



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO
EN EL CAMPO DE LA INFORMÁTICA EN
MÉXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
R A Ú L M E J Í A G O N Z Á L E Z



MÉXICO, D. F.

2006

DEDICO ESTE TRABAJO...

A MIS VIEJOS, MARÍA Y ANASTACIO:

Por su esfuerzo desinteresado, por el sudor y las lágrimas que nos permitieron, a mis hermanos y a mí, forjarnos un camino como hombres y mujeres de bien. Por su ejemplo, por su entrega, por su lucha diaria, por su sacrificio, y por todo lo demás que no puedo expresar con palabras. ¡Gracias!.

A MI ESPOSA, DIANA:

Por tu amor, por tu apoyo, por tu confianza, por tu paciencia. Por aguantarme todo este tiempo. Gracias por estar conmigo en los buenos y los malos momentos. TLQQF. ¡Gracias!

A MI HIJO, RAULITO:

Mi regalo de Dios, mi más grande motivación. Ojalá no crecieras tan rápido.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS:

Por todo lo que vivimos y compartimos, por las épocas de carencias (pero también de felicidad) en la casa paterna. Por apoyarme y cuidarme, por guiarme con su ejemplo.

A LA FAMILIA MORALES TINTOR:

Por aceptarme en sus vidas. Por sus enseñanzas, Don Manuel; por su apoyo incondicional, Suegra.

A MIS AMIGOS (LOS HIJOS DEL BÚHO):

Por los momentos que me regalaron, porque siempre se puede contar con ellos.
¡Gracias!.

Y lo más importante: ¡Gracias a ti **PADRE**, por permitirme vivir y confiar en tu amor!

A G R A D E C I M I E N T O S

ING. REYNALDO SANDOVAL GONZÁLEZ:

Por el valioso tiempo que me concedió para asesorarme durante los últimos meses. Por su confianza, su paciencia y las innumerables atenciones y consejos que me brindó con tanta amabilidad.

ING. EDUARDO ROJO Y DE REGIL:

Porque es un privilegio haber contado con su colaboración y apoyo, Maestro; pues al ser un apasionado estudioso de la Calidad, ha conseguido para sí mismo la de mayor importancia: la Calidad Humana.

ING. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ:

Por su generosa atención y por el tiempo obsequiado para la revisión de este trabajo. Por sus valiosos comentarios para el mejoramiento del mismo.

A MI QUERIDA FACULTAD DE QUÍMICA:

A la que algún día (no muy lejano), retribuiré un poco de lo que me dio.

Raúl Mejía González.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”.



LA PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO EN EL CAMPO DE LA INFORMÁTICA EN MÉXICO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS DE LA INFORMÁTICA.	
1.1 Definición de Informática y otros conceptos.	6
1.2 Evolución Histórica de la Ciencia Informática.	10
1.3 Importancia de la Informática para el desarrollo de la sociedad moderna.	16
A) La Informática cotidiana.	16
B) La “Cultura Informática”.	18
1.4 El futuro de la Informática.	20
CAPÍTULO II. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INFORMÁTICA EN MÉXICO.	
2.1 Infraestructura actual y estrategias de desarrollo.	22
A) La Informática como factor de desarrollo.	22
B) Infraestructura nacional.	27
C) Estrategias.	28
2.2 Contribución de la Informática en sectores clave del desarrollo nacional.	33
A) Educación, Ciencia y Tecnología.	35
B) Industria.	41
C) Comercio.	44
D) Servicios.	45
CAPÍTULO III. LA INFORMÁTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL INGENIERO QUÍMICO.	
3.1 Cultura Tecnológica. Ciencia e Ingeniería.	48
3.2 Informática y Cultura Educativa.	52



	Pág.
3.3 La necesidad de la Tecnología Informática para la formación del Ingeniero Químico.	56
A) Almacenamiento, Disponibilidad y Administración de la Información.	61
B) Procesamiento de la Información.	65
C) Programación.	68
D) Uso de Simuladores de Procesos.	71
3.4 La Informática en el ejercicio profesional del Ingeniero Químico.	78
A) Ingeniería de Procesos.	79
B) Administración de Proyectos.	88
C) Operación y Control de Procesos.	98
D) Mejoramiento de la Producción. Planeación y Control de Costos.	114
E) Investigación y Docencia.	121
CAPÍTULO IV.	
CONTRIBUCIÓN DE LA INGENIERÍA QUÍMICA A LA INFORMÁTICA EN MÉXICO.	
4.1 Principales aportaciones del Ingeniero Químico en el campo de la Informática.	127
A) Desarrollo de Materiales para Hardware.	128
B) Diseño y desarrollo de Software y Sistemas para Ingeniería.	135
4.2 Áreas de participación profesional del Ingeniero Químico en Informática.	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	145
BIBLIOGRAFÍA.	150
ANEXO I. Artículo: <i>Pirólisis homogénea de Propano: Tecnología Pobre, Didáctica Rica</i> , de Benito Bucay F.	155



INTRODUCCIÓN.

Una constante evolución de la técnica a través de miles de años, ha transportado al ser humano desde la sociedad cazadora y recolectora de la prehistoria, hasta la moderna sociedad tecnológica de nuestros días, en la que parece muy natural navegar por Internet, hablar por teléfono con una persona que vive en otro país, o ver en la televisión las imágenes en vivo de las noticias que se generan al otro lado del mundo.

Esta evolución, sin embargo, ha pasado por distintas etapas. En cada una de ellas existió un rasgo característico, asociado con algún descubrimiento científico o tecnológico, que permitió un avance repentino –a veces un verdadero “salto”- en el campo de los conocimientos y la tecnología, entendida esta última como la capacidad de las sociedades para aplicar dichos conocimientos con el propósito de procurarse una forma de vida más cómoda y fácil.

Así, desde un punto de vista que seleccione de entre todos los grandes inventos, a aquellos que representen un cambio esencial en la forma de emplear los recursos naturales en favor del desarrollo, se podrían definir las siguientes etapas evolutivas de la historia del hombre:

- La prehistoria, edad en la que los seres humanos aprovecharon la piedra y el fuego como recursos para modificar su entorno.
- Cuando el hombre aprende a fundir el hierro, se inicia la era de los metales (que comprende las edades antigua y media), durante la cual, si bien se observa un progresivo avance en el uso de materiales y herramientas nuevas, no se originó ningún otro invento que marcara una diferencia cualitativa en el desarrollo de la técnica.
- Con la Revolución Industrial se da, sin duda, el primer gran impulso a la manera en que el ser humano utiliza su capacidad creativa para moldear su entorno. La máquina de vapor, que quemaba madera o hulla, permitió por primera vez la



producción masiva de bienes y servicios, que pronto sustituyó a la de los talleres artesanales. Los descubrimientos posteriores hicieron posible, entre otras cosas, la utilización de la energía eléctrica, aunque todavía incipiente por esa época. No obstante, la electricidad y sus posteriores aplicaciones, pueden considerarse como adelantos técnicos derivados de la máquina de vapor.

