros profesionales.

Durante la primera mitad del siglo XX, académicamente la disciplina de ingeniería química se había concentrado en el descubrimiento de conocimiento basado en el concepto de operaciones unitaria. Sin embargo, para finales de los años 40's, quedó claro que los principios científicos en los que se basan los análisis de operaciones unitarias podrían ser de importancia para su estudio, y el movimiento de la ciencia de la ingeniería química surge para definir una nueva era en la disciplina.

La primera institución en Francia, especializada en la nueva Ingeniería Química, se establece en 1946 el "École Supérieure des Industries Chimiques" que originalmente se fundó en 1887 por el "Institut Chimique", parte de la Universidad de Nancy.

Para el año de 1952, El científico H. Schell, investigador de la marca Bayer, logra producir un polímero cuya estructura química repetitiva es el Bisfenol, ligado al grupo Carbonato, es decir el Policarbonato, que patento bajo el nombre de "Markrolon", éste polímero es resistente a fuertes impactos, resistente a altas temperaturas, baja combustibilidad, amorfo, transparente y tenaz.

El 9 de Diciembre de 1952 se produce un evento lamentable denominado "el gran Smog" en Londres, ciudad en la cual las condiciones de niebla son excelentes para finales de año, el frío era abatido por las londinenses mediante la calefacción a base de carbón, la emisión de dióxido de



azufre (SO<sub>2</sub>) por la industria, todo coincidió para generar en el aire altas concentraciones de dióxido de Azufre, gotas de ácido sulfúrico y partículas de sulfato que generaron un aire irrespirable de pH 1.6 durante 4 días, en los cuales se estima que murieron alrededor de 12,000 personas. A consecuencia de éste evento, el parlamento británico presento la Ley de Aire Limpio en el año de 1956, con la cual se pretendía disminuir la generación de smog y la contaminación del aire, siendo ésta Ley de Aire Limpio una pieza importante el legislación ambiental de la nueva era.

La publicación en 1960 del libro “Transport Fenomena” por Steward Bird y Lightfoot fué un importante hito para la conformación de la ingeniería química como ciencia, y citando a un eminente Ingeniero Químico, T. K. Sherwood, acerca del libro:

*“This is probably the most important textbook on chemical engineering to appear in many years... The book is timely because there is currently a great enthusiasm for the analytical approach, and the helpful text has been wanting...”*

*In a sense this is a dangerous book, for it is so well done that it will accelerate the trend towards emphasis on analysis in chemical engineering curricula. The danger steams from the current situation in engineering education, and is in no way attributable to the authors. Process design and conception generally are difficulty to teach, but analysis is of no use until is something to analyze. If perspective is lost through enthusiasm for scientific and mathematical analysis, the engineer will be less effective in industry. The book poses a challenge for some to produce an equally good text dealing with the engineering aspects of chemical engineering.”* (Perkins 2001)

Mientras la expansión de la Ingeniería Química en los años de la post guerra era dirigida hacia la industria petroquímica, otras oportunidades fueron descubiertas durante éste periodo. La más importante de éstas, la del campo de la Ingeniería Bioquímica, la cual capitalizó todas las oportunidades de aplicar el conocimiento y las habilidades para desarrollar un creciente número de procesos químicos basados en operaciones biológicas. Si bien

durante la primera guerra mundial existían ya procesos bioquímicos<sup>21</sup>, al finalizar la segunda guerra mundial se revitalizó el desarrollo de procesos bioquímicos y permitió a los Ingenieros Químicos demostrar el potencial de sus contribuciones o esos desarrollos. (Perkins 2001)

Los organizadores de la reunión de 1965, de la American Chemical Engineering, escogieron como tema principal la aplicación de la Ingeniería Química en procesos biológicos. Se realizaron conferencias sobre Catálisis Biológica, Ingeniería Química y el procesamiento de Proteínas, Nuevos descubrimientos en bioingeniería (Crecimiento de células, procesamiento de productos naturales), y procesamiento de comida criogénica. En el artículo designado para la promoción de la conferencia, se anunció como una “Nueva Era” de la bioingeniería, donde no solo la ingeniería química podría explotar la manufactura de bio-productos, también podría servir como medio para investigar la naturaleza de los sistemas biológicos.

Una importante contribución al descubrimiento de materiales de enseñanza basados en sistemas de enfocados al diseño y la operación, fué hecha por el profesor Dale Rudd, el cual señala la necesidad de un marco conceptual, en su libro “Strategy of Process Engineering” fué publicado en 1968; dicha publicación es la primera en reconocer:

- a) Que el diseño no es algo que se elija de acuerdo a la experiencia sino que hay un procedimiento formal con sus propias reglas las cuales no solo pueden ser enseñadas a los estudiantes sino también enseñadas de una manera rigurosa
- b) Que el ingeniero químico necesita saber sobre toda una gama de técnicas enfocadas hacia la ciencia de la Ingeniería química.  
(Perkins 2001)

### **1.6. Nuevos Retos (1970-?)**

Las preocupaciones públicas acerca de la seguridad e impacto ambiental a larga escala al igual que las instalaciones de productos químicos pasaron a

---

<sup>21</sup> Como el proceso Weizmann, utilizado para producir acetona y butanol a partir del almidón.

primer término en la era moderna. La explosión de de la planta química de Nypro en Flixborough en Gran Bretaña el 1° de junio de 1974 causó la pérdida de 28 vidas, devastación de la planta y daño extensivo a tres comunidades cercanas. Éste suceso golpeó la reputación y confianza en la profesión; la seguridad y la prevención de accidentes se volvieron tópicos recurrentes y en 1982 el IChemE modificó su Modelo de Plan de Grado, requiriendo que la Seguridad sea un elemento obligatorio en cualquier curso acreditado por la institución. Diez años después del incidente en Flixborought, el 3 de Diciembre de 1984 la fábrica de de pesticidas de la compañía Union Carbide sufre una fuga de 42 toneladas de isocianato de metilo que posteriormente derivó en una nube de fosgeno (oxicloruro de carbono), monometilamina y acido cianhídrico que condujo a la muerte de 6 a 8 mil personas en la primer semana, más unas 12,000 por consecuencia directa, 150,000 personas más presentaron secuelas y daños al medio ambiente muy graves, la compañía nunca respondió por los daños provocados. El 26 de Abril de 1986, Chernóbil, Ucrania, se presenta un accidente nuclear debido al sobrecalentamiento del núcleo del reactor nuclear, provocando una estela de materiales radioactivos en el ambiente tales como: iodo 131, cesio 137 y 134, estroncio 90 y plutonio 239; éste grave accidente nuclear dejo la muerte de 31 personas, la evacuación de 135,000 individuos y contaminación radioactiva en las zonas cercanas.

La preocupación por el medio ambiente creció notablemente desde los 1960's, una de las manifestaciones de ésta preocupación fué la creación de varias organizaciones no gubernamentales, que promovían el interés por cuestiones ambientales. Los gobiernos tomaron mediadas al emitir leyes para la protección del medio ambiente, tal como Estados Unidos, al emitir su Ley de Aire Limpio en 1970, año en que también se crea "Environmental Protection Agency (EPA)" para la investigación, supervisión, establecimiento de normas y medidas de ejecución para garantizar la protección del medio ambiente, la norma antes mencionada fué modificada en 1990, requiriendo gasolina y diesel más limpios. Para el año de 1997 los países industrializados se reúnen en la ciudad de Kioto, en donde se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5% de media las emisiones contaminantes

entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

En el año de 1973 el ingeniero Nathaniel C. Wyeth obtiene la patente para fabricar botellas contenedoras a partir del PET (polietilentereftalato), que había sido desarrollado por John Whilfield y Hames Dickson en 1941 al hacer reaccionar glicol de polietileno con ácido teleftálico; éste material polimérico se convirtió rápidamente en uno de los productos químicos más importantes por sus propiedades y aplicaciones.

En 1987, el consejo Nacional de investigación de EE.UU publicó en su reporte “Survey of chemical Engineering research: frontiers and opportunities”, las aéreas de oportunidad y las tendencias en las industrias de proceso, dichas observaciones pueden verse en la Tabla 1.1, apreciándose un gran contraste entre ambas décadas, obviamente resultado de la evolución de las necesidades de la sociedad que junto con el avance científico y tecnológico se han ido satisfaciendo.

Tabla 1.1 Tendencias Industriales en el siglo XX.

| 1960´s                       | 1900´s   |
|------------------------------|--|
| Materiales homogéneos        | Composición y materiales estructurados             |
| Bajo costo, bajo rendimiento | Alto valor, alto rendimiento                       |
| Productos Químicos Básicos   | Especialidades y productos bioquímicos             |
| Síntesis                     | Formulación por diseño                             |
| Macroscópico                 | Microscópico                                       |
| Producción a gran escala     | Pequeña escala y flexibilidad                      |
| Producción continua          | Por lotes y flexible / continuo y flexible         |
| Énfasis en el proceso        | Énfasis en producto y proceso                      |
| Competencia de costo         | Competencia en calidad                             |
| Eficiencia                   | Innovación y Comercialización                      |
| Capital Intensivo            | Información intensiva                              |
| Nacional                     | Global   |
| Bienes                       | Bienes y Servicios                                 |
| Beneficios a corto plazo     | Inversiones a largo plazo                          |
| Unidisciplinario             | Interdisciplinario                                 |
| Compresión de macroescala    | Compresión de microescala, nanoescala y mesoescala |

También en dicho artículo se señala las áreas de investigación a desarrollarse la ingeniería química, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Áreas de Investigación

---

|   |
|---|
| Impacto – Orientación                                     |
| Energía y procesamiento de recursos naturales             |
| Bioquímica e ingeniería biomédica                         |
| Materiales Avanzados                                      |
| Electrónica y Fotónica                                    |
| Protección ambiental, seguridad y materiales peligrosos   |
| Asistencia de computadora para el control de los procesos |

---

El desafío para el futuro será tratar de garantizar que la Ingeniería Química se dé cuenta de su pleno potencial como la más amplia y científica de las disciplinas de la ingeniería. El reto consiste en perder o no el enfoque y las raíces de nuestras raíces para hacer frente a los nuevos retos, lo que no cabe duda es que lo más esencial de la disciplina es que ha crecido y tiene la capacidad para adaptarse sin comprometer nuestra identidad.

# 2

## PANORAMA DE LA INGENIERÍA QUÍMICA EN EL SIGLO XXI

*“Science can amuse and fascinate us all, but it is engineering that changes the world”*

*“La ciencia puede entretenernos y fascinar a todos, pero es la ingeniería la que cambia el mundo”*

Isaac Asimov

### 2.1. Visión de la Ingeniería Química en el Siglo XXI

Otto C.C. Lin, profesor de la universidad de Hong Kong ha identificado 5 funciones del ingeniero Químico en el siglo XXI:

- Investigación y Desarrollo: Producto
- Investigación y Desarrollo: Proceso
- Manufactura
- Gestión y Servicios
- Educación

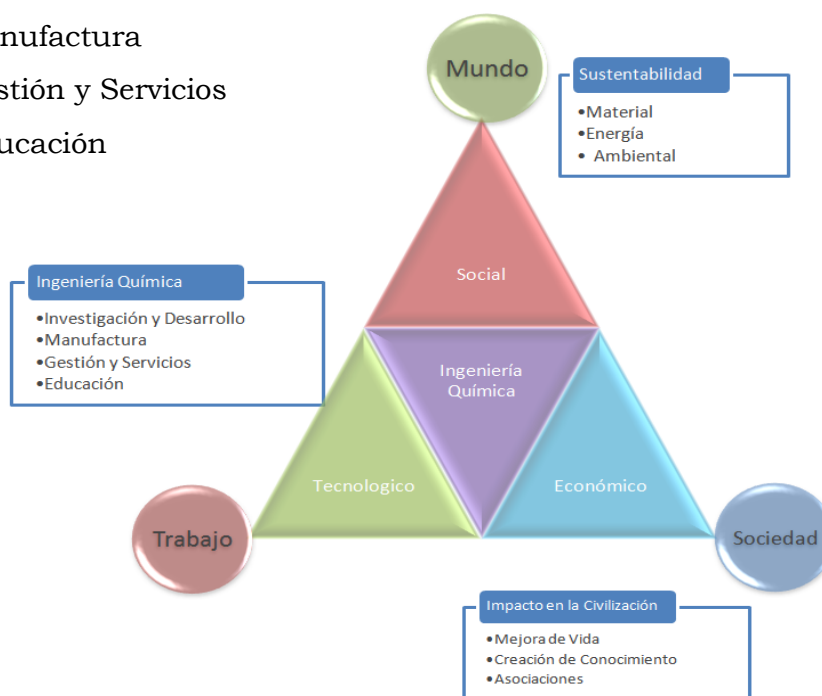


Fig. 2.1 Formulación de la visión de Otto C. C. Linn para la Ingeniería Química en el siglo XXI

### **2.1.1 Investigación y Desarrollo: Producto**

Desde los últimos años la ingeniería de producto se ha convertido en un factor cada vez más importante para lograr el éxito económico en la industria. La competencia en el mercado es decidida no solo por el precio de un producto, sino por el total de valores agregados para el consumidor final, dichos valores agregados pueden ser incluidos de varias maneras. La ingeniería de Producto se dedica a la adición de valor agregado mediante la mejora de calidad y desempeño de productos de la industria de procesos.

La ingeniería de producto tiene particular importancia en la producción y procesamiento de: comida, productos farmacéuticos, cosméticos, detergentes, colorantes, pigmentos, fertilizantes, etc. (Kind 1999)

La Ingeniería de Producto es la responsable del mayor cambio en la industria química que empezó a ocurrir en las últimas décadas; analizando la desintegración de grandes conglomerados y reestructuración de industrias de procesos químicos, se pueden identificar dos tipos de compañías químicas: Proveedoras de Moléculas y las Solucionadoras de Problemas.

Las proveedoras de moléculas incluyen la manufactura de comodidades y sustancias químicas finas mientras que las solucionadoras de problemas son las encargadas de sustancias químicas especiales, sustancias farmacéuticas, agrícolas, entre otros ingredientes activos. Para competir, las compañías proveedoras de moléculas se basarán en procesos tecnológicos sofisticados, economías de escala<sup>22</sup>, acceso a costo-efectivo<sup>23</sup> de materias primas, el ahorro de energía en el proceso y un excelente sistema de logística. Las compañías solucionadoras de problemas se basarán en productos con propiedades y rendimientos únicos, o alto valor agregado al consumidor. Así pues, mientras que las proveedoras de moléculas pueden ser sustituidas en los costos y criterios de disponibilidad, las solucionadoras de problemas no son tan sustituibles, y se basan en el funcionamiento “mágico” de sus productos.

---

<sup>22</sup> Reducción de coste por unidad resultante de un aumento de la producción, realizado a través de la eficiencia operativa. Economías de escala se puede lograr debido a que la producción aumenta, el costo de producir cada unidad adicional disminuye.

<sup>23</sup> Capacidad de generar valor suficiente para compensar el coste de una actividad. El valor puede ser interpretado como ingresos en el caso de una empresa.

Un ingeniero químico que se desarrolla en la investigación y desarrollo de productos debe analizar la naturaleza de los negocios y los factores del éxito, el diseño de una arquitectura de alto nivel de los valores finales, la interconexión entre la materia y la energía para un proceso eficiente. Adicionalmente, la reducción, re-uso y reciclaje de un producto durante todo su ciclo de vida, siempre deben ser considerados durante el desarrollo del mismo. (Lin 2003)

Los Ingenieros Químicos que trabajan en el desarrollo e investigación de productos deben tener un conocimiento de la nano-ciencia, de la ciencia de la vida, biotecnología, tecnología de la modificación genética, tecnología de materiales avanzados, modelado por computadora y ciencias computacionales. (Favre, y otros 2008)



Fig. 2.2 Ingeniería de Producto y sus tendencias para el siglo XXI.

### 2.1.2 Investigación y Desarrollo: Proceso

Es el trabajo de un Ingeniero químico el desarrollo y optimización de un proceso química y físicamente en la transformación de materia bruta a productos. La eficiencia y la efectividad del proceso químico son parte del corazón de la profesión del ingeniero químico.



Hay un nuevo giro en el proceso de diseño. Los ingenieros químicos en procesos deben optimizar no solo el desempeño económico, también el ambiental. Esta situación impone nuevas condiciones y restricciones en el modelado y simulación en computadora. Se requiere un Ingeniero Químico que tenga conocimientos no solo para hacer más eficiente el proceso, sino también, vías químicas que involucren alimentaciones homogéneas y heterogéneas.

Así pues, un producto es diseñado considerando composición molecular y conformación para su uso final, así como las opciones de proceso para minimizar productos secundarios y deshechos. Éste tipo de integración de diseño de producto y proceso requiere de formulación y el análisis de sistemas multi-variables no lineales de gran escala y complejidad. (Lin 2003)

La investigación de procesos innovadores para la producción de productos básicos e intermedios, donde no solo se tome en cuenta una alta selectividad, conversión, control de composición y estructura; también se considere la seguridad, la salud y el medio ambiente, incluido el valor de tecnologías no contaminantes, reducción de las materias primas y las pérdidas de energía, así como el reciclado productos y subproductos. (Charpentie 2002)

Nanotecnología juega un papel prominente en la síntesis futura de películas delgadas y dispositivos. La nanotecnología es definida como el estudio y manufacturación de estructuras y dispositivos con dimensiones cercanas a las de una molécula. La nano escala de la física y química podrían conducir a transistores más pequeños y rápidos, materiales más resistentes y luminosos jamás hechos. Así mismo, biocatalizadores tales como proteínas serán empleadas para facilitar reacciones relevantes a condiciones ambientales. Moléculas naturales serán estudiadas para proveer una selectividad similar a sustancias químicas inorgánicas tales como las zeolitas. (Favre, y otros 2008)

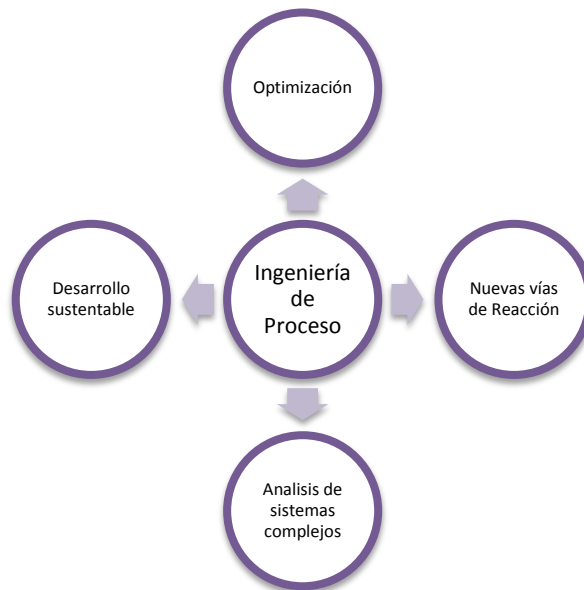


Fig. 2.3 Ingeniería de Proceso y sus tendencias para el siglo XXI.

### 2.1.3 Manufactura

La producción de productos básicos y sus productos secundarios seguirán siendo un pilar en la economía mundial. Muchas de las estrategias y factores que se consideran en la investigación y desarrollo se aplican de igual manera en la manufactura.

La manufactura continuará esforzándose en optimizar costos y tiempo de entrega. Se requerirá de instrumentación sofisticada, automatización y distribución de datos. En la mayor medida de lo posible que se simplifique el diseño y el control del flujo de personas, materiales e información. Se incluirá cero pérdidas, cero riesgos y cero contaminaciones como objetivos de operación.

Una planta de manufactura no sólo puede ser vista como una productora de productos físicos, también puede ser una proveedora de soluciones para sus clientes, que requieran software, consulta y servicio, así como de hardware.