- Un nuevo salto viene a darse con el descubrimiento del petróleo. Éste, no sólo representa un recurso que sustituye a los anteriores combustibles en las máquinas, sino que pronto genera a su alrededor toda una infinidad de aplicaciones, que todavía hoy en día no han terminado de desarrollarse. Basta recordar que toda la industria de los plásticos (desde el polietileno más grosero hasta los llamados plásticos de ingeniería), tiene como materia prima a los derivados del petróleo. Los modernos automóviles, las industrias, la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en todo el mundo y una cantidad apenas imaginable de cosas que se utilizan cotidianamente, serían hoy inconcebibles si no se hubiese desarrollado la industria del petróleo.

- Finalmente, hace apenas unas cuantas décadas –un segundo tan sólo en la historia de la humanidad-, que se dio inicio al desarrollo de “algo” que ha venido a definir no sólo una nueva concepción de la sociedad en la forma de producir sus bienes, sino que en las décadas más recientes ha venido a modificar incluso la visión que el ser humano tiene de sí mismo. Curiosamente, ya no se trata del descubrimiento de un nuevo material o fuente de energía (pues aunque se dice que vivimos en la era nuclear, este aspecto definitivamente no representa un cambio cualitativo en el modo de vida de los seres humanos), ni se trata tampoco de un nuevo descubrimiento científico, y ni siquiera de una entidad u objeto tangible. En realidad, se trata de un principio basado en una vieja capacidad humana: la de contar. Es éste el fundamento de la Ciencia Informática.

Cuando hace poco más de un siglo, Charles Babage, se propuso seriamente construir una máquina digital que contara con rapidez, esto es, que fuera capaz de realizar muchas operaciones matemáticas en el menor tiempo posible, probablemente no imaginó la importancia que tendrían las máquinas contadoras en nuestro tiempo.



Todo el desarrollo posterior, durante el siglo XX, de las máquinas contadoras, o como se denominan hoy, computadoras, dio origen a la Ciencia Informática. Las computadoras pronto dejaron de ser simples máquinas para contar o calcular, y se convirtieron en instrumentos útiles para realizar una amplia gama de actividades. De tal modo, a la par del desarrollo de las máquinas, la Informática surge como la ciencia dedicada al manejo de la información -en todas sus formas-, que éstas generan o procesan.

En este punto, conviene hacer notar otro aspecto importante en la historia del desarrollo tecnológico de la humanidad: el de la relación del progreso técnico y el tiempo. Es indudable que en los albores de la civilización y hasta la edad media, la velocidad del avance en la técnica, es decir, la rapidez con la que se desarrollaron nuevos adelantos técnicos o científicos a través del tiempo, fue muy pequeña en comparación con la de la etapa siguiente (la era industrial), en la cual, como ya se mencionó, se da un salto extraordinario en la capacidad del hombre para emplear la técnica en su favor, de modo que en un lapso de sólo doscientos años, la ciencia y la tecnología evolucionaron a una velocidad nunca antes vista. Pero esta “aceleración” en el desarrollo tecnológico no terminó con la era industrial, sino todo lo contrario: con el advenimiento del petróleo, primero, y con el de las computadoras unos años después, la humanidad ha tenido más avances técnicos en el último siglo, que los que tuvo a lo largo de toda la historia, que como se sabe, se remonta a varios miles de años. Así, la aceleración del progreso tecnológico –y particularmente el vinculado con las computadoras y la Informática- es hoy de tal magnitud, que una aplicación de este tipo de tecnología puede considerarse obsoleta en tan solo un lapso de tres años. La regla de los tiempos actuales es el cambio y el mejoramiento constante de la técnica; la dinámica moderna en contraposición con la estática de los siglos pasados.

Es así como en nuestros días, la Informática ha invadido amplias extensiones de las actividades humanas, desde el ámbito científico hasta el doméstico . Su progreso, que imprime al desarrollo tecnológico un ritmo cada vez más dinámico, influye asimismo en los aspectos culturales y en las relaciones sociales entre los individuos y los grupos. De esto, se deduce la necesidad imperiosa que tiene toda persona que pretenda estar al tanto del progreso científico-técnico, y del panorama que ofrece el futuro, de familiarizarse con los



conceptos fundamentales, así como con las herramientas y posibilidades más usuales de la Informática.

La informática no sólo está transformando las estructuras mundiales de producción, comercialización y la prestación de servicios, sino que se está inmiscuyendo inevitablemente en la vida cotidiana de las personas, dado que es susceptible de ser incorporada a prácticamente cualquier actividad humana. Para explicar este potencial, basta considerar una frecuente pero ilustrativa comparación entre la expansión de las capacidades físico-motoras del hombre que trajo consigo la mecanización producida por la Revolución Industrial, con la expansión de las capacidades intelectuales que, en diversos grados y formas, está permitiendo la Revolución de la Informática.

La investigación que aquí se presenta intentará abordar algunos de los aspectos de la Informática, sobre todo en la relación que guarda con el área de la Ingeniería Química. Este estudio forma parte del trabajo que se lleva a cabo en el Centro Nacional de Información sobre la Carrera de Ingeniería Química, que depende de la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Química, de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, y que preside el Dr. Reynaldo Sandoval González, con el apoyo del Ing. Eduardo Rojo y De Regil.

El objetivo primordial será mostrar la forma en que el Ingeniero Químico mexicano participa en el área de la Informática, considerando todos los aspectos relacionados con dicha participación, así como la interacción que existe entre dos áreas del conocimiento que en apariencia no tienen mucho en común, idea que, como se verá más adelante, es errónea. Se expondrán antes, con el propósito de encuadrar el tema, algunos antecedentes sobre conceptos básicos de la Informática y su historia, pasando después a analizar la situación de la Informática en nuestro país, para, finalmente, entrar en el desarrollo del estudio de la relación Informática-Ingeniería Química.

Por otra parte, la realización de este trabajo de tesis se justifica por sí misma si se considera que el planeta entero se halla inmerso en una Revolución de la Información. Hace ya tiempo que se ha redefinido la frase que una vez enunciara el filósofo inglés Francis Bacon: “Saber es poder”, por otra que hoy, más que nunca, resulta cierta: “Información es poder”. Esta visión está cambiando la manera de hacer las cosas y la Ingeniería Química no puede sustraerse a este proceso transformador. Ningún estudio



serio acerca de un área del conocimiento puede en estos días ignorar a la Ciencia de la Información.

El mundo actual vive en la Era de la Información (o de la Informática). Se puede anticipar también, que cualquier desarrollo en el futuro de la ciencia y la tecnología estará indudablemente ligado a la Informática. Nadie puede actualmente permanecer ajeno a ella, y el Ingeniero Químico no es la excepción.



CAPÍTULO I. **FUNDAMENTOS DE LA INFORMÁTICA.**

1.1 DEFINICIÓN DE INFORMÁTICA Y OTROS CONCEPTOS.

Desde hace algún tiempo, la palabra “Informática” se viene empleando de manera indistinta para referirse lo mismo a cierta área del conocimiento, que para señalar la aplicación de algún tipo de tecnología, e incluso como sinónimo de ésta. Vale la pena, por tanto, establecer una definición que permita comprender el concepto de “Informática” y diferenciarlo de otros que pudieran estar relacionados con él, tales como “Tecnología”, o “Computación”.

Se aporta a continuación una definición del término “Tecnología”, el cual, a menudo se emplea de manera equivocada para denominar aquello que con frecuencia resulta ser sólo una consecuencia de la Tecnología:

“Se asume la tecnología como el saber que subyace en el diseño y producción de artefactos, sistemas y procesos (...) la tecnología es un campo de naturaleza interdisciplinaria, constituido por el saber inherente a los instrumentos que el hombre ha creado. El instrumento, como aquello que sirve para algo, da un sentido de intencionalidad a la tecnología como producción humana, relacionada con los artefactos, los sistemas, los procesos y los ambientes en el contexto de la sociedad (...) El saber tecnológico está conformado por los distintos discursos explicativos o argumentaciones que se pueden construir para comprender y valorar el mundo de los instrumentos diseñados y concebidos por el hombre. Estas explicaciones proceden del arte, la filosofía, la ideología y la ciencia, campos que, en suma, constituyen la cultura. Ahora bien, el diseño de instrumentos es un proceso de reflexión interna, mediante el cual, el individuo relaciona diversos tipos y niveles de conocimiento en la búsqueda de soluciones posibles a problemas reales. Por lo tanto, diseñar es relacionar; es una actividad de pensamiento y representa el sentido y razón de ser de la tecnología”.¹

¹ FOUREZ, Gerard. **La construcción del conocimiento científico. Filosofía y ética de la ciencia.** Nacea Ediciones. España. 1994.



En la definición anterior, puede verse que el concepto de Tecnología rebasa la idea generalizada de que se trata de una simple aplicación de las ciencias, y puede admitirse que es un saber autónomo en sí, independiente de las ciencias puras o experimentales; en consecuencia, su objeto son los sistemas tecnológicos, su discurso está constituido por modelos lógicos y matemáticos y sus componentes son el diseño, el prototipo y las reglas de producción. Desde este punto de vista, en el mundo de hoy, la Informática es un componente o área fundamental de la Tecnología.

“La Informática -el término se creó en Francia en 1962, y proviene de las palabras información y automática- es el saber que se encarga del tratamiento automático y racional de la información, que puede o no, utilizar recursos electrónicos y que no se restringe al uso de los aparatos que facilitan su almacenamiento, procesamiento, recuperación o comunicación, como suele entenderse con frecuencia (un ejemplo de un trabajo informático es el diseño de un mapa conceptual, donde existe un tratamiento automático y racional de un concepto que se desea expresar de manera concreta, relacional y jerárquica).” ²

La Informática –como ya se mencionó- es una de las expresiones tecnológicas de mayor trascendencia en la historia del hombre, y el potencial de las computadoras hace deseable que el común de la población tenga acceso tanto a ella, como al uso de los aparatos cotidianos que la hacen asequible (computadoras, redes, fax, teléfono y aparatos de recepción de señales), en virtud del manejo digital de la información.

Ubicamos, pues, a la Informática como una de las diversas tecnologías que existen, y para efecto de dejar clara la diferencia entre Tecnología e Informática, se pueden mencionar otros ejemplos de tecnologías, como la electrónica, la neumática, la hidráulica, la mecánica, la biotecnología, entre otras. Así, no debe confundirse una categoría del saber, de carácter general, como es la Tecnología, con una expresión particular de la misma como es la Informática.

“Analizando el conectivo que se emplea en Tecnología "e" Informática, es importante aclarar que no se trata de Tecnología "de la" Informática. Estas son expresiones muy diferentes. La primera hace referencia al hecho de que la Informática se convierta en una herramienta fundamental

² MARTÍNEZ, Silvio, et. al., Dinámica de Sistemas, Alianza Editorial, España, 1986.



para abordar el diseño como un asunto ligado a la Tecnología, como la búsqueda de información en el proceso de conceptualización que debe realizarse en todo proceso tecnológico; así la frase “Tecnología e Informática” no resulta ni exclusiva, ni definitoria para el área. La segunda expresión (de la) hace referencia al tratado exclusivo de la Informática como un saber tecnológico; la dedicación exclusiva al manejo y aplicación de la Informática, cabría en esta expresión”³

Esto hace necesario recordar que, sin lugar a dudas, una de las concepciones erróneas más frecuentes que se tiene sobre Tecnología, es vincularla a los instrumentos tecnológicos; que si bien es cierto son producto o resultado de investigaciones tecnológicas, no son la Tecnología en sí.

Lo anterior conduce a la perspectiva de la Informática como un asunto ligado a la Información y no estrechamente ligado al manejo de las computadoras; éstas, son las máquinas, los instrumentos que permiten el manejo eficiente de la información, pero su importancia se encuentra ligada al hecho de que se disponga de información relevante para manejar. Queda de este modo, establecida la diferencia entre “Informática” y “Computación”. El éxito de un estudiante o un profesional no se ubica más en el uso de la máquina, que en la capacidad que le permita decidir sobre cuándo utilizarla y qué esperar de ella. Acceder a las computadoras y redes informáticas no necesariamente significa acceder a la Tecnología. Son múltiples las actividades creativas que involucran a la Tecnología y que van más allá del mero proceso computacional o aún del procesamiento automático de la información.

En todo caso, lo más conveniente tal vez sea concebir a la informática como resultado de una convergencia tecnológica peculiar, que se ha producido a lo largo de ya casi medio siglo, entre las telecomunicaciones, las ciencias de la computación, la microelectrónica y ciertas ideas de administración y manejo de la información.

De este modo, habiendo establecido que Informática no es sinónimo de Tecnología de las computadoras, puede inferirse de ello la importancia que tiene no perder de vista esta diferencia, para evitar confundirse entre aspectos particulares y generales del conocimiento; no obstante, a lo largo de este documento se utilizará el término “Informática” para referirse a dicha tecnología, dada la conveniencia del vocablo para definir, no solo al “Arte de la computación”, sino a todos los elementos que rodean al manejo de las máquinas.

³ Ídem



Por ello, es necesario incluir aquí una serie de definiciones para dejar en claro algunos conceptos relacionados con el mundo de las computadoras, ya que el desarrollo posterior de este trabajo estará básicamente enfocado en esa dirección.

Se puede comenzar diciendo que no es posible hablar de la Informática, ni de cómo la Tecnología afecta a ésta, sin describir qué es el “Hardware” y el “Software”.

Se denomina *Hardware* a todo el conjunto físico (componentes electrónicos) de la computadora, que incluye: la Unidad Central de Proceso (más conocida como CPU, por sus siglas en inglés; la cual contiene todas las tarjetas de procesamiento, ya sean de sonidos, gráficos, módem, unidades de discos, procesador y memoria), el monitor, bocinas, escáner, impresora, “mouse”, teclado y micrófono, entre otros. De manera análoga, el “Software” o sistema operativo, es el programa traductor entre la máquina y el usuario, que convierte las señales digitales o analógicas de la computadora en lenguaje humano. Así, el *Hardware* es la unión de los componentes físicos capaces de realizar la comunicación entre el usuario y la máquina, a través del *Software*.