Uno de los paradigmas será el micro procesamiento, el empleo de micro reactores, micro calentadores, micro intercambiadores y los dispositivos

denominados “lab-on-a-chip”<sup>24</sup> se emplearán para la producción a escala industrial, llevando la aplicación de la nanociencia a lo macro, especialmente en las reacciones gas-líquido. La Intensificación de Proceso<sup>25</sup> ofrecerá nuevas oportunidades en el control de la contaminación. (Lin 2003)

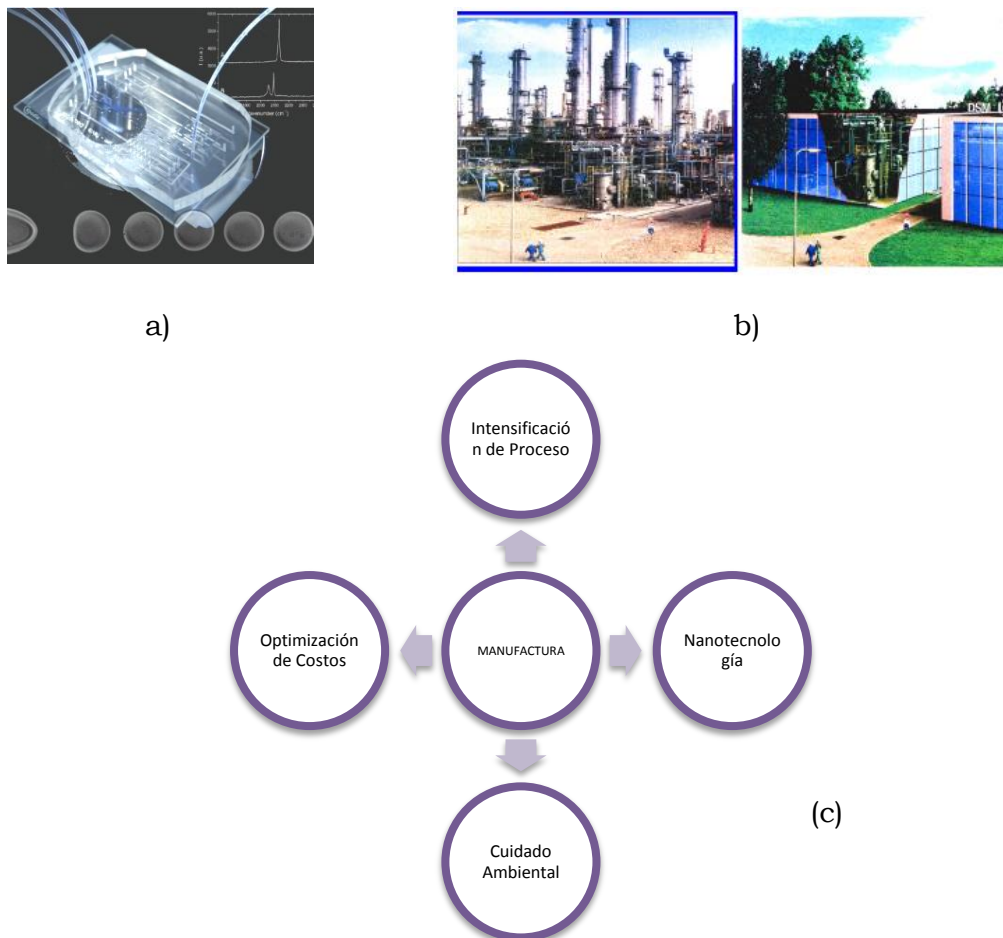


Fig. 2.4 (a) *Lab-on-a-chip*. (b) *Intensificación de Proceso*. (c) *La Manufactura y sus tendencias para el siglo XXI*.

<sup>24</sup> Término que describe micro dispositivos que combinan las tecnologías de semiconducción y micro fluidos para permitir un rápido análisis micro analítico de muestras en un único sistema totalmente integrado. Normalmente éstos dispositivos tienen longitudes de unos cuantos milímetros, comparables con una tarjeta bancaria, con canales más estrechos que un cabello y están hechos de silicio, vidrio o plástico, que llevan los micro dispositivos necesarios (bombas, válvulas, controladores y detectores) que permiten la separación de muestras y su análisis elemental de sus componentes.

<sup>25</sup> El término denota una de las tendencias de la industria hacia un proceso eficiente y sustentable, esto por ejemplo reduciendo el consumo de energía y/o reduciendo los subproductos, enfatizando la reducción de las dimensiones de los equipos, todo esto sin comprometer la producción total de la planta. Los rectores multifuncionales rompen con el paradigma operaciones unitarias combinando etapas de mezclado/reacción, separación/reacción destilación reactiva, reactores de cama móvil y la integración de reacción e intercambio de calor en la recuperación y regeneración de los mismos. (Stankiewicz, y otros 2008) (Charpentier 2007)

Una definición de Intensificación de Proceso hecha por Stankiewicz and Moulijn es: “comparando equipo novedoso, técnicas de procesamiento y métodos de desarrollo del proceso que comparadas con las convencionales, ofrecen mejoras substanciales en el procesamiento y producción (bio) química.”

#### **2.1.4 Gestión y Servicios**

“El mundo va a cambiar en los próximos diez años más de lo que lo ha hecho en los últimos cincuenta años” -Bill Gates-

El manejo y negocios de una planta de la industria química serán un poco diferentes, debido al comercio electrónico y el suministro global de tecnologías, la combinación de ambas, una fábrica de productos químicos o de negocios puede ser dirigida con una cantidad mínima de inventario, reducir la comercialización, almacenamiento, servicio técnico y de ventas. Esta minimización revolucionará el modelo de negocios de las industrias de procesamiento químico. (Lin 2003)

Todas las investigaciones de mercado indican que es la gente joven la que hace uso de las páginas web, la que compra allí, la que no tiene miedo de usar una tarjeta de crédito para hacer compras en línea. El mundo cambió, los niños de ahora saben manejar una computadora, hacen click naturalmente, mientras que nuestros padres no hacen click, si se requiere trabajar hacia el futuro, tenemos que trabajar para los que hacen click, es la nueva forma de hacer negocios.

La globalización ha suprimido muchas de las barreras levantadas por los países, permitiendo una creciente libertad de comercio y proporcionando a los consumidores cada vez más posibilidades de elegir. Las empresas no pueden seguir confiando en la regularización para proteger sus posiciones en el mercado, por tal motivo es necesaria tanto la planificación y el pensamiento estratégico, como la implementación de un sistema de mejora continua. Y no se trata de mejorar de manera continua los productos y/o servicios si no también los procesos.

Las organizaciones que no tengan capacidad de reacción, que no tengan la habilidad de hacer guerra de precios, de no ofrecer un excelente servicio al cliente, que no respondan ágilmente a la competencia y no desarrollen internamente nuevos productos, que no posean una buena comunicación interna y externa, y que no tengan excelencia en operación, están destinadas a morir.

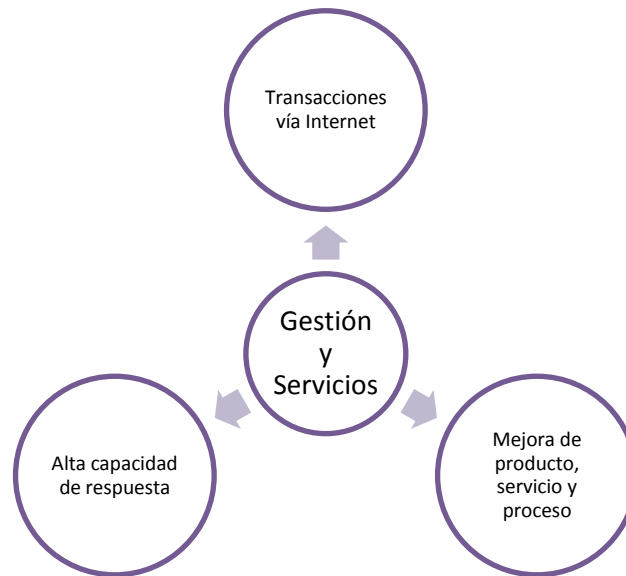


Fig. 2.5 La Gestión y los Servicios y sus tendencias para el siglo XXI.

### 2.1.5 Educación

Problemas en la educación de la Ingeniería Química se han manifestado en varias maneras. Primero, el veloz cambio en el ambiente económico ha requerido de la práctica profesional para dominar las diferentes habilidades adquiridas en la formación académica. Segundo, se ha ido incrementado la dificultad para reclutar y mantener a los mejores estudiantes en la profesión y el interés por carreras en las áreas sociales. Tercero el desarrollo de la micro electrónica, bioingeniería, nanotecnología y otras nuevas tecnologías. Estas situaciones se han manifestado por todo el mundo y las causas son varias, entre las cuales se tienen:

- La disminución de la industria química en la nueva economía.
- La reestructuración de la industria de procesos químicos en diversos modelos de negocios.
- La vinculación de la ingeniería química con problemas ambientales y riesgos industriales.
- La creciente marginación de la profesión.

La enseñanza de la Ingeniería Química a encarado a un dilema: por una parte mantener el contacto con las necesidades de la industria o incorporar nuevos conceptos científicos. Pero si bien es cierto que las instituciones son las responsables de la formación de los profesionistas y en ellas recae la obligación de desarrollar nuevos programas académicos en función de la misión y visión de la institución, los problemas educativos son muchos y la soluciones no son muy claras; un cambio es necesario en el sentido de evolucionar, manteniendo la identidad profesional y adaptarse a las demandas y/o cambios sociales, industriales, económicos.

En un esfuerzo de impulsar la profesión en Europa, se creó el “Bologna Process”, con el cual se pretende ofrecer una mejor educación para la primera década del tercer milenio, ello conlleva a unificar la educación mediante un sistema de transferencia de créditos que promueva la movilidad de estudiantes, académicos e investigadores.

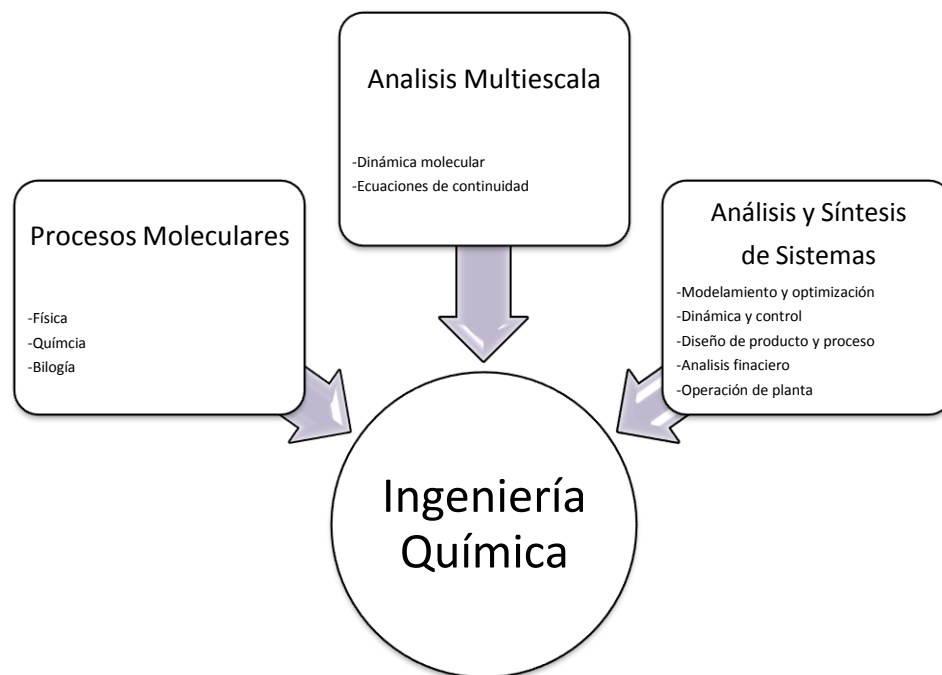


Fig. 2.6 Tendencias de la educación en la Ingeniería Química, Proyecto “Frontiers in Chemical Engineering Education”

### **2.1.6 Sociedad y Sustentabilidad**

Si bien es cierto que la Ingeniería Química ha satisfecho las necesidades creando y/o mejorando productos y servicios que brindan comodidad a la sociedad, también ha contribuido a la contaminación, riesgos ambientales y condiciones de riesgo. La sociedad nos ha señalado como una profesión que le inspira poca confianza, han creado una imagen errónea del ingeniero químico debido a eventualidades, olvidando que la satisfacción y comodidad que ofrece la profesión tiene riesgos y se está trabajando para eliminarlos, el desarrollo tecnológico brindará herramientas que sean adaptadas a los procesos.

La atención del mundo se ha concentrado en el tema de la sustentabilidad, pero no solo se trata de temas ambientales, también se ocupa de procesos socioeconómicos, políticos, técnicos, productivos, institucionales y culturales que están relacionados con la satisfacción de las necesidades humanas. El objetivo es mantener las condiciones planetarias favorables para el desarrollo de la vida humana a nivel global y local.

La ingeniería química guarda una relación estrecha con la sustentabilidad pues el quehacer diario de la profesión involucra el proceso y producción de materia y la responsabilidad de en los procesos se emplee eficientemente los materiales, de la conservación de recursos escasos, que la energía se emplee de manera inteligente y eficiente. La mayor parte de lo que se produce, productos secundarios o no deseables, no deben perjudicar a la gente y al medio ambiente, incluyendo su flora y fauna. Ojalá llegue el día en que las industria química desechen al ambiente solo agua y dióxido de carbono en cantidades controladas ya que si los Ingenieros Químicos no tomamos responsabilidad por iniciativa y voluntad, seremos forzados por el gobierno a tomar acciones. (Lin 2003)

Para satisfacer las demandas de energía y desarrollo del siglo XXI, la tecnología en los procesos de las plantas industriales debe responder con nuevos productos y la facilidad para producirlos, teniendo siempre presente el cuidado por el medio ambiente; tecnológicamente hay innovaciones que nos ofrece ser una sociedad sustentable mediante el empleo del tratamiento de

aguas negras para su re uso, reciclaje de plásticos y latas de aluminio, reprocesamiento de neumáticos y el uso de la basura para generar electricidad. Más recientemente la “Química Verde” se ha centrado en modificar las propiedades intrínsecas de algunas sustancias químicas para reducir o eliminar su naturaleza peligrosa. (Stevens 2003)

## **2.2. Plan de trabajo de la Ingeniería Química en el Siglo XXI**

En el año 2007 el IChemE publicó “A roadmap for 21st Century Chemical Engineering” donde identifican temas claves donde la Ingeniería Química tiene un importante papel en la entrega de soluciones para los desafíos del nuevo siglo, los tópicos son los siguientes:

1. Sustentabilidad y Tecnología Química Sustentable.
2. Salud, Seguridad, medio Ambiente y percepción pública de riesgo.
3. Energía.
4. Alimentos y bebidas.
5. Agua.
6. Bioprocessos y biosistemas.



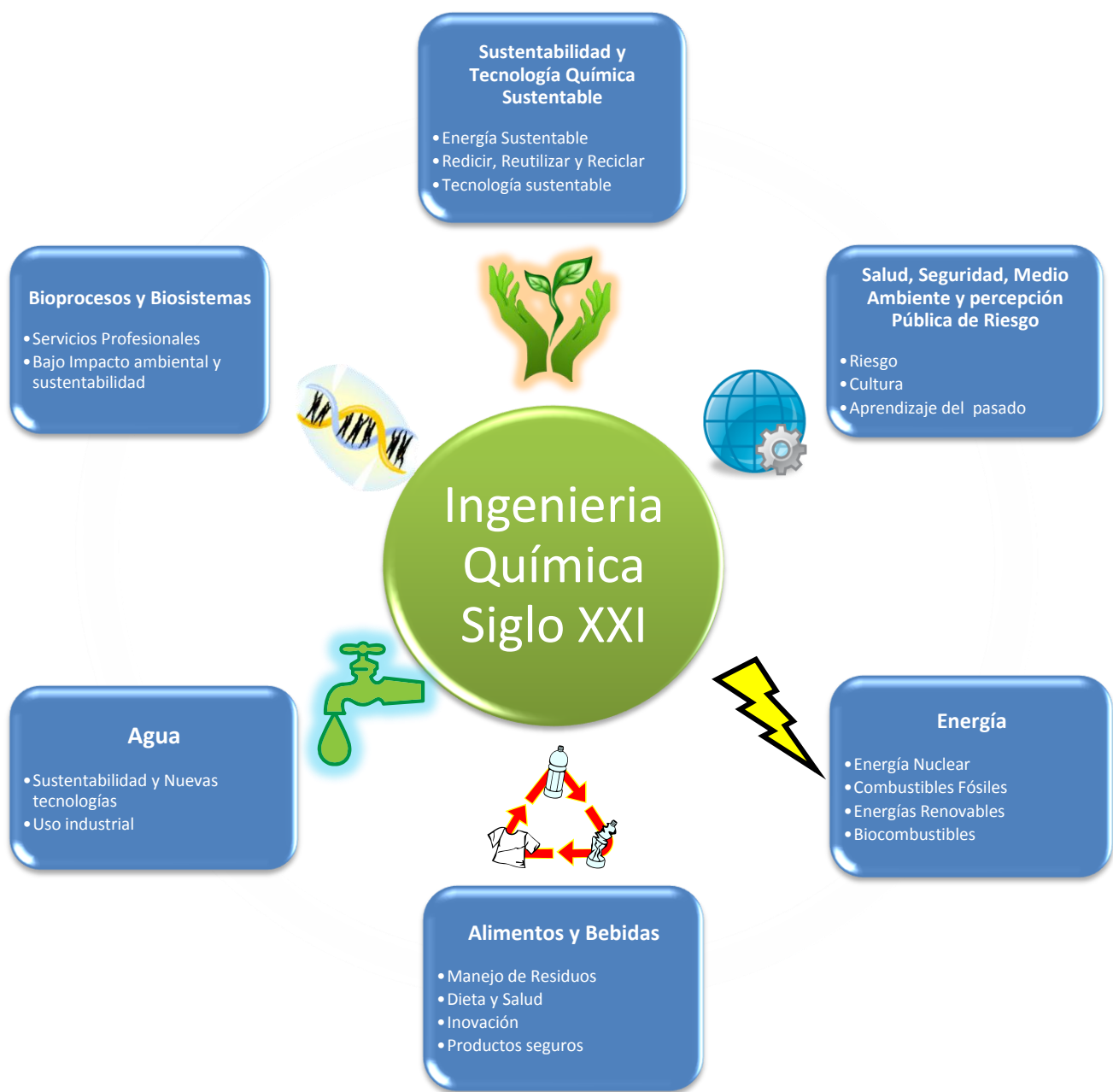


Fig. 2.7 Tendencias de la Ingeniería Química en el Siglo XXI (IChemE)

### **2.2.1 Sustentabilidad y Tecnología Química Sustentable**

Los principales indicadores de de calidad de vida son: el acceso a la energía, el agua limpia, alimentos y asistencia sanitaria. La energía provee de muchas comodidades y su consumo se verá triplicado según las proyecciones de crecimiento poblacional. Actualmente más del 80% de la energía se genera a partir de combustibles fósiles y las emisiones derivadas de esta actividad dañan gravemente al planeta , por lo que se requiere de minimizar el uso de combustibles fósiles pero es mucho más importante investigar y desarrollar fuentes alternas para generar energía para dejar de depender de fuentes fósiles.

Estamos agotando los recursos de nuestro planeta y para tener un futuro sustentable nuestro objetivo debe ser REDUCIR el consumo de materias primas, el consumo de agua y energía, y los desechos generados debido a las actividades humanas; RECICLAR los productos al final de su vida útil; REUTILIZAR las partes que pueden ser aprovechadas.

Se ha aceptado la economía de escala, creando más unidades de producción, aumentando la eficiencia, reduciendo los costos por unidad procesada. El lado negativo de esto es el aumento en la seguridad y los riesgos ambientales. La intensificación de proceso, miniaturización de las plantas, ecología ambiental y otras tecnologías deben ser contempladas para un diseño y re evaluación de una planta, incorporando siempre conceptos innovadores para una industria química sustentable.

Ahora bien para poder cumplir con los objetivos de sustentabilidad se requiere de un ajuste en los planes de estudio, incorporando temas de seguridad, tecnología de vanguardia, sustentabilidad y diseño de productos verdes. Un buen mapa curricular en Ingeniería Química se reflejara en las habilidades, capacidades y buen desarrollo profesional.

Los consumidores cada vez más piden información sobre el daño a la salud y medio ambiente acerca de los productos que compra y como tratarlos para su adecuado desecho una vez que ya han sido utilizados. Por ello surge una nueva disciplina llamada “Diseño de producto sustentable”, en la cual el

Ingeniero Químico desarrollará un papel importante en la definición, desarrollo e implementación de dichos productos.

En el ámbito de la agricultura, se requiere una sustentabilidad mediante el desarrollo de nuevas cepas que tengan mayor rendimiento, resistencia a enfermedades, sequías, herbicidas y pesticidas. El uso inteligente de cultivos puede proveer fuentes renovables de energía y sustancias químicas mediante el empleo de los desechos de esta actividad.

### **2.2.2 Salud, seguridad, Ambiente y Percepción Pública de Riesgo**

La sociedad exige el derecho de no ser afectada por nuestras actividades. La eliminación total del riesgo no es posible sin renunciar a los beneficios de dicha actividad de riesgo; el concepto de nivel tolerable de riesgo denota el equilibrio entre los beneficios y los riesgos, dicho concepto debe ser difundido y entendido por todos. Como Ingenieros Químicos debemos garantizar la utilización de métodos adecuados para identificar, evaluar, administrar y controlar los riesgos.

Es inaceptable que sucesos del pasado que afectaron la salud, la seguridad de las comunidades y medio ambiente se repitan, muy pocas organizaciones cuentan con un sistema para recolectar información y el análisis sobre incidentes en la industria y los difunden. Es importante la formación de ingenieros que realicen investigación de accidentes y mediante la difusión se instaure la cultura del aprendizaje.