Los microprocesadores son las unidades de procesamiento de información, el lugar donde se realizan todas las operaciones, donde se controla cada parte del Hardware. La memoria, es una de las partes más importantes de una computadora, es la capacidad que tiene la máquina para retener datos o información de manera permanente o temporal. Existen dos tipos de memoria, la memoria RAM (*Random Access Memory* o Memoria de Acceso Aleatorio) y la memoria ROM (*Read Only Memory* o Memoria de Sólo Lectura).

La memoria RAM es la memoria temporal o volátil. Está diseñada para almacenar cualquier tipo de dato que no sobrepase su límite, y su capacidad se mide en “bytes”. Un “byte” es una unidad equivalente a ocho “bit” (término proveniente del inglés, de la contracción de las palabras “binary digit”, o “dígito binario” en español), el cual es la unidad de información más pequeña que puede emplearse no sólo en una computadora, sino en general, en la lógica matemática, pues es la cantidad de información que hace reducir a la mitad la incertidumbre del receptor, de modo análogo a una pregunta que solo puede responderse con un “sí” o un “no”. En Informática, el “sí” se representa con un número “1”, mientras un “no” se representa con un “0” (físicamente, esto corresponde a la apertura o cierre de un interruptor dentro un circuito electrónico, respectivamente). Es así como se



construye el sistema binario que es la base lógica y matemática de toda computadora. Un ejemplo de byte sería entonces “10001001”. En la actualidad, para referirse a las capacidades de memoria de una computadora, se habla de Megabytes y de Gigabytes, que son múltiplos equivalentes a 1’024’000 y 1’024’000’000 bytes, respectivamente.

Cada vez que se enciende una computadora, la memoria RAM aloja al sistema operativo, quien establece la comunicación entre la máquina y el usuario. Mientras permanece encendida la máquina, todos los programas e intrusiones se localizan en esta memoria. Cuando la computadora se apaga, todo lo que se encontraba en ésta, se borra. Pero la máquina dispone de otro tipo de memoria que no se pierde al apagarse el sistema: la memoria ROM.

La memoria ROM está diseñada para alojar permanentemente cualquier cantidad de datos y de cualquier tipo, siempre y cuando no sobrepase sus límites. De igual manera que la memoria RAM, su unidad es el byte, sólo que para fines prácticos, en la actualidad la memoria ROM (también denominada memoria del disco duro) es del orden del Gigabyte. Toda la información que se aloja en este dispositivo lo hace de manera permanente, esto quiere decir que si se graba cierta información en el disco, ésta persistirá alojada hasta que el usuario decida borrarla, y es independiente de las acciones de encendido o apagado de la computadora.

El Software es todo lo intangible de la computadora, lo que se encuentra en la memoria (ya sea la memoria volátil o la memoria del disco duro). Hoy en día el Software permite reconocer textos, voz, diseñar toda clase de objetos y formas, crear escenarios virtuales, editar sonidos, manipular imágenes, y tantas aplicaciones más, que de hecho, el Software parece encontrarse limitado únicamente por las posibilidades del Hardware y la imaginación humana.

1.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CIENCIA INFORMÁTICA.

Los antecedentes de las computadoras se remontan a los mecanismos que para la resolución de problemas simples de cálculo, inventaron el físico francés Blaise Pascal (1623-1662) y el matemático alemán Gottfried Leibnitz (1646-1716). El primero creó una



máquina capaz de sumar y restar mediante la combinación de una serie de ruedas dentadas. Cada una de dichas ruedas tenía diez dientes que correspondían a los números del cero al nueve, con un sistema diseñado de tal modo, que el paso del nueve al siguiente cero daba lugar a un salto de la rueda inmediatamente continua por el lado izquierdo. La máquina, llamada “Pascalina”, era semejante a los dispositivos mecánicos que se emplean en la actualidad en los contadores de kilometraje que poseen los automóviles modernos. Por su parte, Leibnitz, mejoró el dispositivo creado por Pascal, logrando que la máquina fuese capaz de realizar las cuatro operaciones aritméticas básicas, es decir, la suma, la resta, la multiplicación y la división, de forma mecánica.

Cabe considerar, por otro lado, que los auténticos inicios de la Informática datan del siglo XIX, y concretamente, de los trabajos realizados por Hermann Hollerith (1860-1929), miembro de la oficina del censo de los Estados Unidos de América. La contribución de Hollerith consistió en emplear una cinta (que más tarde sustituyó por tarjetas) en la que se grababa la información mediante perforaciones en lugares determinados, siguiendo la idea de los telares automáticos desarrollados por el mecánico inventor J. Marie Jacquard en 1805, para la realización de copias de ciertos tipos de telas cuyas muestras eran difíciles de reproducir.

Gracias a dicho dispositivo, creado en 1890, era posible realizar mecánicamente operaciones tales como la clasificación, duplicación y copia de fichas perforadas, y por lo tanto, de los datos en ellas contenidos. Las máquinas ideadas por Hollerith permitieron realizar el censo de los Estados Unidos de América (que por aquel entonces era de unos 60 millones de habitantes) en un tiempo de apenas dos y medio años. Los sistemas de este tipo, que reciben el nombre de pre-ordenadores, se siguen empleando en la actualidad de un modo restringido.

También en el siglo XIX, el matemático e inventor británico Charles Babbage desarrolló los principios de la computadora digital moderna. Inventó una serie de máquinas, como la máquina diferencial, diseñadas para resolver problemas matemáticos complejos. Muchos historiadores consideran a Babbage y a su socia, la matemática Augusta Ada Byron (1815-1852) -hija del poeta inglés Lord Byron-, como a los verdaderos inventores de la computadora digital moderna. La tecnología de aquella época no era capaz de trasladar a la práctica sus acertados conceptos; pero una de sus invenciones, la “máquina analítica”, ya tenía muchas de las características de un procesador moderno.



Incluía una corriente, o flujo de entrada, en forma de paquete de tarjetas perforadas, una memoria para guardar los datos, un procesador para las operaciones matemáticas y una impresora para hacer permanente el registro.

El siguiente paso en el camino del tratamiento automático de la información se dio con los trabajos del norteamericano Howard H. Aiken (1900-1973), quien desarrolló, entre los años de 1939 a 1944 (en el seno de la compañía *International Business Machines*, IBM, creada en 1924 a partir de la *Tabulating Machine Company*, que a su vez fue fundada por H. Hollerith), la computadora conocida como MARK 1 o ASCC (siglas de *Automatic Sequence Controlled Calculator* o Calculadora Controlada de Secuencia Automática). Esta máquina se basaba, desde el punto de vista del sistema físico, en un dispositivo eléctrico simple, el *relé* (un instrumento que permite abrir y cerrar un circuito), y su programación se llevaba a cabo mediante una cinta perforada (lo que significa que seguía la idea fundamental de la *máquina analítica*, capaz de realizar cualquier operación matemática sin intervención humana, y que Babagge no pudo perfeccionar, ya que el nivel técnico de su época no lo permitía). El ASCC o MARK 1, que puede considerarse como la primer computadora de la historia, disponía de una capacidad de memoria de 72 números de 23 cifras decimales; Sin embargo, era lenta, ya que necesitaba unos 10 segundos para llevar a cabo la multiplicación de dos números de 10 cifras. Además, su peso era de unas cinco toneladas, incorporaba unos 5.000 *relés* y ocupaba mucho espacio. Dicha instalación estuvo en funcionamiento desde 1944 hasta 1959.

Por la misma época, en el campo teórico, el investigador John von Neuman (1903-1957) creó, en la década de los años cuarenta, el modelo teórico de la configuración de las computadoras modernas, desarrollando la idea de que un programa debe almacenarse en el sistema del mismo modo que se hace con los datos, así como de que el sistema debe disponer de capacidad lógica y que el propio programa debe estar formado por un encadenamiento de sentencias lógicas.

Posteriormente, durante la II Guerra Mundial (1939-1945), un equipo de científicos y matemáticos ingleses que trabajaban en Bletchley Park, al norte de Londres, crearon lo que se consideró el primer procesador digital totalmente electrónico: el "Colossus". Hacia diciembre de 1943 el *Colossus*, que incorporaba 1.500 bulbos o tubos de vacío (dispositivos electrónicos formados por dos electrodos encerrados en una ampolla de vidrio, de la que se extraía el aire para formar vacío), se encontraba ya en operación. Fue



utilizado por los militares ingleses, para decodificar los mensajes de radio cifrados de los alemanes.

El siguiente paso se produjo gracias a la aplicación de la electrónica a la resolución de los problemas técnicos. En 1946, la Escuela Moore de Ingeniería Electrónica, situada en Filadelfia, Estados Unidos, construyó la primera gran máquina electrónica de calcular. Había sido diseñada en la Universidad de Pennsylvania, entre 1943 y 1946, por J. Mauchly, J. P. Eckert y H. H. Goldsflne. Se llamaba ENIAC (siglas de Electronic Numerical Integrator and Computer, o Computador e Integrador Numérico Electrónico, en español). Fue el primer calculador digital carente de piezas móviles (salvo los dispositivos de entrada y salida de la información).

El ENIAC estaba formado por 18 000 válvulas de vacío, pesaba unas 30 toneladas y consumía 150 Kilowatt (kW). Sus dimensiones eran tales que se encontraba albergado en un edificio expresamente construido para tal fin. Sin embargo, como ejemplo comparativo, a pesar de su enorme tamaño, un procesador moderno compuesto por un único microprocesador de 25 mm² de superficie, es capaz de trabajar unas 100 veces más rápido de lo que lo hacía el ENIAC.

A finales de la década de 1950 el uso del transistor en las computadoras marcó el advenimiento de elementos lógicos más pequeños, rápidos y versátiles que los que contenían las máquinas con válvulas (bulbos de vacío).

En los años siguientes, el progreso de este tipo de instalaciones fue cada vez más acelerado y continuó en una serie de etapas que reciben el nombre de generaciones, y que abarcan periodos determinados según se trate del sistema físico o del lógico.

La primera generación la constituyen las computadoras que se construyeron entre los años 1950 y 1960. Se trata de las primeras máquinas de este tipo que se fabricaron con fines comerciales, siendo el bulbo de vacío el componente electrónico básico que hacía posible su funcionamiento. Estas máquinas se programaban directamente en el lenguaje de la máquina y eran capaces de realizar hasta mil instrucciones por segundo.

La segunda generación es la que comprende a las computadoras construidas entre los años 1960 y 1965. Dicha generación se caracteriza por el hecho de que su



componente electrónico básico es el transistor (dispositivo electrónico que actúa como un interruptor, ya que hace posible el paso o bloqueo de la corriente entre dos puntos, en función de la tensión aplicada a un tercero). El empleo de este dispositivo hizo que dicha generación sobresaliera por lograr una sustancial reducción del consumo de energía y del volumen ocupado por las máquinas, así como un considerable aumento de la confiabilidad y de la velocidad de cálculo de las mismas (que llegaba hasta el millón de instrucciones por segundo). Los progresos del sistema lógico de las computadoras dieron paso también a la aparición de los sistemas operativos, el procesamiento en régimen de tiempo compartido, los lenguajes de alto nivel, y otras aplicaciones.

La tercera generación, que abarca desde 1965 a 1975, se caracterizó principalmente por la reducción de las dimensiones de los componentes, ya que su construcción y funcionamiento se basa en el empleo de los circuitos integrados (hacia 1974 se logró obtener un circuito integrado que albergaba hasta 20 000 componentes en una superficie de 25 mm²).

La cuarta generación abarca desde 1975 hasta la actualidad, y se caracteriza fundamentalmente por la continuación del proceso de integración de circuitos electrónicos que culminó en 1975, con la fabricación de una placa que permitía colocar 60 000 componentes en una superficie de 25 mm². Es en esta generación cuando aparece el microprocesador (o "chip"), en el que se integran la unidad aritmética lógica, la unidad de control y los registros, y surge así, la primera Unidad Central de Proceso (CPU). La aparición del microprocesador permitió, además, que la Tecnología de la Informática se popularizara, debido que éstos comenzaron a fabricarse en forma masiva. Esta etapa se caracteriza por la especialización de las aplicaciones de la Ciencia Informática, entre las que destacan:

- Las telecomunicaciones, que hacen posible la comunicación y el intercambio de información entre personas separadas por grandes distancias.
- El tratamiento electrónico de la imagen, gracias al cual se pueden crear, manipular e interpretar imágenes por medio de la computadora.
- Las bases de datos, que son colecciones de datos interrelacionados y estructurados, que se almacenan independientemente del programa utilizado, y



que permiten evitar problemas tales como la duplicación de la información contenida en los archivos.

- La inteligencia artificial, rama de la Informática que se especializa en el tratamiento lógico de la información.
- El desarrollo de sistemas expertos, que se aplican, por ejemplo, a la medicina y la ingeniería.
- La creación de autómatas o “robots”, máquinas capaces de reconocer elementos y formas e interactuar con el medio en el que desarrollan su actividad, y cuya creciente aplicación en los procesos industriales ha generado una nueva rama de la técnica, denominada “robótica”.

Finalmente, se habla de la llamada “quinta generación”, puesta en marcha por las industrias japonesas del sector y en la cual, a partir de 1981, se trabaja en el desarrollo de procesadores que manejen información a velocidades cada vez mayores desde el punto de vista del sistema físico, sin abandonar por ello, la idea de trabajar con un sistema lógico que tenga como base la simulación de los procesos que tienen lugar en el cerebro humano. Es en esta etapa cuando se vuelve común el uso de las computadoras personales, o PC's. El concepto de las máquinas de la quinta generación se basa en cuatro elementos fundamentales: el módulo de resolución de problemas, el dispositivo de gestión de las bases de información (es decir, aquella parte del sistema que alberga la información del mismo, que está representada mediante reglas de producción o redes semánticas), una interfase de lenguaje natural (por ejemplo, el idioma inglés, que es el que permite la interacción con el usuario) y, finalmente, un módulo de programación, que el usuario puede manipular mediante programas o “paquetes” especializados en ciertas tareas.