### **2.2.3 Energía**

Actualmente se utiliza la fusión nuclear de 400 reactores en el mundo para abastecer el 16% de la demanda mundial de energía; el problema que se enfrenta con esta fuente de energía libre de CO<sub>2</sub> es la disposición final de los residuos nucleares, la cual es el almacenamiento subterráneo permanente. Si bien es cierto que este tipo de generación de energía ofrece una disminución en la generación de gases de calentamiento se debe evaluar si los beneficios valen la pena.

El uso de combustibles fósiles actualmente se enfrenta a cuestiones tales como: el aumento y volatilidad del precio del crudo, disminución en los suministros de energía primaria (gas natural y petróleo), y las opiniones de los científicos sobre la relación de los gases de efecto invernadero y el cambio climático<sup>26</sup>.

El desafío es disminuir el consumo de combustibles fósiles, aumentar la eficiencia e incrementar la captura de gases de efecto invernadero y en definitiva sustituir la dependencia de combustibles fósiles.

Las celdas solares hasta ahora se han limitado a aplicaciones de pequeña escala debido a los altos costos de fabricación y la escases de refinados de silicio ha complicado un poco las cosas pero sin duda alguna se encontrara la manera de hacer más accesible esta tecnología y aplicarla a una mayor escala.

La energía eólica sigue siendo estudiada en el desarrollo de tecnología de bajo costo que la haga competente con otras técnicas de generación energética, en éste mismo sentido se encuentra la obtención de energía a partir de las corrientes marítimas, por lo que es cuestión de tiempo para que se estén aprovechando estos dos recursos naturales.

Para cualquier tipo de energía renovable es indispensable seguir con los procesos de investigación y Desarrollo para mejorar las tecnologías existentes y/o desarrollar nuevas tecnologías de bajo costo, alta generación de energía y sistemas de almacenaje.

La generación de biocombustibles va creciendo notoriamente y ha sido adoptada por muchos países como medida para disminuir la dependencia de combustibles fósiles y así lograr una mayor seguridad energética ya que comparada con otro tipo de energía alternativa su reemplazo por los combustibles fósiles en motores de combustión no requiere de grandes cambios en la tecnología utilizada. La combinación de biocombustibles y los productos de la síntesis Fischer Tropsch pueden ofrecer una ruta atractiva para la generación de combustibles renovables para el transporte. Uno de los

---

<sup>26</sup> Hay muchas opiniones encontradas al respecto de éste tema, aún no hay la certeza científica de que el calentamiento global sea resultado de la actividad humana.

factores que limitan justificadamente la generación de biocombustibles es el consumo de cultivos para su generación, la disponibilidad de agua para los cultivos afecta gravemente los rendimientos, la escasez de cosechas destinadas a consumo humano se ve afectada y el precio de dichos cultivos aumenta.

La generación de energía a partir del Hidrógeno centra el interés de muchos por las bondades que ofrece: no es fuente de contaminación, alta eficiencia, almacenaje seguro, no es tóxico, etc. la energía a partir de hidrógeno es la solución a varios problemas y los gobiernos están apostando por este tipo de energía, tal es el caso de Estados Unidos con la inversión de 1.7 billones de dólares para la investigación y uso del hidrógeno como combustible.

#### **2.2.4 Alimentos y Bebidas**

El consumo de de Alimentos y Bebidas genera una gran cantidad de residuos que pueden aprovecharse como materia prima para la generación de energía, producción de biocombustibles y en la industria química; principios de ingeniería química deben aplicarse para encontrar estrategias de reducción de residuos y la aplicación eficaz de éstos para la generación de energía.

A pesar de que la Revolución verde ha aumentado la producción de alimentos, aún hay millones de personas sufriendo hambre. Dicho aumento se debe al uso de fertilizantes, plaguicidas, pesticidas, fungicidas y herbicidas. Minimizar el uso de agroquímicos, la eliminación segura de residuos sin peligro para el hombre, animales suelo y agua, el mantener la tierra fértil y proteger los paisajes nos asegurara sustentabilidad en el futuro. El Ingeniero Químico como experto en el análisis de sistemas y flujos de energía debe desempeñar un papel prominente en el desarrollo de la agricultura y hacer que los métodos de cultivo seas sustentables.

La industria de alimentos y bebidas deben centrarse en una presentación segura, alimentos nutritivos para satisfacer y mejorar la dieta y las necesidades de salud que cada vez son más exigentes. El tema de la obesidad debe plantearse por ésta industria y tomar medidas que incluyan la reducción de niveles de azúcar y sal en sus productos. La entrega de alimentos y bebidas

seguros, sanos y nutritivos exige la colaboración de los ingenieros químicos para la exploración de nuevas vías en la ciencia y la tecnología en colaboración con otras disciplinas.

### **2.2.5 Agua**

El agua es esencial para la vida en la tierra y debe estar disponible en suficiente cantidad y calidad; mientras que la población va creciendo y con ello la urbanización e industrialización, las fuentes disponibles sufren contaminación. Los gobiernos de todo el mundo deben asumir la gestión del agua, utilizando reglamentos para la conservación y rehabilitación de los suministros dañados.

Hoy la necesidad de desarrollar las existentes tecnologías de tratamiento de agua e implementar nuevas de bajo coste, bajo consumo energético y bajo impacto ambiental y que los Ingenieros Químicos desempeñen un papel de responsabilidad en este aspecto, será su ocupación el desarrollo para que en un futuro una enzima o un catalizador destruya la materia orgánica y organismos en el agua, dejándola libre de residuos, a un bajo costo. La industria y la agricultura en todo el mundo deben poner en práctica técnicas de gestión del agua para reducir el consumo de agua por medio de la reutilización, reciclado y para recuperar las materias primas y residuos en sus efluentes; los Ingenieros Químicos deben proporcionar puntos de referencias y asesoramiento para las mejores prácticas en el sector industrial para el consumo de agua.

Es fundamental que el agua de cualquier calidad sea tratada adecuadamente para cumplir con las normas exigidas y requerimientos del cliente; que la extracción del agua, el tratamiento, uso y descarga causen el mínimo impacto en el ambiente.

### **2.2.6 Bioprocesos y Biosistemas**

Profesionistas necesitan incrementar sus conocimientos técnicos de especialización, también requieren una gama más amplia de conocimientos biológicos para un adecuado desarrollo profesional dentro del área de

bioingeniería. Es un hecho que no se tiene la suficiente experiencia en el sector de la biotecnología, experiencia relacionada con la mano de obra, por lo que debe ampliarse la matrícula y los cursos enfocados a cubrir las necesidades que la bioingeniería requiere.

La implementación de rutas de Procesamiento Verde y la subsecuente minimización de solventes es importante para reducir la huella industrial en el medio ambiente. La creciente producción de biocombustibles y productos derivados de la biomasa son las oportunidades de éxito para los ingenieros y son soluciones renovables con gran oportunidad.

Los procesos empleados en diversas industrias y el ritmo de cambio en el descubrimiento de la ciencia exigirán cambios y adiciones a los productos y procesos, que junto con los ingenieros, ciencia básica y médica tienen el papel central en la investigación y desarrollo de nuevos enfoques que ayuden a la correcta implementación de conceptos y tecnologías relacionadas con la biología a la industria.

Hoy en día los bioprocesos incluyen técnicas y operaciones que utilizan la biología molecular, fermentación microbiana, cultivos de células de mamíferos, transgénicos, purificación, análisis e identificación de todos los aspectos del proceso de producción desde su escala a laboratorio hasta llevar la producción a escala industrial. Con la llegada de nuevas técnicas y tecnologías, los Ingenieros Químicos tienen que comprender las oportunidades que ofrece la nueva generación de análisis y cálculos relacionados con los avances de las ciencias de la vida. (Perry 2007)

# 3

## INGENIERÍA DE PRODUCTO

*“Imagination is more important than knowledge. For knowledge is limited to all we now know and understand, while imagination embraces the entire world, and all there ever will be to know and understand.”*

*“La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento se limita a todo lo que ahora conocemos y comprendemos, mientras que la imaginación abarca al mundo entero, todo lo que en el futuro se conocerá y entenderá”*

Albert Einstein

### 3.1 Definición de Producto

Los productos son importantes para las empresas por que la sociedad cubre en gran medida con ellos sus necesidades y/o comodidades que ellos brindan. La generación de nuevos productos es relevante para cubrir las necesidades de la población y es por ello que las empresas están continuamente investigando y desarrollando nuevos conceptos para la generación de nuevos productos o modificar los existentes agregándoles valor agregado, con ello la empresa se beneficia económicamente y se posiciona en el mercado. También representa el más importante elemento de las 4 P's de la estrategia de mercadotecnia.

La palabra Producto viene del vocablo latino *productum* que se refiere a “resultado” o “beneficio”; el concepto de producto ha sido visto de muchas maneras a lo largo del tiempo y está relacionado con los modos de producción, por ejemplo en la Revolución Industrial era sinónimo de artículos producidos industrialmente, en nuestros días la palabra no solo abarca artículos, también servicios, ideas, lugares y hasta personas (políticos). Trabajo y medios de



producción son requisitos fundamentales para que se inicie la aplicación de Ingeniería de Producto, ambos dan lugar al producto, transfiriéndole un valor de uso y un valor de cambio. Para llegar a una definición concreta es pertinente primero conocer algunas definiciones y conceptos:

La real Academia de la lengua española reza: *“Producto es el caudal que se obtiene de algo que se vende o el que ello reeditúa”*

Patricio Bonta y Mario Farber, autores del libro "199 preguntas sobre Marketing y Publicidad", definen al producto como: *"El producto es un conjunto de atributos que el consumidor considera que tiene un determinado bien para satisfacer sus necesidades o deseos. Según un fabricante, el producto es un conjunto de elementos físicos y químicos engranados de tal manera que le ofrece al usuario posibilidades de utilización. El marketing le agregó una segunda dimensión a esa tradicional definición fundada en la existencia de una función genérica de la satisfacción que proporciona. La primera dimensión de un producto es la que se refiere a sus características organolépticas, que se determinan en el proceso productivo, a través de controles científicos estandarizados, el productor del bien puede valorar esas características fisicoquímicas. La segunda dimensión se basa en criterios subjetivos, tales como imágenes, ideas, hábitos y juicios de valor que el consumidor emite sobre los productos. El consumidor identifica los productos por su marca. En este proceso de diferenciación, el consumidor reconoce las marcas, a las que le asigna una imagen determinada"* (Bonta & Farber)

La American Marketing Association (A.M.A.), define el término producto, como: *"un conjunto de atributos (características, funciones, beneficios y usos) que le dan la capacidad para ser intercambiado o usado. Usualmente, es una combinación de aspectos tangibles e intangibles. Así, un producto puede ser una idea, una entidad física (un bien), un servicio o cualquier combinación de los tres. El producto existe para propósitos de intercambio y para la satisfacción de objetivos individuales y de la organización.* (American Marketing Association, 2009)

Philip Kotler y Gary Armstrong, en su libro titulado *Fundamentos de Marketing* ofrecen el siguiente concepto: *“la gente satisface sus necesidades y deseos con productos y servicios. Un producto es cualquier cosa que se puede ofrecer en un mercado para su atención, adquisición, uso o consumo y que podría satisfacer un deseo o una necesidad. (Sin embargo), el concepto de producto no está limitado a objetos físicos; cualquier cosa que pueda satisfacer una necesidad se puede llamar producto (objetos físicos, servicios, personas, lugares, organizaciones e ideas). Además de los bienes tangibles, los productos incluyen servicios, que son actividades o beneficios que se ofrecen a la venta y que son básicamente intangibles y no tienen como resultado la propiedad de algo”* (Kotler & Armstrong)

Para tema objeto de la presente tesis, se concluye como definición de Producto como: determinado bien que conjunta valores tangibles e intangibles que resultan del proceso de creatividad, para que mediante propiedades físicas y/o químicas se satisfagan las necesidades o deseos por parte de los consumidores y la empresa que lo proporciona obtenga una remuneración económica por las ventas del dicho bien.

### **3.1.1 Clasificación de productos**

Hay varias maneras de clasificar a los productos, pueden clasificarse por sus su naturaleza, propiedades, usos, hábitos de compra, etc. aquí veremos dos tipos de clasificaciones, uno por su durabilidad, una clasificación internacional y una clasificación de productos químicos.

#### **3.1.1.1 Clasificación de Productos por su durabilidad.**

- **Los bienes no duraderos** son bienes tangibles que se consumen por lo general en una o varias veces que se usen.
- **Los bienes duraderos** son bienes tangibles que suelen sobrevivir al uso. Los ejemplos incluyen refrigeradores, maquinas herramientas y ropa. Los servicios son actividades, beneficios o satisfacciones que se ofrecen en venta.
- **Bienes de consumo.** Los bienes de consumo son los que compran los consumidores definitivos para su propio consumo. Por lo general, los

mercadólogos clasifican estos bienes basándose en los hábitos de compra del consumidor:

- Los **bienes de uso común** son bienes de consumo que el cliente suele comprar con frecuencia, de manera inmediata y con el mínimo esfuerzo en la comparación y la compra. Los bienes de uso común se pueden subdividir en bienes básicos, de impulso y de emergencia.
  - Los **bienes básicos** son aquellos que los consumidores compran de manera regular.
  - Los **bienes de adquisición impulsiva** se compran sin planearse o buscarse; por lo general se encuentran al alcance en muchos lugares, porque los clientes rara vez los buscan.
  - Los **bienes de emergencia** se compran cuando la necesidad es urgente. Los fabricantes de bienes de emergencia los colocan en muchos puntos de venta.
- Los **bienes de comparación** son bienes de consumo que suelen pasar por un proceso de selección durante el cual el cliente los compara en cuanto a su idoneidad, calidad, precio y estilo. Los bienes de comparación pueden dividirse en uniformes y no uniformes.
  - Los **bienes de comparación uniformes** son similares en cuanto a la calidad, pero lo bastante diferentes en cuanto al precio. En los **bienes no uniformes**, las características del producto son a menudo más importantes que el precio.
- Los **bienes de especialidad** son bienes de consumo con alguna característica muy especial, o de una marca específica, por los cuales un grupo importante de compradores está dispuesto a hacer un esfuerzo de compra
- Los **bienes de consumo que el cliente no conoce**. Los nuevos que aunque sepa de ellos no la compra, como los detectores de humo o los aparatos de discos compactos son productos, hasta que el consumidor se entera de su existencia por los medios.

- **Bienes industriales.** Los bienes industriales son aquellos que compran individuos u organizaciones para procesarlos o utilizarlos en el manejo de un negocio. Así, la diferencia entre los bienes de consumo y los industriales se basa en la finalidad por la cual se compran.

Los bienes industriales se clasifican según la forma en que participan en el proceso de producción y según su costo. Existen tres grupos:

- **Los materiales y las partes.** Son bienes industriales que entran de manera total en el producto, ya sea por medio de procesamiento o como componentes. Son de dos clases:
  - Las materias primas incluyen los productos cultivados y los productos naturales.
  - Las materias y Partes manufacturadas incluyen componentes materiales.
- **Los bienes de capital** son bienes industriales que entran parcialmente en el producto terminado. Incluyen dos grupos:
  - Las instalaciones son los edificios (fábricas u oficinas).
  - En equipo accesorio incluye el equipo de producción portátil y las herramientas, así como el equipo de oficina. Estos productos no entran a formar parte del producto terminado.
- **Los suministros y servicios** son bienes industriales que no entran para nada en el producto terminado. Los suministros incluyen suministros para la operación, así como artículos de mantenimiento y reparación. Los servicios a la industria incluyen servicios de reparación y mantenimiento y servicios de asesoría (legal, administrativa o publicitaria).

(Kotler y Lane Keller, Marketing Management 2006)

### 3.1.1.2 Clasificación Internacional de Productos y Servicios

Tabla 3.1 Clasificación Internacional de Productos y Servicios

| Clase           | Lista de Productos  |
|-----------------|---|
| <b>Clase 1</b>  | Productos químicos para la industria, la ciencia y la fotografía, así como para la agricultura, la horticultura y la silvicultura; resinas artificiales en bruto, materias plásticas en bruto; abonos para el suelo; composiciones extintoras; preparaciones para templar y soldar metales; productos químicos para conservar alimentos; materias curtientes; adhesivos (pegamentos) para la industria.   |
| <b>Clase 2</b>  | Pinturas, barnices, lacas; productos antioxidantes y productos para conservar la madera; materias tintóreas; mordientes; resinas naturales en bruto; metales en hojas y en polvo para pintores, decoradores, impresores y artistas.   |
| <b>Clase 3</b>  | Preparaciones para blanquear y otras sustancias para lavar la ropa; preparaciones para limpiar, pulir, desengrasar y raspar; jabones; productos de perfumería, aceites esenciales, cosméticos, lociones capilares; dentífricos.   |
| <b>Clase 4</b>  | Aceites y grasas para uso industrial; lubricantes; productos para absorber, rociar y asentar el polvo; combustibles (incluida la gasolina para motores) y materiales de alumbrado; velas y mechas de iluminación.   |
| <b>Clase 5</b>  | Productos farmacéuticos y veterinarios; productos higiénicos y sanitarios para uso médico; sustancias dietéticas para uso médico, alimentos para bebés; emplastos, material para apósitos; material para empastes e improntas dentales; desinfectantes; productos para eliminar animales dañinos; fungicidas, herbicidas.   |
| <b>Clase 6</b>  | Metales comunes y sus aleaciones; materiales de construcción metálicos; construcciones transportables metálicas; materiales metálicos para vías férreas; cables e hilos metálicos no eléctricos; artículos de cerrajería y ferretería metálicos; tubos y tuberías metálicos; cajas de caudales; productos metálicos no comprendidos en otras clases; minerales metalíferos.   |
| <b>Clase 7</b>  | Máquinas y máquinas herramientas; motores (excepto motores para vehículos terrestres); acoplamientos y elementos de transmisión (excepto para vehículos terrestres); instrumentos agrícolas que no sean accionados manualmente; incubadoras de huevos.  |
| <b>Clase 8</b>  | Herramientas e instrumentos de mano accionados manualmente; artículos de cuchillería, tenedores y cucharas; armas blancas; navajas y maquinillas de afeitarse.  |
| <b>Clase 9</b>  | Aparatos e instrumentos científicos, náuticos, geodésicos, fotográficos, cinematográficos, ópticos, de pesaje, de medición, de señalización, de control (inspección), de salvamento y de enseñanza; aparatos e instrumentos de conducción, distribución, transformación, acumulación, regulación o control de la electricidad; aparatos de grabación, transmisión o reproducción de sonido o imágenes; soportes de registro magnéticos, discos acústicos; distribuidores automáticos y mecanismos para aparatos de previo pago; cajas registradoras, máquinas de calcular, equipos de procesamiento de datos y ordenadores; extintores. |
| <b>Clase 10</b> | Aparatos e instrumentos quirúrgicos, médicos, odontológicos y veterinarios, así como miembros, ojos y dientes artificiales; artículos ortopédicos; material de sutura.  |
| <b>Clase 11</b> | Aparatos de alumbrado, calefacción, producción de vapor, cocción, refrigeración, secado, ventilación y distribución de agua, así como instalaciones sanitarias.   |
| <b>Clase 12</b> | Vehículos; aparatos de locomoción terrestre, aérea o acuática.  |
| <b>Clase 13</b> | Armas de fuego; municiones y proyectiles; explosivos; fuegos artificiales.  |
| <b>Clase 14</b> | Metales preciosos y sus aleaciones, así como productos de estas materias o chapados no comprendidos en otras clases; artículos de joyería, bisutería, piedras preciosas; artículos de relojería e instrumentos cronométricos.   |
| <b>Clase 15</b> | Instrumentos musicales.   |
| <b>Clase 16</b> | Papel, cartón y artículos de estas materias no comprendidos en otras clases; productos de imprenta; material de encuadernación; fotografías; artículos de papelería; adhesivos (pegamentos) de papelería o para uso doméstico; material para artistas; pinceles; máquinas de escribir y artículos de oficina (excepto muebles); material de instrucción o material didáctico (excepto aparatos); materias plásticas para embalar (no comprendidas en otras clases); caracteres de imprenta; clichés de imprenta.  |
| <b>Clase 17</b> | Caucho, gutapercha, goma, amianto, mica y productos de estas materias no comprendidos en otras clases; productos de materias plásticas semielaborados; materiales para calafatear, estopar y aislar; tubos flexibles no metálicos.  |
| <b>Clase 18</b> | Cuero y cuero de imitación, productos de estas materias no comprendidos en otras clases; pieles de animales; baúles y maletas; paraguas, sombrillas y bastones; fustas y artículos de guarnicionería.   |
| <b>Clase 19</b> | Materiales de construcción no metálicos; tubos rígidos no metálicos para la construcción; asfalto, pez y betún; construcciones transportables no metálicas; monumentos no metálicos.  |
| <b>Clase 20</b> | Muebles, espejos, marcos; productos de madera, corcho, caña, junco, mimbre, cuerno, hueso, marfil, ballena, concha, ámbar, nácar, espuma de mar, sucedáneos de todos estos materiales o de materias plásticas, no comprendidos en otras clases.   |



Tabla 3.2 Clasificación de los Productos Químicos

| <b>Categoría</b>                    | <b>Descripción</b>  | <b>Ejemplo</b>   |
|-------------------------------------|---|--|
| <b>Especialidades Químicas</b>      | <b>Compuestos producidos en pequeña escala por las que el rendimiento es el factor diferenciador.</b> | <b>PoliDADMAC<sup>27</sup></b>   |
| <b>Productos Formulados</b>         | <b>Combinación de microsistemas multifuncionales</b>  | <b>Cremas, Lociones para el cuidado de la piel.</b>                    |
| <b>Bio-productos</b>                | <b>Fármacos, biomateriales, tejidos y tecnologías de la ingeniería metabólica.</b>                    | <b>Alendronato sódico <sup>28</sup></b>                                |
| <b>Dispositivos</b>                 | <b>Artículos que implican una transformación física y o química.</b>                                  | <b>Oxigenador de sangre.</b>   |
| <b>Tecnología de consumo</b>        | <b>Bienes de consumo cuya funcionalidad es proporcionada por la tecnología química/física.</b>        | <b>Pañales desechables</b>   |
| <b>Productos Químicos Virtuales</b> | <b>Software de apoyo a los procesos químicos relacionados con la actividad industrial.</b>            | <b>Programas de simulación de procesos industriales</b>                |
| <b>Servicios</b>                    | <b>Servicios basados en la aplicación directa de los conocimientos científicos y de ingeniería.</b>   | <b>Compañías de consultoría y asesoramiento de manejo de residuos.</b> |

### 3.2 Razones para la generación de nuevos Productos

El desarrollo de nuevos productos dentro de la empresa es fundamental pues éstos son la razón de existir de la misma para la satisfacción de las necesidades de sus consumidores, y debe estar pendiente de los cambios en gustos, necesidades y hábitos en la población; toda empresa se ve en la situación de modificar sus productos o incluso invertir en nuevos productos. Algunas de las razones para generar nuevos productos son:

<sup>27</sup> El cloruro de polidialildimetilamonio, conocido también como poliDADMAC es un polímero catiónico orgánico soluble en agua, que es empleado ya sea como coagulante o más aún como coadyuvante de la floculación en el tratamiento del agua potable.