Sin duda, el surgimiento del Internet, el continuo esfuerzo por fabricar procesadores más rápidos y eficientes, la invención de aparatos de comunicación cada vez más complejos y el constante mejoramiento de los “software” o programas, hacen ya poco práctica y confusa la idea de clasificar el avance de la Informática en etapas o generaciones. De tal manera, al margen de la cantidad de generaciones de computadoras que aún falten por desarrollarse, la verdadera importancia radica en el hecho de que el tiempo de vida de cada generación será cada vez más corto.



1.3 IMPORTANCIA DE LA INFORMÁTICA PARA EL DESARROLLO DE LA SOCIEDAD MODERNA.

A) La Informática cotidiana.

“En los últimos años, y a medida que han ido evolucionando hacia estructuras alimentadas por flujos crecientes de información, las sociedades han debido adecuar sus formas de organización, sus costumbres y hasta sus valores, es decir, su cultura, a la realidad cambiante de la tecnología moderna” .⁴

Al analizar el párrafo precedente, se encuentran de pronto ideas sobre las cuales es preciso reflexionar, pues dan una idea clara de la forma en que la Ciencia Informática influye y llegar a moldear incluso, las acciones y hábitos de la gente de hoy. Basta echar una simple mirada a los alrededores para advertir que una buena parte de los objetos, aparatos o instrumentos que utiliza cualquier persona en su vida cotidiana, estuvieron relacionados, en algún momento, durante su fabricación o diseño, con el empleo de una computadora.

No obstante, una persona común no es todo el tiempo un agente pasivo de la Informática (lo que significa que no sólo recibe sus efectos dada la utilización que de ella hacen terceros), sino que, de manera a veces inadvertida o inconsciente, se involucra en ella, por ejemplo, cuando accede a un cajero automático, o cuando en su trabajo debe enfrentarse al teclado de una terminal. Cada vez con mayor frecuencia, aparecen circunstancias en las que la gente debe vencer su temor, ponerse frente a una computadora, y, con mayor o menor esfuerzo, operar alguna máquina para dar solución a problemas surgidos en el desempeño de sus actividades cotidianas.

De cualquier forma, es claro que todavía el número de personas que se encuentran empleadas en actividades directamente relacionadas con la Informática es relativamente pequeño, en comparación con aquellas que inconscientemente hacen uso de ella. Así, la sociedad, al irse incorporando a la Informática cotidiana, tampoco es consciente del proceso

⁴ ZAMORANO, Héctor. Seminario sobre objetivos, metodología y pedagogía de la enseñanza de la informática. Publicaciones UNAM. México. 1998.



evolutivo que hizo posible este acercamiento entre las máquinas y el ser humano. Mientras que en sus orígenes los lenguajes se orientaban a la programación como fin, hoy se orientan al resultado, permitiéndole al usuario crear sus propias aplicaciones de manera rápida y sencilla. Todo parece indicar que los mayores avances en esta evolución, en realidad no se miden tanto por la compleja arquitectura de las computadoras actuales, como por la dinámica interacción hombre-máquina que ha podido llegar a establecerse.

La generalización en el uso de las aplicaciones de la Informática hace pensar, que al menos en los países con mayor desarrollo en este campo, dentro de poco tiempo habrá más trabajadores frente a una computadora que frente a herramientas convencionales, con lo cual se estaría ante las puertas de la sociedad de los “trabajadores del conocimiento”. No será necesario que estos *trabajadores del conocimiento* sean especialistas en Informática, sino que estén capacitados para desarrollar su especialidad profesional mediante el empleo de una computadora.

Se pueden enunciar algunos ejemplos de aplicaciones de la Informática tan sólo para esbozar un panorama de la forma en que ésta ha ido permeando las actividades humanas, hasta llegar a hacerse indispensable para la realización de un buen número de ellas.

En el hogar, pequeños microprocesadores controlan videograbadoras, hornos de microondas, lavadoras, televisores, automóviles y una cantidad cada día mayor de aparatos de uso común. En las grandes empresas, los departamentos administrativos y financieros dependen casi completamente de sistemas de información que funcionen de manera segura, rápida y confiable.

En la industria, las computadoras tienen también un importante papel como herramienta para facilitar los procesos de diseño y fabricación de productos. Hoy se pueden encontrar aplicaciones de la Informática en áreas que van desde el trazado de planos, la automatización y el control de procesos industriales, hasta el diseño asistido por computadora.

Según especialistas europeos, la industria de ese continente muestra una tendencia a pasar de una estructura actual de costos de 50% en materias primas, 35% en mano de obra y 15% en gastos de fabricación, a otra con la siguiente distribución: 80% en



materias primas, 15% en mano de obra y 5% en gastos de fabricación ⁵. Evidentemente, esta tendencia indica que se entablará una dura lucha por ocupar el disminuido porcentaje relativo a la mano de obra. Y por supuesto, al mismo accederán aquellos que posean una capacidad adecuada y actualizada para hacerse cargo de los procesos cada vez más automatizados. Esto se aplica, desde luego, no sólo para Europa, sino también para países que, como México, aspiran a ingresar en el mercado internacional como un competidor más.

Para los Gobiernos de todo el mundo, es imprescindible contar con un buen sistema de recopilación y control de la información, que les permita manejar sus recursos y tomar decisiones en consecuencia. Por otra parte, las ciencias exactas y las ingenierías son probablemente las áreas del conocimiento que más se han beneficiado con el desarrollo de la Ciencia Informática, pues ésta ha venido a hacer asequible la ejecución de cálculos que por otros métodos habrían resultado sumamente lentos e incluso imposibles de realizar.

En la educación, existe una creciente necesidad de involucrar herramientas informáticas en el proceso de aprendizaje; hoy en día se pueden encontrar computadoras en aulas de clase, laboratorios, bibliotecas y museos, como un elemento más del ambiente educativo.

Se podrían continuar enlistando una gran cantidad de actividades en las que interviene, en algún sentido, al menos una aplicación de la Informática. Dichas actividades podrían pertenecer a ámbitos que irían desde el deporte hasta la religión, desde el entretenimiento hasta el espionaje y desde el arte hasta la guerra.

B) La “Cultura Informática”.

Que un país pueda desarrollar una “Cultura Informática” propia depende de complejos factores sociológicos, económicos e industriales. Esta cultura permitiría que las aplicaciones de la Ciencia Informática se orientaran a resolver las necesidades reales del país. Pero si esto no es posible, la *Cultura Informática* de ese país será irremediabilmente colonizada.

⁵ LIIKANEN, Erkki. La Unión Europea ante la Sociedad de la Información. Revista electrónica *Novática*, No. 145, May-Jun 2000, pág. 9.



En los últimos años la aparición de una gran cantidad de computadoras y otros dispositivos tecnológicos en nuestro país, muestra lo que equivocadamente parece ser el ingreso de México a una *Cultura Informática* avanzada. Lamentablemente, esta aseveración no es del todo cierta, porque esencialmente se sigue haciendo lo mismo que antes de la computadora, pero ahora con una herramienta más cara y elaborada. Se trata de una sub-utilización de la Informática.

Para dar una idea más clara de lo que debe entenderse por “Cultura Informática”, se pueden establecer cinco categorías que muestran los distintos grados de vinculación de la gente con las diversas posibilidades ofrecidas por ésta tecnología: Informática-Ciencia, Informática-Industria, Informática-Negocio, Informática-Uso e Informática-Mito.⁶

La *Informática-Ciencia* implica suponer la Informática como un objeto científico. Quien se acerca a ella con esta concepción, busca ampliar el saber de la Ciencia Informática. En este caso, la Informática es entonces el objeto de los estudios y las investigaciones.

La *Informática-Industria* tiene como objetivo primordial la producción de equipos o sistemas informáticos (máquinas, servicios, software). La *Informática-Negocio*, vinculada a la anterior, tiene como misión abrir y ampliar mercados a la Informática-Industria; no obstante, puede darse el caso de que exista el Negocio de la Informática sin estar acompañado por una industria local o autóctona. La *Informática-Uso* implica servirse de la Informática como instrumento para resolver problemas; es decir, lo que interesa es determinar qué es lo más eficaz y sencillo para llevar adelante una determinada aplicación.

Por último, la *Informática-Mito* se encuentra constituida por todas aquellas personas ajenas a la Informática, cuyas ideas al respecto se encuentran conformadas por lo que ven o escuchan en la prensa, en las películas, la televisión, y otros medios de comunicación.

Este bosquejo de los aspectos culturales de la Informática resulta muy útil para corroborar la afirmación que se hizo respecto a la existencia de una sub-utilización de la informática en México. Bastaría con trazar un rápido perfil del país siguiendo esos cinco lineamientos básicos para tener una visión real de la situación en la que se encuentra. Parte de este análisis se abordará en el siguiente capítulo.

⁶ Ídem



1.4 EL FUTURO DE LA INFORMÁTICA.

Aunque al momento de la realización de este trabajo, aún parecen lejanas algunas posibilidades de la Informática futura, tales como la nanotecnología, otras, como la aparición de los procesadores cuánticos, parecen ya una realidad que podría cambiar radicalmente el mundo de la Informática en unos pocos años. De hecho, puede decirse que el futuro de la Informática está en una gotita de cloroformo.

Un grupo compuesto por investigadores de la IBM, del Instituto Tecnológico de Massachussets, de la Universidad de California en Berkeley y de la Universidad de Oxford en Inglaterra, anunciaron recientemente que habían conseguido fabricar el primer procesador basado en los principios de la mecánica cuántica ⁷.

Estos científicos, coordinados por el físico estadounidense Richard J. Hughes, consiguieron algo en lo llevaban trabajando varios años: fueron capaces de crear una computadora en el que el procesador consiste en los átomos de hidrógeno y cloro de la molécula del cloroformo, y lo utilizaron para ordenar una lista desorganizada de artículos.

El descubrimiento ha desencadenado una ola de entusiasmo entre los físicos y los científicos de la informática, y está llevando a docenas de centros de investigación de todo el mundo a realizar experimentos similares que auguran el advenimiento de una era de procesadores denominados cuánticos, máquinas especializadas que posiblemente un día sean miles o millones de veces más rápidas que los superprocesadores más potentes de la actualidad. Así, en la búsqueda de herramientas más poderosas para realizar operaciones a velocidades extraordinarias o explorar grandes bases de datos, empresas informáticas como Hewlett Packard, ya están formando equipos de investigadores para trabajar con una generación de sistemas informáticos cuánticos que puedan entrar en funcionamiento en la próxima década. Expertos en Informática de la IBM ⁸ consideran que por esas fechas (probablemente antes del 2020) la tecnología de las computadoras convencionales alcanzará sus límites físicos cuando los microprocesadores se acerquen al tamaño de un puñado de moléculas.

A diferencia de los procesadores convencionales actuales, constituidos por series

⁷ Rama de la física que describe el mundo de los electrones, en el que se aplican principios distintos a los de la física clásica.

⁸ Nota informativa. Portal **IBM Noticias-México**, fecha de publicación: 08-12-2004.



de millones de interruptores digitales que pueden accionarse y desconectarse rápidamente, los procesadores cuánticos estarían compuestos de unidades llamadas “q-bits” (contracción de las palabras <<quantum bits>>, o bits cuánticos) del tamaño de una molécula.

Mientras que los microcircuitos de hoy en día representan los datos mediante un sistema binario de un “uno” o un “cero”, un *q-bit* puede representar datos en sistemas de “unos”, “ceros” o muchos otros estados, simultáneamente. La física cuántica denomina a este fenómeno, superposición, y teóricamente existe una infinidad de superposiciones posibles. El concepto intuitivo es el siguiente: mientras que un bit de un procesador clásico puede ser o blanco o negro solamente, un *q-bit* podría adoptar simultáneamente todos los colores del espectro. Un procesador cuántico podría realizar muchos cálculos al mismo tiempo. Para leer la información de un procesador cuántico se emplearían técnicas de Resonancia Magnética Nuclear.⁹

El programa de clasificación con el que trabajaron se conoce como algoritmo *Grover* de búsqueda. Es semejante a abrir cuatro puertas diferentes para encontrar un balón escondido tras una de ellas. Con un procesador convencional sería necesario abrir, por término medio, más de dos puertas para encontrar el balón. Un procesador cuántico es capaz de abrir las cuatro puertas y localizar el balón en un solo paso.

Las consecuencias de la producción masiva de superprocesadores de este tipo no han sido aún debidamente medidas. Sólo por poner un ejemplo, se recordará que todos los sistemas de seguridad financieros o militares en el mundo, se encuentran hoy protegidos de las intromisiones no autorizadas desde la red, por medio de candados cuya efectividad se basa en la existencia de claves de acceso basadas en sistemas crípticos de muchos dígitos, que aún resultan difíciles de descifrar para las máquinas actuales por su limitada velocidad de procesamiento de datos. Frente a una supercomputadora cuántica, sencillamente ninguno de los sistemas actuales de seguridad funcionaría. Por supuesto, existe el otro lado de la moneda: ¿Cuáles serían las posibilidades para la medicina, si se dispusiera de una computadora capaz de procesar la información de una cadena completa de ADN, en tan sólo unos segundos? ¿Qué alcances podrían tener la ingeniería y las ciencias exactas?. Solo el tiempo podrá proporcionar las respuestas, pero con seguridad la Informática formará parte esencial de estos nuevos adelantos técnicos.

⁹ Técnica de análisis químico empleada para estudiar la estructura de las moléculas basada en la medición de campos magnéticos.



CAPÍTULO II. **LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INFORMÁTICA EN MÉXICO.**

2.1 INFRAESTRUCTURA ACTUAL Y ESTRATEGIAS DE DESARROLLO.

A) La Informática como factor de desarrollo.