<sup>28</sup> Medicamento usado para tratar ciertas afecciones óseas, como la osteoporosis y la enfermedad de Paget. Asimismo, está en estudio para el tratamiento de la hipercalcemia (concentraciones altas de calcio en la sangre) y el dolor de huesos causado por el cáncer. El alendronato sódico demora el deterioro del hueso y previene la pérdida de calcio.



Fig. 3.1 Elementos por los cuales se desarrollan nuevos productos.

### 3.3 Ciclo de vida del Producto

En la historia de las ventas de los productos se pueden apreciar varias etapas por las cuales el producto requiere de inversión y ofrece utilidades a lo largo de tiempo, estas etapas se pueden identificar en la Fig. 3.2, en la que observamos una tendencia de ventas y otra de utilidades a lo largo del tiempo.



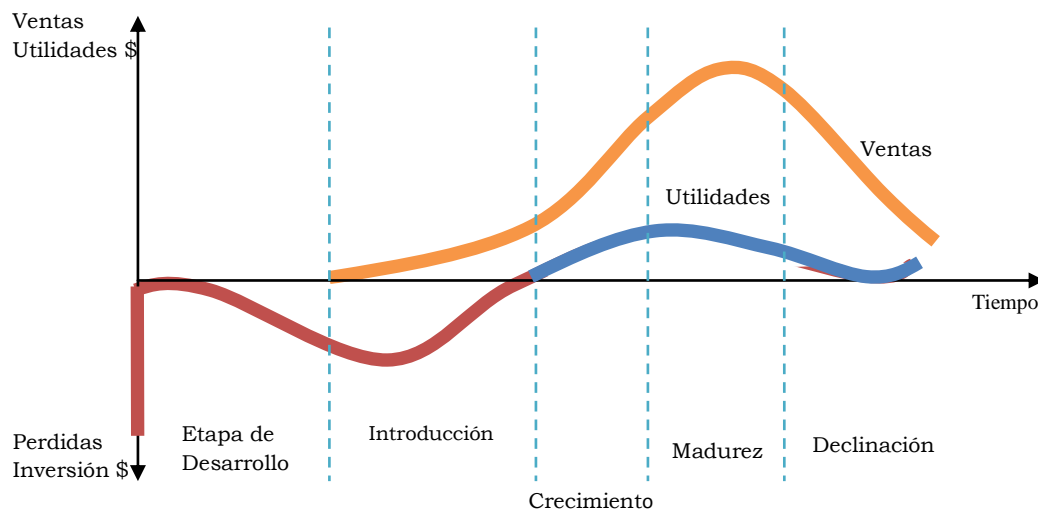


Fig. 3.2 Representación del ciclo de vida de un producto (Roozenburg y Eekels 1995)

En la etapa de Desarrollo cuando la empresa encuentra y desarrolla la idea para un producto nuevo. Durante el desarrollo del producto, no hay ventas y los costos que invierte la empresa se empiezan a acumular.

### 3.3.1 Etapa de introducción del producto

Durante esta etapa del ciclo de vida del producto, este se lanza en el mercado con una producción a gran escala y un programa exhaustivo de mercadotecnia; es cuando el producto es distribuido por primera vez y puesto a disposición de los compradores, la Introducción lleva tiempo y el crecimiento de las ventas pueden ser lento

En esta etapa las utilidades son negativas o bajas por la escasez de ventas y porque los gastos de distribución y promoción son altos. Se necesita mucho dinero para atraer a los distribuidores. Los gastos de promoción son altos para informar a los consumidores sobre el nuevo producto e impulsarlos a que los prueben.

### 3.3.2 Etapa de crecimiento

En esta etapa de crecimiento o aceptación del mercado las ventas crecen rápidamente, los competidores entran en el mercado en grandes cantidades

porque las perspectivas de las utilidades resultan sumamente atractivas. El creciente número de competidores dará lugar a un incremento en el número de distribuidores y las ventas subirán repentinamente porque los revendedores construirán sus inventarios. Los precios permanecerán estables o disminuirán ligeramente. Los productores seguirán gastando lo mismo o un poco más en promoción para mantenerse en la competencia y seguir educando el mercado. Las empresas optan por una estrategia promocional de “Compren mi producto” más que por la de “Pruebe mi producto”

En esta etapa las compañías utilizan diferentes estrategias para sostener el crecimiento rápido; mejoran la calidad del producto y agregan nuevas características y modelos; penetran nuevos segmentos del mercado y abren nuevos canales de distribución; la publicidad cambia.

### **3.3.3 Etapa de madurez**

Esta etapa se caracteriza por la acentuación de la competencia, la disminución de las ventas y la disminución de utilidades, normalmente esta etapa es la más larga que las anteriores en donde en la primera parte de este periodo las ventas siguen creciendo a un ritmo menor, luego tienen a estabilizarse pero disminuye las utilidades del fabricante, es por ello que los retos que se plantea el mercadólogo son mayores porque está tratando con productos maduros, la disminución de las ventas hacen que los productores tengan muchos artículos que vender, a su vez este exceso de capacidad implica mayor competencia. Los competidores empiezan a bajar los precios, incrementan su publicidad y promociones de ventas y a subir sus presupuestos de investigación y desarrollo para mejorar el producto. Estas medidas implican que las utilidades disminuyan. Los más débiles empezaran a salir del mercado y a la larga solo quedaran los que ocupen las mejores posiciones.

Los gerentes del producto no deben contentarse con defenderlo pues una buena ofensiva es la mejor defensa. Entonces tienen que pensar en modificar el mercado, el producto y la mezcla de mercadotecnia.

➤ Modificación del Mercado.

Para incrementar el consumo del producto actual se puede modificar el mercado de la siguiente manera:

- Buscando nuevos usuarios y segmentos de mercado
- Buscando incrementar el uso entre los usuarios del momento
- Buscando re posicionar la marca para atraer un segmento mayor o de crecimiento más rápido.

➤ Modificación del Producto.

También es posible modificar las características del producto, empleando estrategias de mejoramiento de:

- Calidad tiende a incrementar el desempeño del producto-duración, confiabilidad. Esta estrategia es válida cuando la calidad es susceptible de mejorar cuando los compradores creen que ésta ha mejorado y cuando son muchos los consumidores que buscan una mejor calidad.
- Aspecto, añade nuevas características que hacen más útil, seguro o conveniente el producto.
- Estilo tiende a incrementar el atractivo del producto para atraer a los compradores que deseen algo nuevo.

➤ Modificación de la mezcla de mercadotecnia.

También se puede modificar las ventas del producto modificando uno o varios elementos de la mezcla:

- La reducción de precios puede atraer a nuevos usuarios y clientes de la competencia.
- Lanzar una campaña de publicidad más efectiva o utilizar técnicas más agresivas de promoción de ventas como descuentos comerciales o para los clientes, obsequios y concursos.
- Cambiar canales de distribución más amplios a través de comerciantes de tipo masivo, si se está en crecimiento.
- Ofrecer nuevos servicios a los compradores, y mejorar los que ofrece.

### **3.3.4 Etapa de declinación del producto**

A la larga las ventas de casi todas las formas y marcas de productos tienen su final.

La declinación puede ser lenta como en el caso del cereal de avena; o rápida como los juegos de video. Pueden llegar a cero o alcanzar un nivel bajo en que se mantienen durante años.

Razones de la declinación:

- Avances tecnológicos.
- Cambios en los gustos de los consumidores.
- Creciente competencia.

Mantener un producto débil puede ser muy costoso y no solo en cuanto utilidades se refiere, hay muchos costos ocultos: puede exigir mucho tiempo del administrador, frecuentes ajustes de precios e inventarios, atención de los publicistas y vendedores que podría dedicarse con más provecho o hacer saludables otros artículos más productivos. Su pérdida de reputación puede repercutir en la imagen de la compañía y sus otros productos, pero el mayor costo puede ser a futuro, pues la conservación de productos débiles demora la búsqueda de reemplazos, da lugar a una mezcla desequilibrada, influye negativamente en las ganancias del momento y debilita la posición de la empresa para el futuro.

En esta etapa los administradores tienen que tomar decisiones muy importantes al identificar el envejecimiento de los productos:

- Mantener la marca sin modificaciones con la esperanza de que los competidores se retiren y por otra parte puede decidirse re posicionar la marca.
- Segar el producto, es decir reducir varios costos (planta, equipo, mantenimiento, investigación y desarrollo, publicidad, vendedores)

con la esperanza de que las ventas se mantengan en un nivel más o menos adecuado durante cierto tiempo.

- Retirar el producto de la línea y del mercado, en este caso puede venderlo a otra compañía o simplemente liquidarlo a su valor de desecho.

### **3.4 Ingeniería de Producto**

La Ingeniería de Producto es la responsable del proceso de mejora, modificación y desarrollo de nuevos productos, ésta actividad implica manejar cuestiones de costos, capacidad de producción, calidad, rendimiento, confiabilidad, entre otros aspectos relacionados con la satisfacción del cliente. Abarca el ciclo de desarrollo tecnológico, que va desde la investigación de mercado hasta el diseño, pruebas a los componentes que conforman el nuevo producto, hasta la transición a la fabricación del producto.

La ingeniería de producto es la inteligente generación y evaluación de especificaciones de artefactos, de manera sistemática, cuya forma y función cumplen satisfactoriamente los objetivos por los cuales fué concebido. Es la organización, desarrollo y ensayo reflexivo de las características de un nuevo objeto que cumplen con la satisfacción de necesidades mediante la función deseada dentro de ciertos límites. (L. Dym y Little 2004)

#### **3.4.1 Ciclo de Desarrollo del Producto**

##### **3.4.1.1 Preparación**

El diseño es una actividad intelectual en la cual se define un problema, se acota y se trata de resolver mediante la búsqueda de información, su análisis y transformación en otra que represente una solución válida. En el desarrollo de nuevos productos se concentran una serie de actividades mentales para resolver problemas definidos o no definidos; la búsqueda de soluciones puede realizarse por medio de estrategias básicas, entre las que destacan las siguientes:

- Búsqueda hacia delante, que consiste en intentar un método de ataque decidiendo, posteriormente, si hay avances se continua el proceso
- Búsqueda hacia atrás, consiste en contemplar la situación deseada preguntándose cuál es el paso previo para llegar a ella. Luego se continúa con el paso que le precede, siguiendo en pequeños pasos hasta el punto de partida.
- Análisis medios-fines, consiste en comparar una meta secundaria deseada –el fin- con el estado actual de conocimiento. La dificultad se encuentra en hallar el medio –operador- que reduzca la diferencia. Hay dos tipos de operadores, uno son los algorítmicos (fórmulas matemáticas) y los otros operadores son los heurísticos.

### 3.4.2 Fases del proyecto

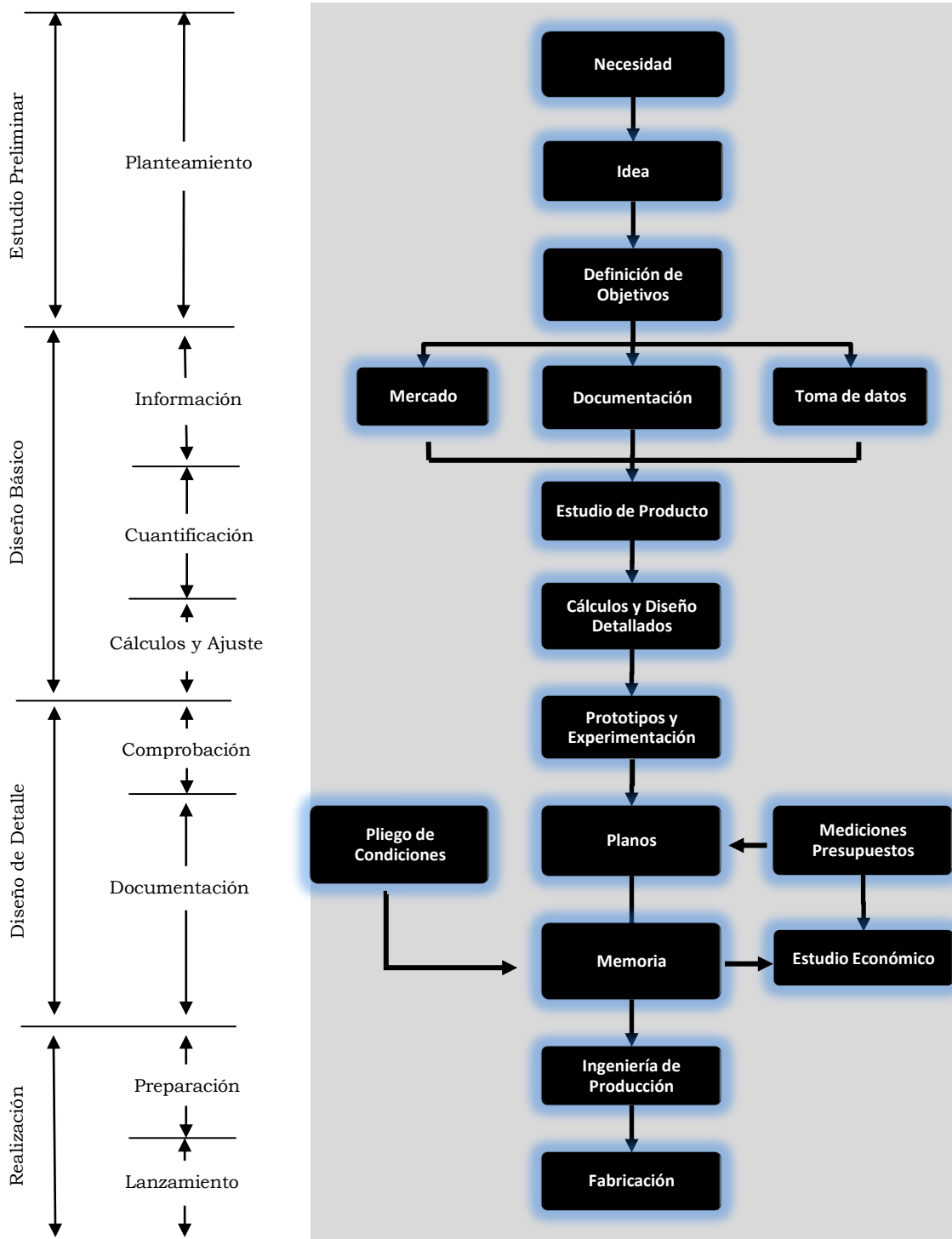


Fig. 3.3 Metodología para un proyecto en la Ingeniería de Producto

### **3.4.2.1 Planteamiento**

El objetivo del Estudio Preliminar es tener la mejor comprensión del proyecto, comprobar si existen soluciones que cumplan los objetivos definidos en el planteamiento inicial y de existir soluciones determinar cuáles son las más viables física, legal, social, económica y financieramente.

Para lograr una definición clara de la importancia, el contenido y de los objetivos del proyecto se emplea una serie de etapas para lograr el Planteamiento. Un proyecto con buen Planteamiento permite un buen comienzo y correcta ejecución de las siguientes etapas. El Planteamiento comprende tres etapas: Necesidad, Idea y Definición de Objetivos.

#### **3.4.2.1.1 Necesidad**

Es la que origina el trabajo de la Ingeniería de Producto, la satisfacción de una necesidad humana. Las necesidades humanas se clasifican en cinco grupos y debes ser saciadas en el orden que propone el Psicólogo Abraham Maslow:

- 1- Necesidades Fisiológicas
- 2- Necesidad de seguridad
- 3- Necesidades sociales
- 4- Necesidades Psicológicas
- 5- Necesidades de Autorrealización

Y éstas se clasifican a su vez en dos grupos; un bloque de las motivaciones de déficit que van dirigidas a establecer el equilibrio originado por la carencia un uno o más de los cuatro primeros estrados, y otro bloque de las motivaciones del crecimiento, las cuales satisfacen las necesidades de autorrealización, para expandir la propia personalidad.

Estas necesidades pueden ser vistas desde muchos ángulos, por ejemplo para determinadas sociedades puede verse una necesidad fisiológica como lo es la alimentación como una simple deficiencia vitamínica, para otra sociedad como hambre y para otra como alimentos que no desea y quiere otros. Es



indispensable saber el tipo de sociedad a la que se lanzará el producto pues depende mucho del éxito de éste.

Para una fácil identificación de las necesidades de los clientes, generalmente, se siguen 4 pasos:

- 1- Recolección de los datos brutos de los consumidores, empleando técnicas como entrevistas, grupos focales, exploración del contexto de uso del producto, etc.
- 2- Interpretar los datos brutos en términos de necesidades del cliente.
- 3- Organización de las necesidades por jerarquía ya sea en lista, diagrama de analogías o diagrama de árbol. Identificando necesidades primarias, secundarias y sucesivamente.
- 4- Establecer la importancia relativa de las necesidades, ya sea expresándola en peso numérico o empleado el método de Kano.

Las necesidades de una empresa que dan origen a emprender el desarrollo de un proyecto son consecuencia de:

- Una disminución de los beneficios o descenso en las ventas de un producto.
- Una mejora de los productos de la competencia por su mayor calidad o su menor precio.
- La aparición de nuevos procesos de fabricación, nuevos sistemas o mejoras de los existentes
- Un aumento en las ventas o en los beneficios que aconseja abrir nuevos mercados, diversificar productos o crear otros nuevos.

#### **3.4.2.1.2 Idea**

Una vez exploradas las necesidades de los consumidores se pasa a la generación de ideas, que se basa en gran medida en la imaginación, creatividad y capacidad para integrar datos de diversas fuentes. La idea es la respuesta para satisfacer una necesidad, aunque en realidad toda idea es una propuesta a la solución del problema a veces surge antes de que se haya identificado alguna necesidad.

El proceso mental por el cual partiendo de un problema se llega a una solución puede concebirse en cuatro pasos propuestos por el profesor de matemáticas G. Poyla:

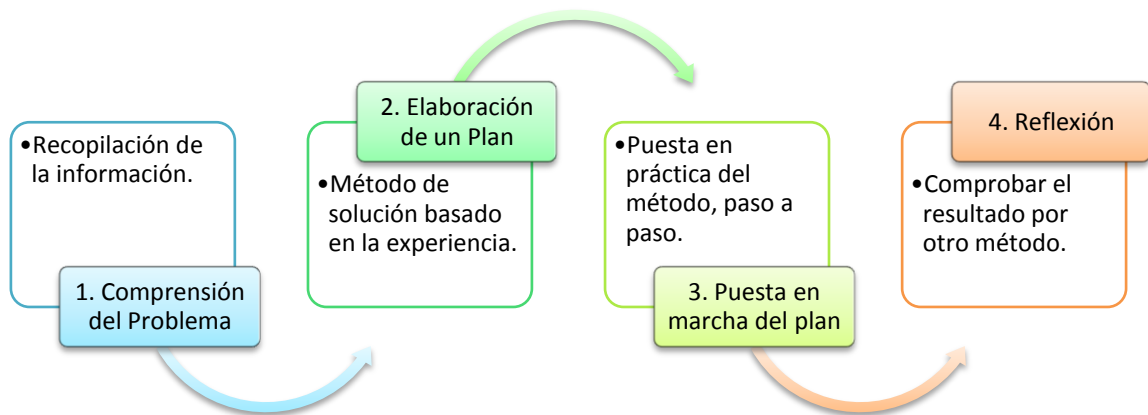


Fig. 3.4 Etapas del proceso mental para solucionar problemas.

La teoría de la escuela Gestalt distingue dos tipos de pensamientos, uno basado en la solución de problemas mediante la experiencia pretérita, llamado reproductivo, y otro, basado en la creación de nuevas soluciones por reordenamiento de elementos, denominado productivo.

J. P. Guilford, identifica dos tipos de pensamiento, uno convergente en el cual todo se orienta hacia una sola respuesta y el pensamiento divergente que se orienta en muchas direcciones y es el más empleado para la solución creativa de los problemas.

Hay principalmente tres tipos de pensamientos para la generación de ideas creativas, en las que se basan las técnicas de generación de ideas y son:

- Reducción del problema, examina las partes, características y funciones de un problema e intenta resolver el problema modificando una o varias de las anteriores. Es un pensamiento reduccionista que solo ve las características del problema y no ve más allá de él.
- Expansión del problema, ve más allá de del domino inmediato del problema y es el tipo de pensamiento que aporta perspectiva general del problema y brinda una amplia gama de soluciones al problema.
- Digresión del problema, se aleja del dominio del problema por la inspiración, y se centra totalmente en el pensamiento lateral. Algunas

técnicas empiezan con el problema original y usan métodos de digresión para estimular el pensamiento lateral para alejarse del problema. Otras empiezan con un estímulo que no tiene nada que ver con el problema y trabajar desde ese punto para llegar al problema.

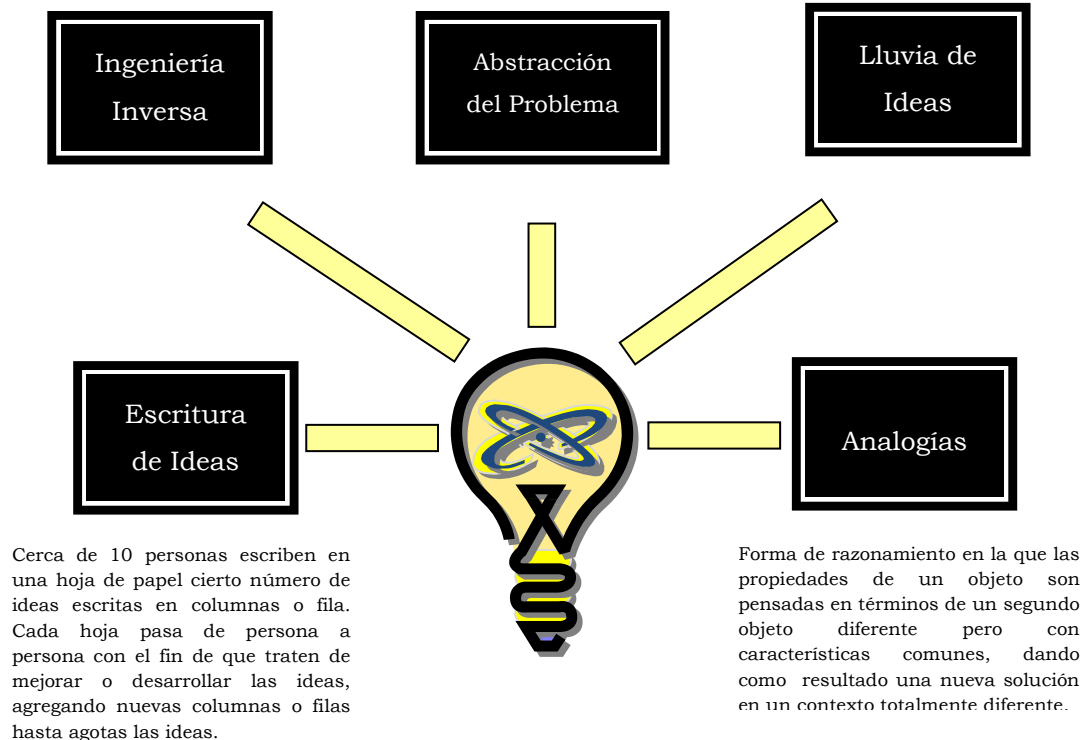
Algunas herramientas útiles para la generación de ideas pueden ser:

- Ingeniería Inversa
- Lluvia de Ideas
- Pensamientos Escritos
- Analogías
- Análisis paramétrico

Se parte de un producto ya existente, identificando su estructura, función, operación y conceptos de diseño; identificando sus debilidades y fortalezas, para rediseñar, mejorando sus debilidades, y haciendo mejores sus fortalezas. El nuevo producto debe ser superior al de la competencia.

Propone reducir un problema hasta sus elementos básicos, estableciendo los objetivos y sus limitaciones. Todo empieza con una simple oración del problema y preguntándose ¿Por qué? Se quiere resolver y la respuesta es nuevamente cuestionada por un ¿Por qué? hasta alcanzar el objetivo final de la compañía.

Técnica grupal empleada para la generación de ideas originales para la solución de un problema, parecería una herramienta sencilla pero requiere de una buena preparación y durante la sesión los participantes deben divertirse mientras proponen ideas para la solución del problema.



Cerca de 10 personas escriben en una hoja de papel cierto número de ideas escritas en columnas o fila. Cada hoja pasa de persona a persona con el fin de que traten de mejorar o desarrollar las ideas, agregando nuevas columnas o filas hasta agotar las ideas.

Forma de razonamiento en la que las propiedades de un objeto son pensadas en términos de un segundo objeto diferente pero con características comunes, dando como resultado una nueva solución en un contexto totalmente diferente.

Fig. 3.5 Herramientas para la generación de Ideas

Si bien es cierto que la mente humana es compleja, y trabaja como lo señala Jones, como una caja transparente (pensamiento convergente, reproductivo, de ensayo y error) o, como una caja negra (pensamiento divergente, productivo, creativo).

El número de ideas que se generan para enfrentar un problema pueden ser muchas pero muy pocas terminan por llevarse a cabo por diversas razones, entre las cuales tenemos:

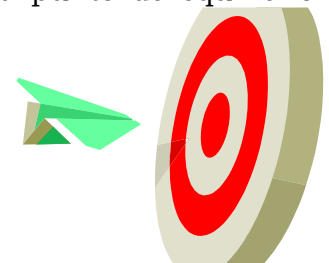
- No es rentable.
- Recursos financieros no disponibles.
- Impacto Ambiental no deseable.
- No cumple leyes y/o normas existentes.
- No es posible desde el punto de vista tecnológico.
- No mejora alguno o algunos de los factores fundamentales de diseño.

#### **3.4.2.1.3 Definición de Objetivos**

Los objetivos representan lo que se espera alcanzar en el futuro, los fines a los cuales se dirigen las actividades. También son útiles para delimitar el problema y señalar las pautas de lo que se habrá de fabricar para cubrir las necesidades de la etapa inicial. Su definición debe ser clara, medible y observable.

La definición de objetivos debe delimitar perfectamente la viabilidad técnica, económica y humana, siempre buscando el equilibrio entre ellos, de tal manera que si el producto resultante no satisface plenamente las necesidades iniciales lo haga en una medida suficiente para que:

- El usuario adquiera el producto
- La empresa realice la inversión necesaria y llegue al punto de equilibrio económico en un plazo adecuado
- La calidad sea competitiva
- La sociedad se vea beneficiada



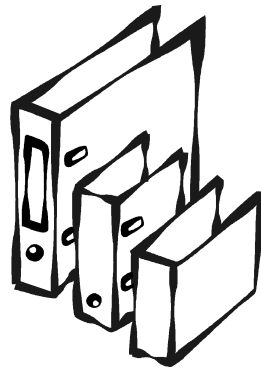
### 3.4.3 Información

Entramos en la parte del proyecto en la cual se definen el perfil del producto y se suministra la información necesaria para poder tomar la decisión de llevar a cabo el proyecto o paralizarlo, en el diseño de detalle ha de tomar datos precisos para realizar cálculos detallados de los componente y partes del producto.

La búsqueda de la información es vital para el proceso de solución de problemas, constituye un recurso recurrente en todo el proceso del proyecto y su interpretación y ejecución determinará el éxito.

La búsqueda de información influirá en:

- Calidad final del proyecto
- Viabilidad tecnológica
- Economía del proyecto
- Tiempo de realización
- Rentabilidad



La información puede ser colectada por medio de: mercados, documentos o la toma de datos.

#### 3.4.3.1 Mercados

Gracias a este estudio de mercado se puede conocer el tamaño conveniente del proyecto, refiriéndose al número de unidades y el tiempo que deben fabricarse para obtener una rentabilidad optima. Por medio de este estudio se llega a determinar:

- Tamaño del proyecto
- Proceso de fabricación más adecuado
- Localización de los mercados de consumo
- Localización de los centros de producción
- Precios de materias primas
- Situación económica del sector
- Impacto del producto en el mercado

El trabajo de recolección de esta información no suele llevarse a cabo por la ingeniera de proyectos, en especial en los casos en los que se necesita información muy especializada que requiere de mercados muy específicos.

### **3.4.3.2 Documentación**

Es la información que tiene relación directa con el proyecto y que incluso puede estar en posesión de la ingeniería antes del proyecto. La búsqueda de información relacionada con el problema y las fuentes pueden ser:

- Libros y Revistas
- Catálogos
- Normas y Leyes
- Enciclopedias y “Abstracts”
- Proyectos
- Estudios previos

### **3.4.4 Cuantificación**

Siguiendo con el proceso de la Ingeniería de Producto, se tiene que transformar la información, en esta etapa se hace un estudio del producto. En esta fase aparte de analizar, y sintetizar, se toman grandes decisiones, tomando en cuenta toda la información y aplicación de métodos idóneos para una toma de decisión con la máxima certidumbre y el riesgo medido.

#### **3.4.4.1 Estudio del Producto**

El estudio del producto viene a sentar las bases para la dirección adecuada del proyecto pues se selecciona la idea que satisface la necesidad a cubrir, se realiza una simulación para obtener una visión más clara de la solución e identificar posibles inconsistencias en la idea seleccionada. Para ello en esta etapa se tienen:

##### **3.4.4.1.1 Selección**

Una vez que se han desarrollado las ideas para solucionar el problema dado, referente a la necesidad, se puede tener un escenario en el cual solo

exista una sola solución con la cual ya se tiene un planteamiento bien definido, pero en el caso de que se tenga más de una solución, se debe elegir la mejor de las soluciones que cumpla lo mejor posible con los objetivos definidos. La comparación de las soluciones suele ser una tarea compleja porque no suele haber grandes diferencias de valor entre una y otras, por lo que es necesario contar con toda la información posible relacionada con el problema.



La selección de la solución debe incluir las siguientes actividades:

- Señalar los factores que han de influir en la selección de la solución.
- Determinar ventajas e inconvenientes de cada factor respecto a la solución.
- Verificar la viabilidad para llevar a la práctica cada una de las soluciones.
- Analizar y jerarquizar la influencia de cada solución con los objetivos del proyecto.
- Justificar que la solución que se elige es la mejor.

Hay técnicas para lograr identificar la solución, la mayoría se basa en la cuantificación de criterios basados en características del producto, su viabilidad financiera, de producción, ect., uno de esos métodos es el desarrollado por Stuart Pugh en la cual se elabora una matriz en la cual se establecen los criterios de evaluación contra las soluciones.

#### **3.4.4.1.2 Modelización**

Una manera de comprobar que la solución es la adecuada y válida es desarrollarla, para ello se requiere de medios que permitan conocer las dificultades de un proyecto antes de que se construya, éstos medios son usados por los ingenieros que utilizan modelos como instrumentos de simulación, realizando dibujos, prototipos, maquetas, etc. para de alguna manera visualizar el futuro producto el cual es la respuesta del problema.

Existen tres tipos de modelos, indicados por T. Woodson:

- Icónicos – permiten el planteamiento y solución de problemas mediante la representación visual, estableciendo relaciones entre elementos y síntesis de éstos que conduzcan a la construcción del conjunto. Éstos forman un código técnico de transmisión de información que se basa en la ciencia, el dibujo y normas de símbolos y líneas. Los principales modelos icónicos se relacionan con el estudio de las formas, las proporciones, problemas geométricos, etc.
- Analógicos - se utilizan para simular el comportamiento de un sistema, de difícil estudio directo, mediante otro sistema que pueda reproducir las características y circunstancias del primero en condiciones más sencillas. Éste tipo de modelación permite simular el comportamiento, determinar resultados numéricos, utilizar diversos fenómenos que sugieran nuevas áreas de investigación e intercambiar variables y parámetros a voluntad.
- Simbólicos – son abstracciones de las partes relevantes y cuantificables de un problema. Estos modelos son la representación matemática del problema para obtener la solución óptima y están limitados por la capacidad de resolver matemáticamente el problema.

#### **3.4.4.1.3 Análisis**

Ya que se ha modelado, se prosigue al análisis de sensibilidad del propio modelo formulado, el cual tiene diversas variables, parámetros y restricciones de incidencia en el problema y que cualquier pequeña variación de los factores pueden producir cambios importantes en la respuesta mientras que otros factores lo harán de manera significativa. El análisis de la estabilidad para identificar las posibles causas de inestabilidad y los componentes afectados, ante el comportamiento previsto, proponiendo soluciones correctivas. Finalmente el análisis de compatibilidad en el cual se determinan los componentes o sistemas que componen el producto y si éstos tienen el desempeño previsto en conjunto sin alterar uno a otros.

#### **3.4.4.1.4 Síntesis**

Una vez seleccionada, modelada y analizada la idea para la solución del problema se hace el acoplamiento de la información que se va recabando en



forma de soluciones a las distintas partes del proyecto. La síntesis se realiza mediante un “feed-back” rápido de todas las etapas del anteproyecto, con un conocimiento mayor, claro y específico de la solución.

### **3.4.5 Cálculo y Ajuste**

Esta es la última etapa del proyecto básico y contiene un fuerte contenido tecnológico, comprendiendo todas las operaciones de cálculo y ajuste necesarias hasta su último detalle;

### **3.4.6 Comprobación**

Esta actividad del proyecto abre la etapa del diseño detallado, en esta se trata de confirmar y avalar o corroborar los supuestos, desarrollo y conclusiones del bloque de diseño básico. Esta actividad se refiere a la experimentación del prototipo.

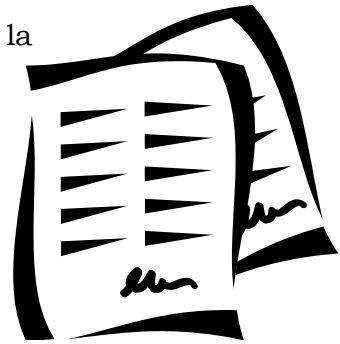
#### **3.4.6.1 Prototipos y Experimentación**

Se procede a la elaboración de un prototipo del producto o alguno de sus componentes y se lleva a cabo mediante procesos de fabricación diferentes a los previstos como definitivos, la elaboración del prototipo facilita:

- El estudio del buen funcionamiento del producto y/o de alguno de sus componentes
- La conjunción de todos sus elementos
- Análisis y definición de los procesos de fabricación y de las características de sus componentes
- Estudio de la estética del producto
- Análisis de valor, tendente a la mejora de la rentabilidad económica y la normalización de sus componentes
- Estudio de la comercialización
- Trabajos de investigación
- Presentación del producto a posibles clientes

### **3.4.7 Documentación**

Los documentos del proyecto son el reflejo de la transformación de información, el esfuerzo y la expresión de las soluciones encontradas. Los documentos son el elemento más importante para la comunicación, son la base para el entendimiento de todos los involucrados en el producto: cliente, ingeniería, constructor, fabricante, técnicos de obra, administración, etc.



Los documentos en ingeniería se concretan en 4 documentos: Memoria, Planos, pliego de condiciones, y mediciones de presupuesto. Si bien es cierto que cada uno de éstos se genera a lo largo de la proyecto, se concretan en la etapa de diseño de detalle y cada uno guarda dependencia con otro.

#### **3.4.7.1 Planos**

Son la representación gráfica del proyecto y son dibujos, esquemas, figuras, perspectivas que ayudan a la comprensión visual en el que están implícitos los cálculos, hipótesis, estimaciones, comprobaciones y objetivos marcados.

#### **3.4.7.2 Pliego de condiciones**

En éste documento se engloban todos los aspectos legales del proyecto y establece las condiciones por las que ha de regirse la ejecución y puesta en marcha.

En el pliego de condiciones se establecen:

- Características de los materiales que intervienen en el proyecto
- Técnicas a emplear en la ejecución
- Controles de calidad
- Normas y leyes por las que se rige el proyecto
- Condiciones de los contratos

### **3.4.7.3 Mediciones de Presupuestos**

La cuantificación de las obras a realizar se engloba en este documento seccionado en dos partes, una en la que se establecen las unidades de obra del proyecto y en una segunda el valor total de la inversión.

### **3.4.7.4 Estudio Económico**

Partiendo del presupuesto de inversión, y mediante indicadores económicos se determina la rentabilidad del proyecto. Propiamente no es un documento pero forma parte de importante de la memoria.

### **3.4.7.5 Memoria**

La memoria comprende una parte descriptiva de todo lo que se ha de hacer y otra justificativa de las decisiones tomadas que se anexan en los cálculos. En resumen relata el contenido y en qué consiste el proyecto.

### **3.4.8 Preparación**

Una vez que el concepto del producto ha evolucionado desde una idea ha una definición funcional y hasta un prototipo, se tiene que tomar la decisión sobre si el diseño del producto se puede llevar a producción en volumen. En esta fase del proyecto entra la ingeniería de Producción.

#### **3.4.8.1 Ingeniería de Producción**

Ya determinado que el producto es viable para producción desde el punto de vista de materiales, diseño, rendimiento, desempeño, etc. se pasa a la planeación del proceso de producción en la cual se establecen los procedimientos necesarios para la fabricación en serie del producto de manera óptima, eficiente y rentable en aspectos económicos, energéticos, materiales y humanos.

La ingeniería de producción toma en cuenta la cantidad necesaria de producción para diseñar el proceso mediante el cual se elaborará el producto, tomando en cuenta la localización de la planta, capacidad, maquinaria, materia prima, tecnología, mano de obra, energía, servicios, organización, que

se cumpla con los estándares de calidad mediante prueba y ensayo del producto obtenido, seguridad de los procedimientos y factores externos.

### **3.4.9 Lanzamiento**

Una vez que se ha determinado el proceso de producción, resta poner en marcha la manufactura del producto y su introducción al mercado.

#### **3.4.9.1 Fabricación**

En esta actividad de la etapa de Realización se materializa la idea, esquemas, formulas e información a máquinas, personas y materiales.

Una vez que la planta de producción está lista para operar y que ya se realizaron pruebas de comportamiento del sistema con el fin de identificar y corregir todos los defectos en el sistema de producción no resta más que el proceso mercadológico del producto.

(Gómez-Senent Martínez 1997)

# 4

## EL INGENIERO QUÍMICO Y LA INGENIERÍA DE PRODUCTO

*Errare humanum est: Perseverare diabolicum.*

< Errar es humano, caer en el mismo error diabólico.> Séneca

*Cogito ergo sum*

<Creo luego existo.> Descartes

### **4.1 Historia del concepto de Ingeniería de Producto Químico**

El surgimiento de la Ingeniería de Producto Químicos viene de la necesidad de formalizar el diseño de productos elaborados de manera empírica a una forma científica y en Marzo del año de 1995 se emplea el término ingeniería de formulación para designar a la disciplina concerniente al diseño de productos con propiedades deseadas en el artículo “Future challenges in Chemical Engineering research” por Villermaux. En Noviembre de 1996 se celebra la conferencia “Putting structure into Chemical Engineering”, en la cual se identifica la necesidad de incorporar Ingeniería de Producto en el mapa curricular de la Ingeniería Química. Para Enero y Junio del año 2000 Cussler y Westerberg hacen referencia a cursos impartidos sobre Diseño de Productos Químicos. Y es hasta el año de 2001 que en el mes de Mayo se publica el libro “Chemical Product Design” por Cussler y Moggridge, siendo ésta publicación la primera en su género. El primer Simposio Europeo en Ingeniería de Producto es llevado a cabo en Septiembre del 2003 dentro del 4º Congreso de Europeo de Ingeniería Química y un año más tarde se lleva a cabo el segundo Simposio pero esta vez de manera autónoma y con el nombre de Segundo Simposio Europeo en Tecnología de Producto.

Algunos autores consideran la historia de la Ingeniería Química en dos paradigmas, el primero con las operaciones unitarias y el segundo, fenómenos de transporte; y algunos otros autores consideran que la Ingeniería de Productos Químicos podría ser un tercer paradigma dentro de la disciplina.

Aunque se han hecho esfuerzos para definir el alcance de la Ingeniería de Producto dentro de la Ingeniería Química no hay unanimidad aún pues el campo es amplio y el desarrollo en muchas direcciones, la estructuración es esencial para su aceptación con carácter autónomo y dentro de la disciplina de la Ingeniería Química. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)

#### 4.2 Estructura de la Ingeniería de Producto Químico

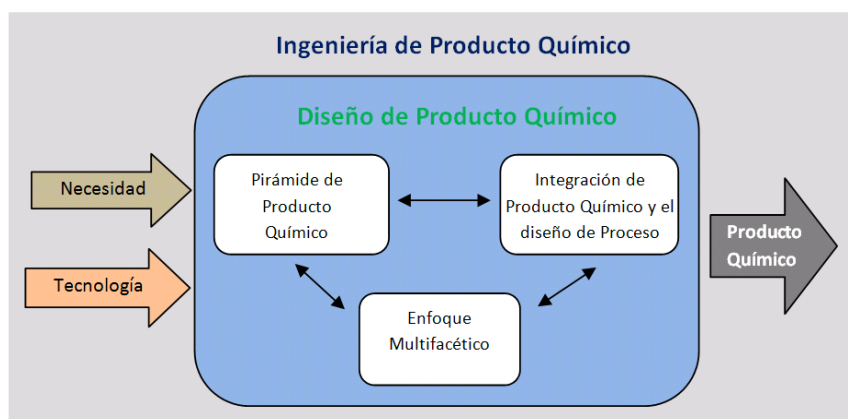


Fig. 4.1 Estructura de la Ingeniería de Producto Químico. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)

Costa y Moggride en su artículo “Chemical Product Engineering: An Emerging Paradigm With Chemical Engineering” proponen un modelo de la estructura de la Ingeniería de Productos Químicos (Figura 4.1) en la cual primero se debe hacer una distinción entre los conceptos de Ingeniería de Producto Químico y Diseño de Producto Químico, pues a menudo suelen tomarse como equivalentes y no es así, el primer concepto es toda la ciencia y arte de crear productos químicos, es todo el cúmulo de conocimientos y práctica que sustenta al segundo concepto, el cual es una parte concreta y operacional que convierte las necesidades del consumidor y las nuevas tecnologías en productos químicos.

Los productos consisten de átomos, iones y moléculas, y en conjunto constituyen una entidad física. El diseño de productos se encarga del uso y control de los principios físicos que permiten que todos los átomos, iones y moléculas se conviertan en algo más que su simple suma. La ingeniería de Producto permite que los principios físicos o fisicoquímicos eleven el valor de los productos. (Kind, 1999)

El diseño de un nuevo producto químico involucra la incorporación de propiedades, proceso y el uso de funciones (sistematizadas en la pirámide de producto químico). Esto debe ser complementado con el diseño del proceso de manufactura y la incorporación efectiva de todos los factores requiere de un enfoque multidisciplinario.

### 4.3 Pirámide de Producto Químico

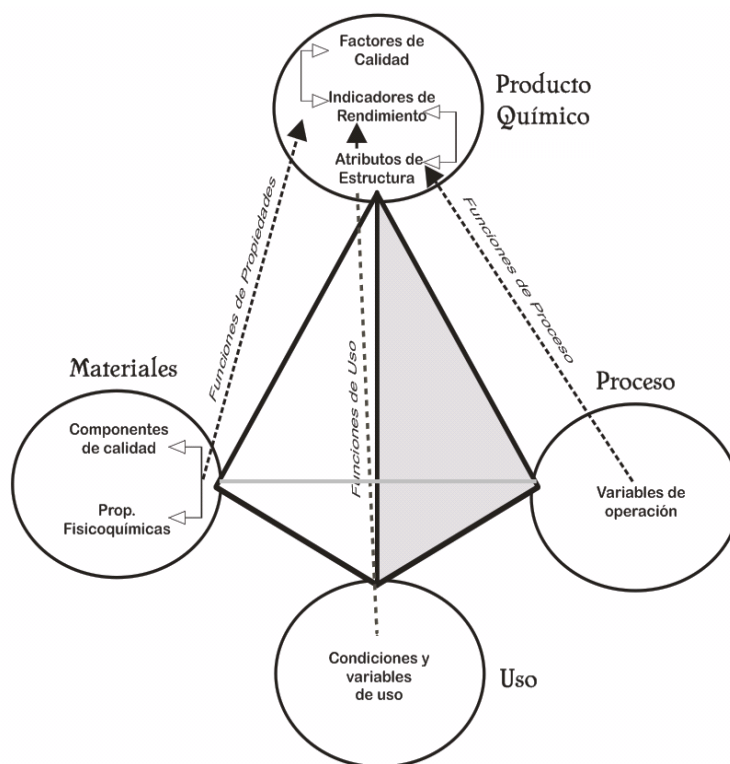


Fig. 4.2 Pirámide de Producto Químico. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)

Algo que sucede frecuentemente es que los consumidores no evalúan un producto mediante especificaciones técnicas, si no por sus propiedades físicas y características de rendimiento, las cuales se usan para caracterizar y

expresar la calidad del producto con lo cual tenemos parámetros que nos ayudan a modelar los productos y se les llama indicadores de rendimiento que dependen de tres factores principales:

1. Composición y propiedades fisicoquímicas de los materiales del producto
2. Estructura del producto, que depende de la manufactura y proceso
3. Las condiciones de uso del producto

La estructura deseada en el producto requiere de la selección y combinación de los ingredientes apropiados. La relación entre las variables de proceso y los atributos de estructura pueden ser cuantificados por una función de proceso, con la finalidad de ver la dependencia de la calidad de la estructura del producto químico y las condiciones del proceso.

Además de la composición, estructura y propiedades del producto, las circunstancias y el ambiente en el cual se desempeña el producto químico afectan las cualidades del mismo y éstas no pueden ser controladas directamente, por ello se deben tener en consideración esos factores en el diseño del producto empleando funciones de uso que relacionen los indicadores de rendimiento con las variables de uso del consumidor y el ambiente en el cual se desempeña el producto.

Es importante conocer y comprender muy bien los fenómenos inherentes al producto químico para obtener análisis detallado y un buen moldeamiento mediante la función de propiedad, la función de uso y la función de proceso. Estas funciones están soportadas con conocimientos sólidos de física, química, fisicoquímica, fenómenos de transporte, estadística, etc.

El propósito de la pirámide de producto químico es mostrar la relación del diseño de producto con las propiedades fisicoquímicas del material, las variables del proceso, los atributos de la estructura del producto, las variables de uso y los indicadores de calidad; y como la conjunción de éstas nos permite un análisis completo para la modelación del producto ya sea para el desarrollo de un nuevo producto o la mejora de uno existente mediante el empleo de funciones bien estructuradas y fundamentadas en modelos científicos. La



ingeniería de producto precisamente se encarga de desarrollar funciones de proceso, funciones de propiedades, y funciones de uso para su aplicación, por medio de la simulación y optimización, del diseño y manufactura de productos químicos con propiedades deseadas por los consumidores. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)

Como ejemplos de factores de calidad, se presentan en la Tabla 3, los referentes a productos solidos (Kind, 1999)

Tabla 4.1. Algunos factores de calidad

|  |  |
|--|--|
| Propiedades de color                       | Redispersión de granulos               |
| Sabor, olor, textura                       | Estabilidad y reología de suspensiones |
| Brillo de la superficie                    | Resistencia al desgaste                |
| Liberación retardada de sustancias activas | Manipulación libre de polvo            |
| Desintegración                             | Tendencia a la explosión de polvo      |
| Biodisponibilidad                          | Flotabilidad, aglomeramiento           |

#### **4.4 Integración de producto químico y diseño de proceso**

Existe la idea de que la ingeniería de producto y la ingeniería de proceso son disciplinas completamente independientes, pero en realidad están muy relacionadas una con la otra y deben verse desde una perspectiva integral. El producto de ingeniería química se encarga de la conversión de la necesidad del consumidor y la tecnología en productos, pero esto no sería posible sin el diseño de proceso, pues las características del producto están íntimamente ligadas al proceso, por lo que es lógico hacer una integración del producto químico y el diseño del proceso. (Costa, Moggride, & Saraiva, 2006)

El enfoque sistemático del diseño del proceso incluye: el diseño conceptual, diseño básico diseño a detalle, la procura y la construcción; etapas que han resultado ser muy útiles para el diseño de plantas industriales para sustancias químicas de comodidad, pero no es viable el proceso de diseño de proceso para productos químicos. Los productos no suelen estar bien definidos

en términos físicos, y la rapidez con la que son desarrollados, producidos e introducidos al mercado son factores clave para el éxito del producto. En el diseño de proceso se prefiere la optimización, la velocidad pasa a tomar otro lugar no predominante.

#### **4.4.1 Ingeniería de Proceso Versus Ingeniería de Producto**

Los temas de diseño de proceso y diseño de producto causan controversia y son comparados por Coutinho en su artículo “Process engineering versus Product engineering A case Study on Volatile Organic Compounds Removal”; la necesidad planteada es impuesta por una nueva legislación ambiental y se requiere que la compañía reduzca los componentes orgánicos volátiles (VOC's) presentes en los efluentes dentro de los límites legales permitidos, cuidando la facilidad técnica y económica, con la posibilidad de re-usar el solvente.

La empresa en cuestión pertenece a la industria textil y en uno de sus procesos utilizan el xileno como agente dispersante para un recubrimiento superficial de estereato de zinc sobre la tela, el xileno se evapora por un flujo de aire ambiental a razón de  $7500 \text{ mgC/m}^3$ , concentración cincuenta veces mayor que la permitido par la legislación.

El enfoque tradicional de la ingeniería de proceso se ofrece las posibilidades de la absorción regenerativa y la incineración, aunque la ultima no permita una recuperación del solvente puede ser de interés económico por la generación de aire caliente para hornos de secado; aparte se consideran la criocondensación y recirculación de membrana, que son técnicamente viables pero no atractivas económicamente.

Ahora desde la perspectiva de la ingeniería de producto y se propone eliminar por completo los solventes del proceso en lugar de limpiar los efluentes; se propone la sustitución del xileno por agua como solvente, siendo más barato y menos inofensivo. Lo siguiente es encontrar un agente dispersante que no afecte el proceso textil y que mantenga las especificaciones finales de la tela.

Según lo reportado en la literatura se podrían usar como agentes dispersantes los basados en PEG y esteres de PEG, pero sus valores de HLB (Balance Hidrofilico-Lipofílico) están por debajo del requerido y poseen alta viscosidad, por lo cual se buscaron otros dispersantes iónicos y no iónicos con altos valores de HLB tomando en consideración parámetros de estabilidad de a dispersión, la viscosidad, características reológicas, cantidad necesaria para lograr la estabilidad de la dispersión, la formación de espuma, la disponibilidad comercial y su costo. Después del estudio se encontró un dispersante provisto por Univar Iberia S.A., denominado DFA, el cual tiene bajo costo disponibilidad comercial y permite la preparación de la dispersión acuosa del estereato de zinc con una pequeña cantidad de agente dispersante.

La decisión sobre la mediada a seguir, para resolver el problema, está basada en un análisis económico reportado por Peters and Timmerhaus (1991), siendo los costos de operación para el proceso de absorción mayores que para el proceso de incineración, aunque la absorción ofrece mayor remoción del componente orgánico volátil y permite su recuperación (Tabla 4.2). En cuanto a la nueva formulación de la dispersión reduce los costos y elimina el uso de xileno en el proceso (Tabla 4.3). (Coutinho, Vilela, Pereira, Pessoa, Santos, & Kontogeorgis, 2005)

Tabla 4.3 Análisis económico para la instalación de un proceso de Adsorción en la recuperación de Xileno. (Coutihno, Viela, Pereira, Pessoa, Santos, & Kontogeorios, 2005)

|   |         |
|---|---------|
| Inversion total de capital €              | 200 000 |
| Valor Presente Neto €                     | 150 000 |
| Taza interna de retorno %                 | 35      |
| Periodo de recuperación del capital, años | 2.8     |

Tabla 4.3. Comparación entre los costos anuales de la formulación original con xileno y la nueva formulación acuosa (Coutinho, Vilela, Pereira, Pessoa, Santos, & Kontogeorgis, 2005)

|                              | Formulación original /€ | Formulación DFA /€ |
|------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Costo Anual                  | 150 000                 | 70 000             |
| Costos Anuales capitalizados | 90 000                  | 40 000             |

#### 4.5 Enfoque multifacético

La calidad de los productos químicos depende de sus componentes y microestructura a escala nano y micro, así también de las escalas meso y macro involucrados en el proceso de manufactura y distribución.

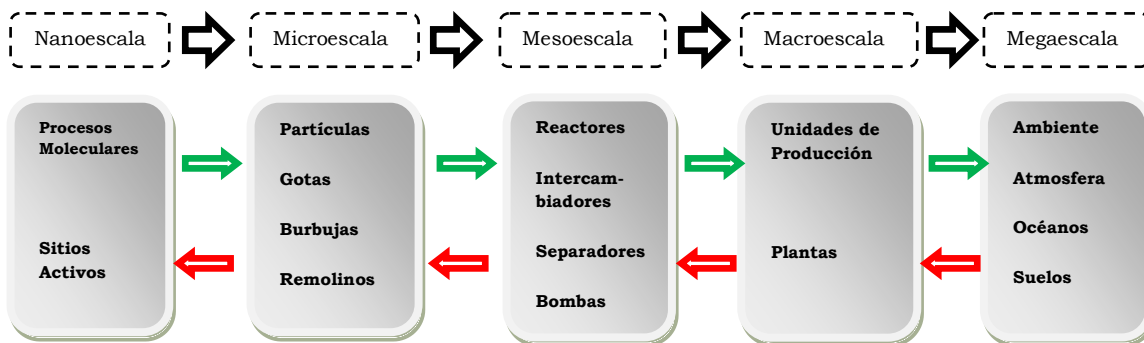


Fig. 4.3 Escalas involucradas en la manufactura y suministro de productos estructurados. (Charpentie 2002)

Recientemente la disciplina ha enfocado sus esfuerzos en la interpretación de las leyes fenológicas y modelos que expresan las propiedades, proceso y funciones de uso, para poder usar la tecnología a favor de la generación de productos comerciales. Se requiere de la comprensión de la relación entre el funcionamiento macroscópico y las propiedades microscópicas, y la habilidad de sintetizar problemas sobre escalas y tiempos que abarcan varios órdenes de magnitud.

La implementación de la ingeniería de producto químico requiere la integración y expansión de la disciplina en temas como reología, ciencia de los materiales, tecnología de polvos, etc.; así como un equipo multidisciplinario.

La ingeniería de producto tiene mucho por recorrer y desafíos que enfrentar, dentro de los cuales encontramos:

- El desarrollo de herramientas para convertir las necesidades de los consumidores en especificaciones técnicas
- Modelar y optimizar propuestas para el diseño de productos químicos
- Capacidades predictivas de propiedades físicas

#### 4.6 Proceso del Diseño de Productos Químicos

Cómo ya se ha advertido anteriormente, no existe equivalencia en los conceptos de Ingeniería de Producto y Diseño de Producto, pues aunque ambas requieren de una metodología, ésta no es la misma aunque sean parecidas.



Fig. 4.4 Pasos para el diseño de producto químico, (Cussler & Moggridge, 2001)

Cussley y Moggridge han propuesto cuatro pasos para el diseño de productos químicos, los cuales son:

- 1) Necesidad.** Las necesidades del consumidor debe ser puesta desde un punto de referencia y convertir las necesidades cualitativas en especificaciones técnicas.
- 2) Ideas.** El siguiente paso será proponer ideas encaminadas a solventar la necesidad de los consumidores.
- 3) Selección.** Ya que se han generado las ideas, ahora se debe seleccionar la mejor idea tomando en cuenta muchos factores que minimicen el fracaso.
- 4) Prototipo.** Finalmente se construye el prototipo, y se estiman los costos involucrados. Se empieza la manufactura del producto de ser exitoso el prototipo.

#### 4.7 Herramientas en el Diseño de Producto

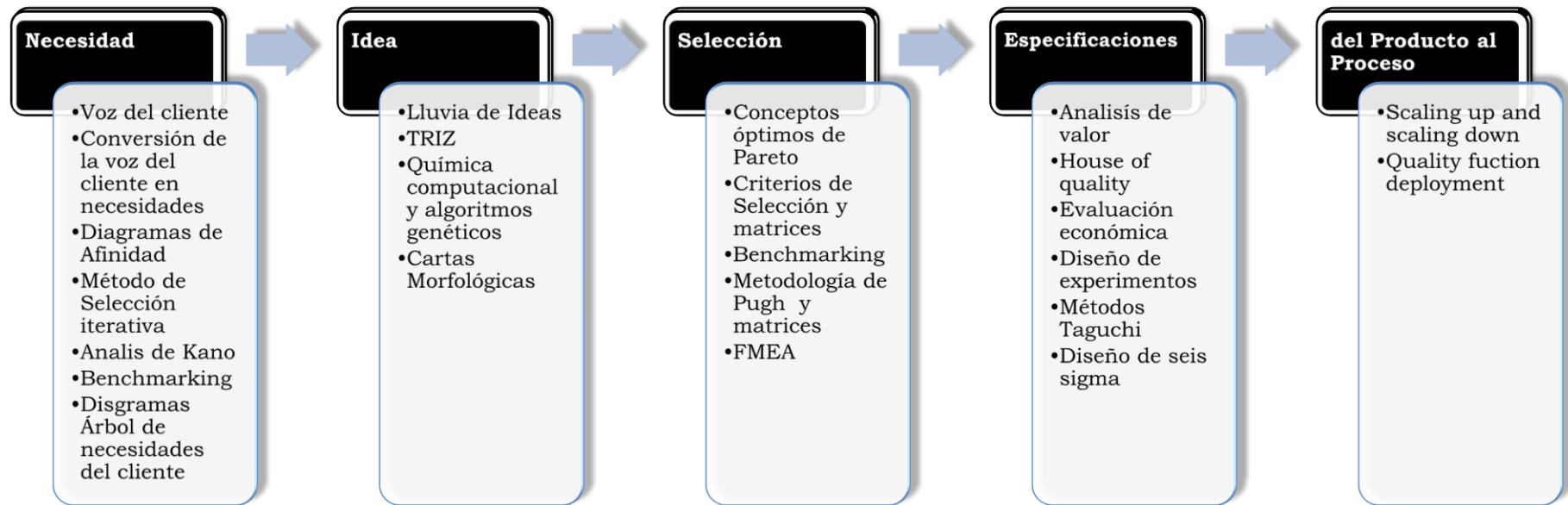


Fig. 4.5 Herramientas para cada una de las etapas involucradas en el proceso de diseño de Producto. Basado en el curso de Diseño de Producto Químico impartido en la Universidad de Cimbra.

#### 4.8 Ingeniería de Producto Verde

Cuando se publicó en el año 1962 el libro “Silent Spring” por Rachel Carson, la industria química respondió automáticamente negando que existiera un problema ambiental relacionado con dicha actividad. Gradualmente las compañías se dieron cuenta de no debían alejarse del problema, y se requería de un enfoque que permitiera una mejor y duradera prosperidad. En las últimas décadas se han logrado muchos avances para que la Ingeniería Química sea más responsable de las necesidades básicas de la sociedad (seguridad, salud y protección ambiental). Empezaron a surgir métodos de Ingeniería Verde para enmendar el daño que se había hecho. Posteriormente se trabajó en modificar los métodos de producción, haciéndolos más eficientes. A largo plazo, la modificación de productos y el rediseño de éstos son la manera de evitar problemas desde su origen.

La ingeniería de producto verde, el rediseño de producto o el reemplazo por un mejor producto, son mejoras con mucho potencial dentro de la Ingeniería Verde, con la finalidad de tener productos seguros y amigables con el medio ambiente. (Wei, 2007)

Para la Ingeniería de producto químico verde se recomienda:

- *Seleccionar materiales con bajo impacto*, en el estudio de las propiedades de los materiales a profundidad y evitar el uso de materiales hidrocarbonados y metales pesados; propiciar el uso de materiales renovables que permitan que una vez haya concluido el ciclo de vida del producto pueda ser empleado como material reciclado; evitar materiales que requieran de alto consumo energético para su fabricación.
- *Reducir impactos ambientales durante su uso*, para ello se requiere del diseño de productos que permitan el ahorro de energía y que la energía que se consuma sea limpia (ejemplo, pilas desechables) , reducir el uso de consumibles y que éstos sean mejores, con la posibilidad de reutilizarlos.

- *Optimizar el tiempo de vida*, un producto verde ofrece sustentabilidad, para ello es necesario que se elabore de la mejor manera posible, evitando fallas que orillen al comprador a consumir doble el producto; que el producto sea diseñado por módulos que consientan el reemplazo de sus partes en lugar de todo el producto.
- *Optimizar el fin de vida del producto*, es imperativo que al finalizar la etapa útil de un producto, éste pueda ser reutilizable en su totalidad o sus partes; en el diseño deben considerarse materiales reciclables.



# 5

## CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE PRODUCTO EN FERTILIZANTE SÓLIDO

*“It would be a great mistake to think of the content of chemical engineering science as permanently fixed. It’s likely to alter greatly over the years, in response to the changing requirements of industry and to the new scientific discoveries and ideas for their application.”*

*“Sería un gran error pensar que el contenido de la ciencia Ingeniería Química como fijo de manera permanente. Pueda modificarse a lo largo de los años, en respuesta a las necesidades cambiantes de la industria y los nuevos descubrimientos científicos e ideas para su aplicación.”*

Peter Victor Danckwerts (1916-1984)

El siguiente caso de estudio, ejemplifica las etapas de la Ingeniería de Producto Químico, vistas con anterioridad, y fué adaptado del artículo de Bröckel y Hahn, “Product Desing of Solid Fertilizers”, publicado por Chemical Enginierring Research and Desing.

### **5.1 Necesidad**

Cualquier material natural o fabricado que contenga al menos 5% de alguno de los tres nutrientes primarios (Nitrógeno-N, Fosforo-P ó Potasio-K) puede ser considerado como un fertilizante. Los componentes contenidos en los fertilizantes se encuentran en la naturaleza pero en cantidades insuficientes para sostener la producción agrícola mundial.

La fabricación de fertilizantes requiere de la recolección de materias primas de la naturaleza, el tratamiento para purificar o aumentar la concentración y a menudo combinarlos con otros productos que contengan

más de un nutriente para su aplicación a formas vegetales. (International Fertilizer Industry Association (IFA))

El 78% de la atmósfera terrestre es nitrógeno. Sin embargo, el nitrógeno que respiramos es químicamente inerte, de tal forma que las plantas (excepto leguminosas) no pueden emplearlo. Los fertilizantes nitrogenados más importantes son elaborados a partir de urea y Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el empleo de estos en la agricultura favorece el crecimiento del follaje y frutos en las plantas, favorece la formación de clorofila y contribuye al ciclo del nitrógeno.

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originarse la eutrofización<sup>29</sup> del medio.

La lixiviación de nitratos hacia el subsuelo puede contaminar los acuíferos subterráneos, creando graves problemas de salud si se consume agua rica en nitratos, debido a su transformación en nitritos que se transforman en ciertos compuestos cancerígenos (Nitrosaminas), que afectan al estómago e hígado. (García, 2009)

El consumo mundial de nitrógeno para fertilizantes muestra una tendencia creciente en los últimos años (Fig. 5.1), de tal manera que en el año 2006 se requirieron un poco más de 97 millones de toneladas de nitrógeno, parte del aumento se debe a las mejoras en su desempeño.

---

<sup>29</sup> En un medio eutrofizado, se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie. Esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, así mismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie.

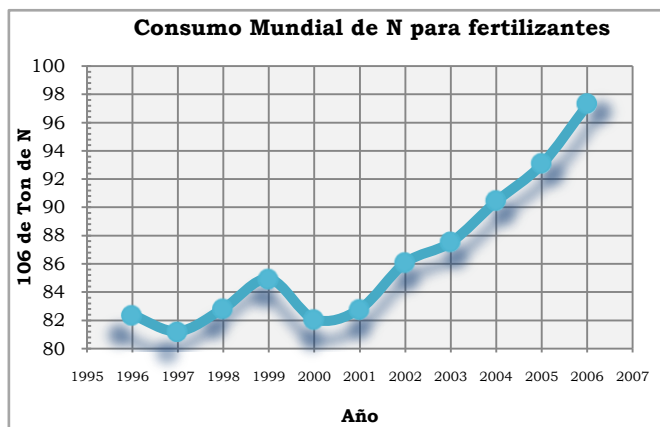


Fig. 5.1 Consumo mundial de Nitrógeno para uso en fertilizantes. (International Fertilizer Industry Association (IFA))

El perfil del producto se sustenta en propiedades físicas y químicas, bajo impacto ambiental y estabilidad térmica y mecánica. En este caso el diseño va encaminado a modificar las propiedades del fertilizante sólido sin modificar la estructura química del componente activo. Los requerimientos a tratar en el diseño de producto son:

- 1- Mejorar las propiedades para evitar en su manipulación la formación de polvo y la aglomeración.
- 2- Reducir la descomposición de  $\text{NH}_4^+$ .
- 3- Efecto de liberación controlada del componente activo por más de un año.

(Bröckel & Hahn, 2004)

En general, los aditivos pueden ser incorporados en el fertilizante en dos locaciones, una es en la matriz sólida y otra concentrándose en la superficie. Si se opta por la última locación para incorporar el aditivo, se tiene la ventaja de que la cantidad de éste será menor.

## 5.2 Idea

Se pueden identificar tres grados de revestimiento, los cuales propician diferentes propósitos (ver Fig. XXVIII). Donde el aditivo es la sustancia activa

y es necesario que se adhiera al granulo. Si se requiere protección no es conveniente que el revestimiento sea abierto, si el recubriendo es cerrado pero irregular no se puede tener un optimo control sobre el efecto retardado.

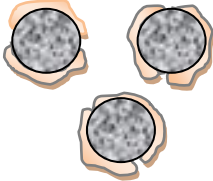
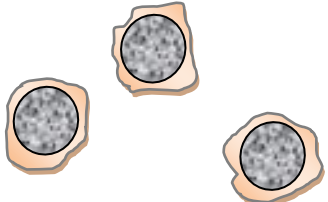
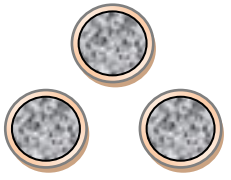
| a) Aditivo  | b) Protección  | c) Efecto retardado   |
|---|--|---|
| -Revestimiento abierto  | +Revestimiento cerrado<br>-Grosor irregular del revestimiento                      | +Revestimiento cerrado<br>+ Grosor constante de revestimiento                       |
|  |  |  |

Fig. 5.2 Grados de calidad en el recubrimiento.

La mayoría de los fertilizantes contienen nitrógeno en forma de Amonio y nitrato, siendo la ultima especie objeto de lixiviación. La estabilización de los fertilizantes es con el propósito de reducir la lixiviación del nitrato para lo cual se requiere aumentar la residencia de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  en el suelo que va de una semana bajo condiciones normales a 6 o10 semanas. Una sustancia llamada 3,4-dimetilpirazol (DMP) ha sido estudiada e indicada como un buen inhibidor de la nitrificación (ver anexo II).Otra opción reportada en la literatura (ver anexo III) es el 3,4-dimetilpirazol-fosfato (DMPP), el cual se basa en la reacción del DMP con acido fosfórico.

### 5.3 Selección de la idea

El uso de DMP en los gránulos del fertilizante demuestra tres problemas:

- 1- El DMP no es estable en los gránulos del fertilizante
- 2- El olor del DMP es muy perceptible
- 3- El DMP es incoloro por lo que su aplicación no puede ser fácil de detectar

El DMPP ofrece ventajas determinantes sobre el DMP, las cuales se enumeran a continuación:

- 1- Es soluble en ácido fosfórico concentrado y es estable en la superficie del fertilizante
- 2- Su olor es agradable
- 3- No es objeto de lixiviación
- 4- Es completamente biodegradable

Por razones obvias la selección del aditivo para recubrir el fertilizante es el DMPP.

#### **5.4 Prototipo**

El DMPP es incoloro, pero junto con un colorante resistente al ácido, se forma un líquido llamado “ENTECC®”, con el cual se tiene un indicador de calidad en el proceso de fabricación y que el consumidor puede identificar para saber si el fertilizante está estabilizado.

La cantidad de formulación necesaria para recubrir el fertilizante depende del contenido de amonio-nitrógeno. Para evitar la aglomeración del fertilizante se debe utilizar la mínima cantidad de agua en la formulación. En la Fig. 5.3, se muestra el efecto de la viscosidad y el ángulo de contacto del ENTECC al variar el porcentaje de agua en la formulación; se parecía que a partir del 10% de agua se obtiene un ángulo de 45°, para mayores porcentajes de agua, el ángulo de contacto va disminuyendo su valor. Experimentos en el recubrimiento no muestran diferencias notables en la calidad cuando se realiza formulación con un ángulo de contacto de 45° a 27°, contrariando los resultados obtenidos al evaluar el grado de aglomeración del fertilizante, el cual se apelmaza cuando se tiene el 20% de agua en la formulación. En cuanto a la viscosidad, según experimentos se obtiene un recubrimiento homogéneo con valores menores a 200 mPa s.

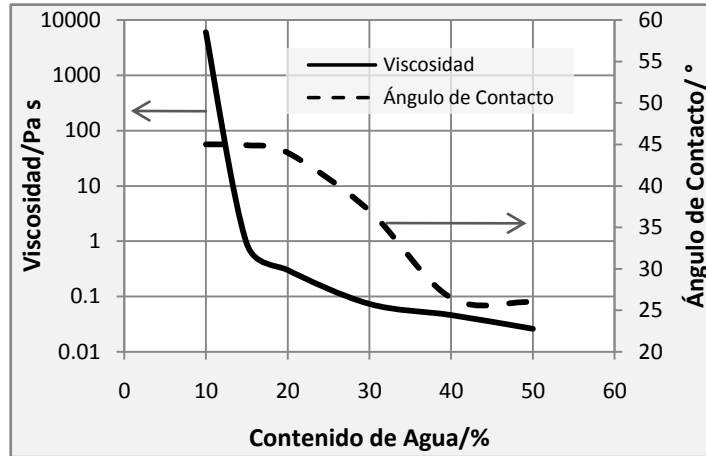


Fig. 5.3 Efecto del agua en viscosidad y ángulo de contacto. (Bröckel y Hahn 2004)

De acuerdo con los resultados anteriores, se decide usar el 16% de agua en la formulación, con la cual resulta una viscosidad de 150 mPa s a temperatura ambiente.

En la Fig. 5.4, se observa la dependencia de la viscosidad respecto a la temperatura, bajo el porcentaje de agua establecido, se observa que a bajas temperaturas aumenta notablemente la viscosidad, por lo que se debe cuidar que el líquido formulado no baje de 15 °C de temperatura durante el proceso y en los tanques de almacenamiento.

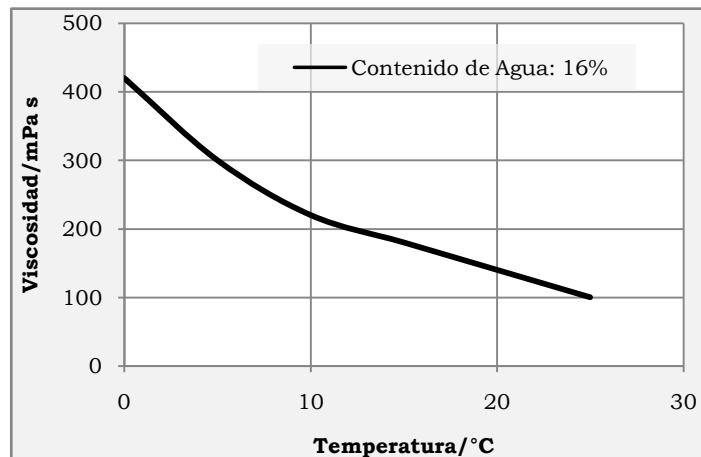


Fig. 5.4 Efecto de la temperatura en la viscosidad. (Bröckel y Hahn 2004)

Para control del efecto de la liberación de los nutrientes minerales destinados para las plantas, se espera que éste proceso dure más de un año. Los requerimientos respecto al recubrimiento del fertilizante son: grosor constante de la capa, elasticidad del recubrimiento, estabilidad mecánica a bajas temperaturas y liberación de los nutrientes dependiendo de la temperatura del suelo.

Las consideraciones para una alta calidad en el recubrimiento, son las siguientes:

- 1- El núcleo de las partículas deben mostrar una superficie suave y sin borde.
- 2- El material para recubrir debe tener baja viscosidad, buena humectación y propiciar la formación de película.

La formación de gotas o favorecer la atomización pueden verse en la Fig. XXXI, el diagrama de Onhesorge es útil para calcular la velocidad a través de las boquillas por medio del número de Onhesorge y el número de Reynolds.

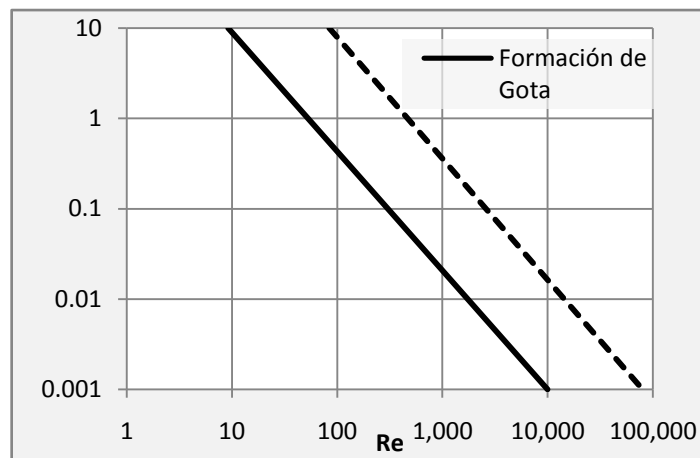


Fig. 5.5 Diagrama de Onhesorge (Bröckel & Hahn, 2004)

Después del proceso de secado, el recubrimiento debe quedar bien adherido al núcleo de la partícula. Éste proceso afecta la calidad del revestimiento, en un secado lento se obtiene una cascara porosa y el núcleo de la partícula se disuelve parcialmente. Cuando el secado se realiza de manera

rápida, a altas temperaturas, el núcleo de la partícula es estable, el recubrimiento es cerrado y uniforme y solo se pueden identificar algunos poros, pero el revestimiento no se adhiere al núcleo de la partícula y es de esperarse que se rompa en el transporte.

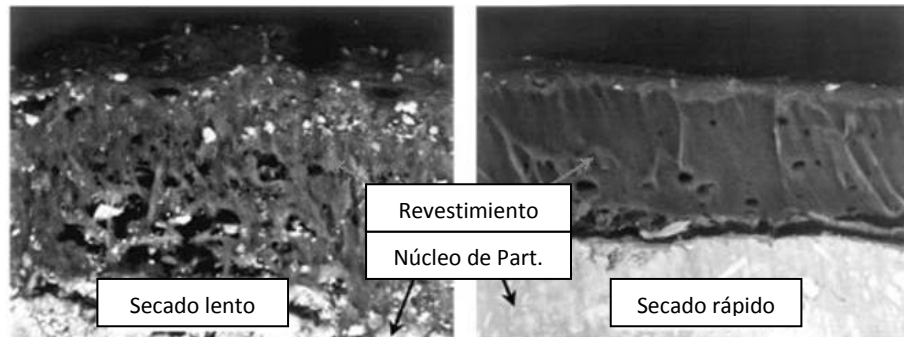


Fig. 5.6 Calidad del revestimiento en función de las condiciones de secado

La formulación de un formador de película a base de Poligen®, una emulsión de cera de polietileno, fué diseñada para satisfacer los requerimientos antes mencionados. En general los siguientes aditivos son parte de la formulación de formador de película:

- Formador de película
- Relleno
- Plastificantes
- Surfactantes
- Lubricantes
- Colorantes y tintas
- Agentes para evitar aglomeración

Dependiendo del grosor del recubrimiento, el número y diámetro de poros y las condiciones durante el proceso de revestimiento del núcleo, los nutrientes serán liberados en un período de 3 a 12 meses. Pero recientes desarrollos han aumentado el tiempo a 15 meses, esto mediante una capa de grosor constante y adherida al granulo del fertilizante. El efecto de un grosor irregular es la liberación del 80% de nitrógeno en siete días, mientras que un grosor constante libera un 30% en el mismo tiempo. Ver Fig. 5.7.



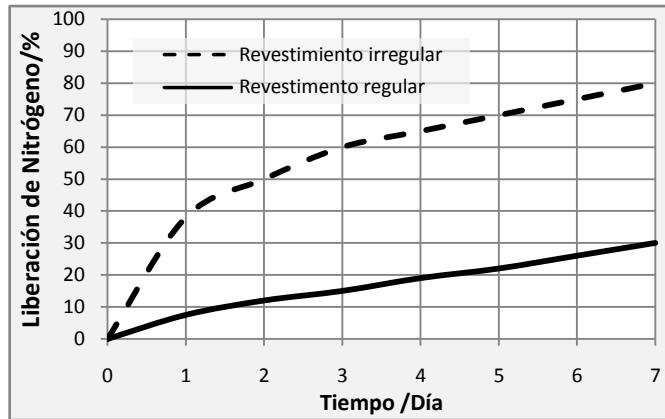


Fig. 5.7 Efecto de la calidad del revestimiento en la liberación de nitrógeno. (Bröckel y Hahn 2004)

La biodegradación del revestimiento se estima que comience una vez que se haya terminado el efecto de la liberación, la cual puede ocurrir en un lapso de tiempo de 3 a 15 meses, dependiendo de la demanda de nutrientes de la planta y la temperatura del suelo, pues por experimentos se ha concluido que la liberación de  $N_2$  depende de la temperatura, siendo más rápida a mayores temperaturas.

(Bröckel & Hahn, 2004)

## CONCLUSIONES

En la historia de la Ingeniería Química, la primera etapa corresponde a la generación de fundamentos que describían en cierta manera los fenómenos observados en la naturaleza y publicaciones referentes a los procesos de producción de bienes, dichos conocimientos adquiridos de manera empírica y no es sino hasta el año de 1620, que con la propuesta del método científico se pueden empezar a describir de manera científica los fenómenos naturales y que describen la manera en la que se pueden reproducir los experimentos para la transformación de materia prima en productos útiles, a partir de lo cual las reacciones químicas llevadas a cabo se escalan a nivel industrial, implicando el desarrollo de máquinas que facilitan el proceso de producción, lo cual resulta en el hecho histórico de la Revolución Industrial y la gestación de una nueva profesión con conocimientos sobre química y mecánica.

Dicha gestación se propicia con la producción industrial de Ácido Sulfúrico y Alcalí, y gradualmente otros procesos, y lo más importante la generación de conocimientos para mejorar dichos procesos, desarrollando nuevos equipos y optimizando las variables del proceso; la necesidad de un nuevo profesionista con conocimientos sobre mecánica, eléctrica y química era inminente y George E. Davis estaba muy consciente de ello, gracias a su persistencia la institucionalización de la Ingeniería Química fue posible, pero no a muchos les convencía la nueva profesión. El empleo de operaciones unitarias es el factor clave y distintivo de la Ingeniería Química, término con el cual se afianza dentro del ámbito industrial y académico; atrayendo la atención de científicos y publicándose libros con temas referentes a procesos industriales con el enfoque de operaciones unitarias. Pero uno de los avances más significativos del siglo XIX es la perforación de pozos de petróleo, ya que además de su importancia comercial, el estudio del “oro negro” por científicos

desbordó en un vasto conocimiento sobre reacciones químicas y procesos de separación.

La industria se dio cuenta que los Ingenieros Químicos eran fundamentales por sus conocimientos, habilidades y capacidades para la operación de las plantas industriales y el mejoramiento de éstas para reducir sus costos y la creciente demanda de éstos profesionales ayudo a que se desarrollaran mejores planes de estudio en las universidades.

Con lo analizado en la presente tesis, en el futuro se vislumbra un Ingeniero Químico capaz de desarrollar procesos compatibles con la sustentabilidad, optimizarlos e investigar nuevas vías de reacción; de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, investigar y desarrollar nuevas formas de generación de energía y optimizar las existentes; el diseño de productos que satisfagan las necesidades de la sociedad y que amigables con el medio ambiente.

Factores como: cambios en el estilo de vida, normatividad, avances tecnológicos, estrategia empresarial, entre otros, promueven la generación de productos y la Ingeniería de Producto es empleada para el desarrollo de nuevos o mejorar los existentes con el propósito de satisfacer las necesidades de sus consumidores, las cuales se identifican mediante las siguientes herramientas: la voz del cliente, encuestas y análisis de Kano, por mencionar algunos; el proceso continua proponiendo ideas encaminadas a cumplir con la necesidad identificada y seleccionar la más adecuada desde el punto de vista técnico y económico, para transformar la necesidad en especificaciones de producto y elaborar un prototipo para su evaluación, que una vez satisfactoria, se proseguirá al proceso producción y su comercialización. Una buena definición y clasificación de producto, es importante para marcar la estrategia de mercadotecnia dirigida a la población a la cual el producto va encaminado.

Al igual que lo ocurrido por los trabajos sobre la descripción de procesos empíricos, la generación de productos químicos empezó a darse de manera fortuita, obteniendo inesperadamente productos con características interesantes, progresivamente se daban cuenta que dichas características

obedecen a la formulación y procesamiento del producto, formándose conocimientos sobre como diseñarlos y obtenerlos con propiedades físicas y químicas específicas y deseadas. La Ingeniería Química entra en acción, con el diseño de los productos, los cuales requieren del dominio de conceptos de estructura molecular, biología, termodinámica, fenómenos de transporte, modelamiento matemático, ciencia de los materiales, etc.

En el caso de estudio presentado, referente al diseño de un fertilizante sólido, una vez identificada la necesidad de mejorar su desempeño, incrementando su dureza para conservar las propiedades físicas y químicas en su manipulación, aumentar su vida útil en más de un año, y disminuir la liberación de amonio, continua con la identificación de las propiedades fisicoquímicas del producto, relacionadas con las especificaciones buscadas, para incrementar la dureza y prolongar la liberación del componente activo, se identifica que el recubrimiento del aditivo debe ser cerrado e irregular, para evitar la lixiviación del amonio se ha identificado una sustancia inhibidora de la nitrificación, denominada "ENTECC®". Para pasar al proceso de producción, deben establecerse las condiciones y especificaciones de producción, por ejemplo la cantidad de agua necesaria para la formulación del recubrimiento es importante para que no se promueva la aglomeración. El diseño de producto, como se aprecia, no sólo involucra la labor de proponer ideas para solucionar el problema dado, la mayoría de las veces se tiene que ir adaptando la idea para su realización satisfactoria, para lo cual es indispensable contar con el prototipo y realizar pruebas para detallar especificaciones.

La Ingeniería Química ha respondido a los retos, problemas y necesidades de la época, adquiriendo mayor importancia y sustento científico para enfrentar los escenarios en los que será requerida en el siglo XXI. El verdadero reto para la Ingeniería Química será reconocerse como la ingeniería más amplia y científica, con la capacidad de adaptarse para hacer frente a los retos, sin comprometer la identidad.

*This is not the end.  
It is not even the beginning of the end.  
But it is the end of the beginning.*

*Éste no es el final.  
No es ni siquiera el principio del final  
Pero es el final del principio.*

*Wiston Churchill*



## APÉNDICE

## **Apéndice I**

### **George E. Davis. A Handbook of Chemical Engineering (Primera Edición, 1901)**

El trabajo de George E. Davis es muy citado en la literatura, pero muy poca gente tiene la oportunidad de leer el texto.

La siguiente selección de páginas fué tomada de la copia del volumen I de la primera edición del manual que está en la librería del Instituto de Ingeniería Química. Las notas sobre las páginas, son anotaciones hechas por el propio Davis y fueron hechas como revisiones para la segunda edición. (Divall y Johnston 2000)

A HANDBOOK  
OF  
CHEMICAL ENGINEERING.

CHAPTER I.

INTRODUCTION.

The functions of the Chemical Engineer are very generally misunderstood. It has often been thought that the chemical contractor, who erects plant, either from well-worn designs in his possession, or from the designs of others, must of necessity be styled a Chemical Engineer; others have deemed the term correctly applied to the ironfounder, the mason, the coppersmith, or the builder who has supplied work for use in connection with the chemical industries; but a little thought will soon enable us to see that both these propositions are untenable.

The ironfounder may have been supplying castings all his life, and the coppersmith building stills, digesters, or vacuum pans, but he may not have been made acquainted with the various purposes to which it is intended to put them, so that unless he possesses a very extended knowledge of the many operations over which manufacturing chemistry extends, he can hardly lay claim to be called a Chemical Engineer. From the manufacturer's point of view it is certainly to his advantage to recognise an intermediary between himself and the contractor, in the same way as the architect and surveyor is recognised by both builder and house-owner, as, even if the professional man does make a mistake sometimes (and he would scarcely be human if he did not), the evil will be more than counterbalanced by the good offices of securing a careful perusal of plans

and execution of the job in a workmanlike manner. Of course where the proprietor of a chemical establishment is in himself a good engineer and chemist, or where his general manager has a good knowledge of these subjects, the professional man from the outside will not be so much in requisition; but it is astonishing how "familiarity breeds contempt," and how often an outside opinion will enable matters to be seen in a totally different aspect.

The Chemical Engineer has been a creation of necessity, brought about by the wonderful advances made in recent years by manufacturing chemists, and the activity of capital in exploiting invention after invention so soon as it is made known. If we study the specifications of patents granted in this country during the past fifty years, we cannot fail to observe the change that has come over chemical inventions. Crude ideas have given way to carefully detailed manipulations, and descriptions of apparatus are now usually so complete as to leave nothing to be desired in this respect. The mechanical aspect of manufacturing chemistry is still advancing with very rapid strides, so that the skill of the engineer is being more and more sought after and employed. This has been the outcome of the exploitation of some of the finer processes of the chemical manufacture, notably in the aniline colour industry, though we must be careful not to give undue credit to this branch alone, as the heavy chemical trade has within the past twenty years undergone almost a complete revolution; and it is not unreasonable to suppose that many processes, tried and abandoned in times gone by, would have had a greater measure of success if they had been installed with some of the beautiful appliances of the present time.

The gradual development of certain processes seems a matter worthy of comment, as it is most probable that the want of success in their early days was due to a lack of knowledge of Chemical Engineering. Chemists were not engineers, and engineers were not chemists, and the experience of the one was of but little assistance to the other, *but* and the fact must not be ignored that the engineer with a little knowledge of chemistry *generally* was more successful than the chemist with a smattering of engineering, which goes a long way to prove that the engineering knowledge was the more valuable of the two.

It may be that the retardation of practical success in the direction of several chemical processes has in the past been due in a great measure to the arbitrary division of chemistry into "practical" and "theoretical," this leading many otherwise well informed persons to infer that there is no harmony between theory and practice, whereas, had they thought deeply enough, they would have appreciated the fact that theoretical chemistry *per se* gives



only a portion of the information necessary for the successful carrying out of chemical operations on the large scale. Practical chemistry is, to a large degree, dependent upon theoretical chemistry, but not in any greater degree than upon physics and mechanics, and to attempt the solution of problems in manufacturing chemistry without the aid of these sister branches of science would now-a-days only be commenced by the ignorant. The idea that theory and practice will not work together is as old, or older, than the Greek philosophy, and though the idea is dying fast it cannot be said that it is actually defunct. Theory is based, or should be based, on known facts marshalled and generalised, and it helps us in many manufacturing troubles by showing us the probable reason why good results or bad results are obtained; while practice demonstrates pretty clearly what we should do to obtain the best results, or to obviate existing errors—each has its role, and it is well they should not be confounded.

All practical questions involve the use of some fixed datum, selected after careful experiment, and it is the province of Chemical Engineering to engage in this work so far as it relates to manufacturing chemistry, and to supply figures which, when woven in with pure theory, show that some desired result is attainable, or on the other hand demonstrate its impracticability.

But in addition to the theorems of chemistry, physics, and mechanics, there is another species of knowledge essential to success in manufacturing chemistry. This knowledge springs from observation of good and bad materials, and of various descriptions of workmanship. It is acquired during the actual transaction of business where materials have to be provided, and workmen employed, not only in constructing the apparatus, but in its manipulation afterwards, so that the necessary operations can be satisfactorily carried out. If we call this knowledge "practical experience," we shall find the first aid comes in from Theoretical Chemistry, which tells us of the nature of the raw materials to be operated upon and the various mutations they are likely to undergo; Mechanics comes forward and teaches how to combine and arrange our apparatus; while Physics will most probably supply the remainder of the required information.

Chemical Engineering differs from general engineering chiefly on account of the destructive character of the materials operated upon, and the very nature of the processes themselves require such careful study from a purely chemical point of view, that theoretical and applied chemistry of a high order should form a necessary part of the curriculum of the Chemical Engineer. It is well known that this view is not shared in some quarters, and a slight smattering of chemistry tacked on to an engineering student is sometimes held

283 lb. of coal were burned per hour, and 2,603 lb. of water evaporated during the same time. To put 50,000 units of heat to the steam escaping from this boiler would raise its temperature :—

$$\frac{50,000}{2,603 \times 0.475} = 40^\circ$$

0.475 being the specific heat of steam under constant pressure, so that if the usual boiler pressure carried be 50 lb., the temperature of which, as shown by Table 77, is 298°F., the temperature after superheating must be 338°F., which is higher than that of the waste gases escaping from the boiler setting, showing the operation of superheating in this instance to have been impossible, as the waste gases were only 324°F. This shows us the difference between heat units and temperature. If we admit 184°F. as the lowest practicable temperature in the waste gases necessary to produce a good draught in the chimney, we have 140°F. in excess of this in the Philadelphia trial, and as 283 lb. of fuel were burned per hour we have :—

$$283 \times 24 \times 140 \times 0.238 = 226,309$$

heat units escaping per hour in excess of that actually required to produce a draught, and yet insufficient to produce superheating, as anyone will be able to see that, should the temperature of the exit fuel gases fall below that of the steam, cooling and condensation of the latter must inevitably take place.

When a superheater is placed in the boiler flue the products of combustion will be cooled very considerably during the process of heating the steam. In the foregoing instance the superheat has been assumed to require 50,000 units per hour, and as the specific heat of air is 0.238, the following calculation will show the cooling of the gases by the superheating of the steam :—

$$283 \times 24 = 6,792 \text{ lb. per hour.}$$

$$\frac{50,000}{6,792 \times 0.238} = 30^\circ\text{F.}$$

thus reducing the temperature of the exit flue gases from say 500°F. to 470°F. No account is taken here of the water coming over with the steam, which would require a further and considerable number of heat units.

The fifth condition for economical steam raising, viz., to utilise all hot condensed water from steam traps, pipes, etc., should not require mention; yet how often do we find this pure hot distilled water finding its way to the nearest drain.

To keep the steam boiler free from scale is the next important condition that must be observed. As a rule this matter does not receive sufficient consideration, but a little thought upon the

case nearly touch the shaft, and the rings of blades on the shaft lie between those on the case, as shown in the figure (109), and Fig. 110 further shows the form of blade which is used, the smaller and larger circles being cross-sections through the shaft and cylinder respectively.

The steam enters at *J* (Fig. 109) through a ring of fixed guide blades, and is projected in a rotational direction upon the next ring of moving blades, imparting to them a rotatory motion; it is next thrown back upon the succeeding ring of guide blades, and so on in succession until the whole of the fixed blades and all the moving blades have been passed, the reaction at each series of blades increasing the rotational force. The energy to give the steam its high rotary velocity at each successive ring is supplied by the fall in pressure, the steam expanding gradually by small increments. At the left side of the spindle are grooved pistons or "dummies," *D*, *E*, and *F*, the object of which is to prevent end-thrust, and they also act as a practically steam-tight joint. The governing of the motor is accomplished as follows:—Steam is admitted to the turbine

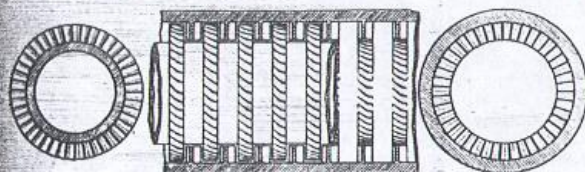


FIG. 110.—FORM OF BLADE IN THE PARSONS STEAM TURBINE.

in a series of gusts by the periodic opening and closing of a double beat valve operated by means of a steam relay in mechanical connection with the turbine shaft. Where a dynamo is being driven, the duration of each gust is controlled by an electric solenoid which is connected as a shunt to the field magnets, the core of the solenoid being hung from a long lever. The fulcrum of this lever is periodically moved up and down by means of a link connecting it with the eccentric, which receives its motion from the worm on the sleeve coupling, the short end of the lever controlling the valve of the steam relay. Where no dynamo is being driven the speed can be controlled with an ordinary centrifugal governor.

The bearings of this motor are all under a head of oil, the oil being continually circulated by means of a pump, and as no lubricant is used in the cylinder the exhaust steam is free from oil and other impurities. This is no small advantage, as the condensed water can be used again in the steam boiler without filtration or other purification. With the exception of the bearings, the Parsons

The details of the power required for a ten stamp wet-crushing gold mill, capable of working from 15 tons to 18 tons of gold ore per day of 24 hours, may safely be put down as follows:—

|   |                 |
|---|-----------------|
| One Blake Rock Crusher ... ..           | 6 horse-power   |
| Two ore feeders ... ..                  | —               |
| Ten stamps, 750 lbs., 90 drops ... ..   | 12 "            |
| Four Frue Vanner Concentrators ... ..   | 2 "             |
| One grinding pan, 3 ft. diameter ... .. | 3 "             |
| One settler ... ..                      | 3 "             |
| Allow for friction ... ..               | 4 "             |
|   | 30 horse power. |

A twenty stamp mill, with eight Frue vanners, would only require 46 horse-power.

**Ore Concentrating.**—The Frue vanners deserve mention in this place. On page 26 the operation of levigation has been briefly described, which, in effect, is the separation of finely-divided particles from the coarser particles by means of a current of water. "Vanning" is hardly this, as the main object of the operation is the

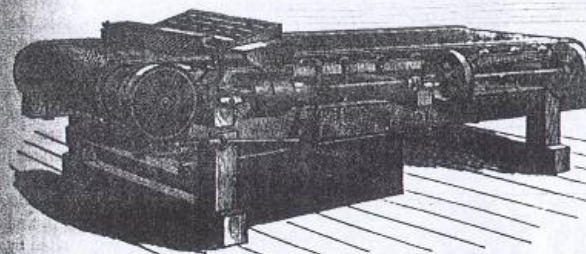


FIG. 26.—THE FRUE VANNER.  
(Messrs. Fraser and Chalmers, Ltd.)

separation—more or less complete—of minerals which differ not only in gradation of size, but also in specific gravity. The vanner was the invention of the late Mr. W. B. Frue, the manager of the Silver Islet mines, on Lake Superior, and was applied by him to the concentration of low grade silver ores as early as 1873. Many forms of the vanner, or concentrator, are now made, but the reader must be contented with a description of the Frue vanner, as made by Messrs. Fraser and Chalmers, an illustration of which is shown by Fig. 26.

This concentrator, or Frue vanner, consists in the main of a continuous rubber belt, with a rubber flange on each edge. The



## BIBLIOGRAFÍA

*American Marketing Association*. 2009.

[http://www.marketingpower.com/\\_layouts/Dictionary.aspx?dLetter=P](http://www.marketingpower.com/_layouts/Dictionary.aspx?dLetter=P)  
(accessed Marzo 30, 2009).

Asimov, Isaac. *Breve Historia de la Química*. España: Alianza Editorial, 2003.

Blanco, Mónica, and María Eugenia Romero Sotelo. *Historia Económica de México, La colonia*. México: Oceano, 2004.

Bonta, Patricio, and Mario Farber. "199 Preguntas sobre marketing y publicidad ." 37. Colombia: Grupo Editorial Norma.

*BP America* .

<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9016132&contentId=7028921> (accessed 12 10, 2008).

Bröckel, U., and C. Hahn. "Product Design of Solid Fertilizers." *Chemical Engineering Research and Design* 83, no. A11 (2004): 1453-1457.

Bucay, Benito. "Apuntes de historia de la química industrial en México." *Revista de la Sociedad Química de México* 45, no. 3 (2001): 136-142.

C. Brown, Jonathan. *Petróleo y Revolución en México*. México: Siglo Veintiuno Editores, 1993.

Charpentie, Jean-Claude. "The triplet "molecular processes-product-process" engineering: the future of chemical engineering?" *Chemical Engineering Science*, 2002: 4667-4690.

Charpentier, Jean-Claude. "In the frame of globalization and sustainability, process intensification, a path to the future of chemical and process engineering (molecules into money)." *Chemical Engineering Journal*, no. 134 (2007): 84-92.

Costa, R., Moggride, G. D., & Saraiva, P. M. (2006). Chemical Product Engineering: An Emerging Paradigm Within Chemical Engineering. *American Institute of Chemical Engineering Journal* , 1976-1986.

Coutinho, J. A. P., T. Vilela, P. Pereira, P. Pessoa, M. M . M. Santos, and G. M. Kontogeorgis. "Process Engineering Versus Product Engineering A Case Study on Volatile Organic Compounds Removal." *Chemical Engineering Research and Design* 83, no. A4 (Abril 2005): 352-356.

Cussler, E. L., & Moggridge, G. D. (2001). *Chemical Product Desing*. U.K.: Cambridge University Press.

Dally, J. W., L. C. Schmidt, and J. W. Herrmann. "Concept Generation ans Selection." In *Product Engineering and Manufacturing*, by Patrick F. Cunniff, Jeffery W. Herrmann, Linda C. Schmidt, Guangming Zhang and James W. Dally, 61-79. U.S.A.: College House Enterprises, LLC., 1998.

Divall, Colin, and Sean F. Johnston. *Scaling Up The Institution of Chemical Engineers and the rise of a New Profession*. U.K.: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Favre, Eric, Eronique Falk, Christine Roizard, and Eric Schaer. "Trends en chemical engineering educatation: Process, product and sustainable chemical engineering challenges." *Educattion for Chemical Engineers*, 2008: e22-e27.

García, Inés. *Universidad de Granada* . Abril 19, 2009. <http://edafologia.ugr.es/index.htm> (accessed Mayo 20, 2009).

García-Colín, Leopoldo. *De la Máquina de Vapor al Cero Absoluto (Calor y Entropía)*. México: Fondo de Cultura Económica, 1997.

Garrido Asperó, M. J. *Historia de la enseñanza de la Ingeniería Química en México*. México: UNAM, Facultad de Química, 1998.

Garritz Ruiz, Adoni, and José Antonio Chamizo. *Del tequesquite al ADN : algunas facetas de la química en México*. México: Fondo de Cultura Económica, 1989.

Gómez-Senent Martínez, Eliseo. *El Proyecto Diseño en Ingeniería*. Valencia: Alfaomega, 1997.

Hill, M. (2009). Chemical Product Engineering. *Computers and Chemical Engineering* , 33, 947-953.

*International Fertilizer Industry Association (IFA)*. <http://www.fertilizer.org/> (accessed Mayo 17, 2009).

Kiefer, David M. "Sulfuric Acid: Pumping up the volumen." *Today's Chemist* 10, no. 9 (2001): 57-58.

- Kim, Irene. "Chemical engineering: A rich and diverse history." *Chemical Engineering Progress*, 2002: 1S-9S.
- Kind, Matthias. "Product engineering." *Chemical Engineering and Proceseing*, 1999: 405-410.
- Kotler, Philip, and Gary Armstrong. "Fundamentos de Marketing." 7. Prentice Hall.
- Kotler, Philip, and Kevin Lane Keller. "Marketing Management." 371-399. USA: Prentice Hall, 2006.
- L. Dym, Clive, and Patrick Little. "Our definition of engineering design ." In *Engineering Design. A Proyect-Based Introduction*, 6-7. U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- Lin, Otto C.C. "Formulation of a Vision: Chemical Engineering in the 21st Century." In *Chemical Engineering: Vision of the World*, by R.C. Darton, D.G. Wood and R.G.H. Prince, 105-115. U.K.: ELSERVIER, 2003.
- McGrayne, S. B. *Prometheans in the Lab: Chemistry and the Making of the Modern World*. New york: McGraw-Hill.
- Pafko, Wayne. *History of Chemical Engineering*. 2000.
- Perkins, J. D. "Chemical Engineering - the First 100 years." *6th World Congress of Chemical Engineering*. Melbourne: Elsevier, 2001. 11-40 .
- Perry, Nigel. *A Road for 21st Century chemical Engineering*. U. K.: IChemE, 2007.
- Roozenburg, M. F. M., and J. Eekels. "Product Design: Fundamentals and Methods." 10. John Wiley & Sons, 1995.
- Semjonow, J. *Las riquezas de la tierra, geografía económica al alcance de todos*. Barcelona: LABOR, 1940.
- Shepard, Ian, and Cath O'Driscoll. *The Society of Chemical Industry*. <http://beta.soci.org/about-us/history/> (accessed Noviembre 19, 2008).
- Stankiewicz, Andrzej, Jacob A. Moulijn, Johan Grievink, and Andrzej Górak. "Process intensification and process systems engineering: A friendly symbiosis." *Computers & Chemical Engineering*, no. 32 (2008): 3-11.
- Stevens, Mark. "Chemical Engineering: The Practice of the Profession "Pace, Price, Perplexities"." In *Chemical Engineering: Vision of th World*, by R. C. Darton, R. G. H Prince and D. G. Wood, 67-90. Australia: ELSERVIER, 2003.

Tamayo, Ruy Pérez. *¿Existe el Método Científico?* México: Fondo de Cultura Económica, 1990.

*The Nobel Foundation.* 1948.

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1948/muller-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1948/muller-bio.html) (accessed Diciembre 15, 2008).

University of Massachusetts. *General Chemical Engineering History.* [http://www.ecs.umass.edu/che/che110/che\\_general\\_history.html](http://www.ecs.umass.edu/che/che110/che_general_history.html) (accessed Noviembre 24, 2008).

Valiente Barderas, Antonio. *El ingeniero químico, que hace?* México: Alhambra, 1980.

Wei, J. (2007). *Product Engineering: Molecular Structure and Properties.* New York : Oxford University Press.

*World Intellectual Property Organization.* 2009.

<http://www.wipo.int/portal/index.html.es> (accessed Abril 17, 2009).