El aprovechamiento adecuado de la información permite a un país aumentar la productividad en todas las áreas de su economía, lo que generalmente propicia una mejoría en los niveles de bienestar de sus habitantes. Desde hace unos años y con la incorporación de la **Tecnología de la Información (TI)** en el diseño, implementación y control de los procesos productivos, los países industrializados se han esforzado por lograr la automatización generalizada de sus herramientas de producción en la búsqueda de varios propósitos: una elevación sustancial de la productividad; el mejoramiento de la calidad de los productos; un control más seguro de los procesos, la disminución del costo relativo de la mano de obra frente al de la tecnología de producción y el incremento en la capacidad de innovación, que permite a las empresas ponerse en ventaja frente a sus competidores. A estos adelantos se suma, además, el hecho de que el uso adecuado de la tecnología Informática favorece el ahorro de tiempo, energéticos y materias primas, lo que puede contribuir a la solución de problemas como la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales del planeta.

Así, el verdadero valor de la Informática radica en que interviene en todos los sectores industriales, en el comercio y en los servicios, potenciándolos significativamente cuando se utiliza en forma adecuada, o limitando su competitividad en caso contrario. Las sociedades que han logrado incorporar la Informática a su cultura cuentan con una ventaja económica y social invaluable en la medida en que el sistema de distribución mundial del conocimiento, los servicios y la producción, que determina el papel de cada sociedad en la división internacional del trabajo, está dependiendo cada vez más, en forma esencial, de estas tecnologías. El saber científico y tecnológico, así como la capacidad social de



aprovechamiento de éste son pues, de tal importancia, que pueden afectar la viabilidad económica y cultural de las naciones

Los países que han logrado destacar en Informática deben sus avances, en gran medida, a políticas de fomento directas, como las estrategias puestas en marcha desde hace años en Japón y en algunos países del sureste de Asia, o la integración tecnológica - aún en proceso- de la Comunidad Europea; o indirectas, como las redes de cómputo y la investigación en Informática avanzada, desarrollada por los militares en Estados Unidos de América. Es importante señalar que también en el caso de países menos desarrollados, como Singapur e Irlanda, los efectos de una política específica orientada hacia la investigación tecnológica, han sido claramente exitosos. Por el contrario, políticas pasivas al respecto, han dado como resultado rezagos y pérdida de competitividad.¹⁰

En México, desde la decisión, a mediados de la década de 1980, de adherirse al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT), se ha ido definiendo una estrategia de apertura comercial y competencia en los mercados globales. Años después, con la firma en 1994 del Tratado de Libre Comercio (TLC) con Canadá y los Estados Unidos de América, y con la incorporación de México a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), se han establecido compromisos y condiciones específicos para el comercio exterior. México optó, con estas decisiones, por participar como un miembro activo entre las naciones más avanzadas del orbe

En este contexto, es de fundamental importancia reconocer que la Informática es una tecnología que México no domina, lo que puede entenderse como una clara consecuencia de que la Informática se crea, se modifica y se comercializa fuera de México.

El país ha sido, y muy probablemente seguirá siendo, un receptor neto de tecnologías de la información, pues existen problemas de fondo a este respecto, que no parecen tener solución a corto plazo: una base de creadores y profesionales especializados en Informática sumamente limitada, escasa participación del capital nacional, incipientes esquemas de observación, monitoreo e incorporación de tecnologías de información y escasos intermediarios tecnológicos expertos, entre otros.

¹⁰ Artículo electrónico: "**Acceso gratuito a 2000 cursos del MIT en Internet: gran oportunidad para las Universidades de los países en desarrollo**". Portal de la UNESCO, disponible en <http://portal.unesco.org/es/> Fecha de publicación: 17-01-2005.



De tal manera, resulta difícil imaginar que México pueda participar en igualdad de circunstancias en los mercados internacionales, teniendo un desarrollo informático deficiente, en competencia con otros países que han sabido utilizar estas tecnologías de manera más provechosa (en las Tablas 2.1 a 2.4, se proporcionan datos comparativos sobre la tecnología informática disponible, las inversiones efectuadas por algunos países en ese renglón y la contribución de México al mercado mundial de la Informática).

Tabla 2.1 Computadoras personales (PCs) por países seleccionados, 2000-2002

Países seleccionados	2000		2001		2002	
	Miles	Por cada 1000 habitantes	Miles	Por cada 1000 habitantes	Miles	Por cada 1000 habitantes
Argentina	2 560	71.4	2 900	80.1	3 000	82.0
Brasil	8 500	50.1	10 800	62.9	13 000	74.8
Canadá	12 900	419.0	14 200	456.4	15 300	487.0
Chile	1 420	93.4	1 640	106.5	1 796	119.3
Colombia	1 500	35.4	1 800	42.1	2 133	49.3
Estados Unidos de América	161 000	572.1	178 000	625.0	190 000	658.9
México	5 700	57.6	6 900	68.7	8 353	82.0
Uruguay	350	104.9	370	110.1	ND	ND
Venezuela	1 100	45.5	1 300	52.6	1 536	60.9
Corea del Sur	18 615	404.8	22 495	480.8	23 500	493.7
Japón	40 000	315.2	45 600	358.2	48 700	382.2
Singapur	1 941	483.1	2 100	508.3	2 590	622.0
Alemania	27 640	336.0	31 317	379.9	35 600	431.3
España	5 800	144.6	6 800	168.2	7 972	196.0
Francia	17 920	304.3	19 500	328.6	20 700	347.1
Italia	10 300	179.8	11 300	194.8	13 025	230.7
Países Bajos	6 300	394.1	6 900	428.4	7 557	466.6
Reino Unido	20 190	337.8	22 000	366.2	23 972	405.7
Suecia	4 500	506.7	5 000	561.2	5 556	621.3
Australia	9 000	469.8	10 000	515.8	11 100	564.5
Total mundial	463 130	79.7	523 628	88.9	584 723	98.6

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 02-06-2004

En otro sentido, asumir un papel pasivo, limitado a la apertura comercial hacia los productos o aplicaciones de la Informática venidos del exterior, significa renunciar a los beneficios que otras naciones han obtenido al invertir en políticas de apoyo específico a esta tecnología, y que les han permitido no sólo participar en el mercado mundial de las industrias asociadas a la Informática, sino favorecer también todas sus potencialidades de modernización y competitividad en general.



Tabla 2.2 Usuarios de Internet por países seleccionados, 2000-2002

Países seleccionados	2000		2001		2002	
	Miles	Por cada 10,000 habitantes	Miles	Por cada 10,000 habitantes	Miles	Por cada 10,000 habitantes
Argentina	2 600	725.2	3 650	1 007.6	4 100	1 120.2
Brasil	5 000	294.5	8 000	465.6	14 300	822.4
Canadá	12 971	4 212.6	14 000	4 500.1	16 110	5 128.3
Chile	2 537	1 668.1	3 102	2 014.2	3 575	2 375.4
Colombia	878	207.5	1 154	269.6	2 000	462.0
Estados Unidos de América	124 000	4 406.2	142 823	5 014.9	159 000	5 513.8
México *	5 058	274.0	7 047	362.0	10 765	985.0
Uruguay	370	1 108.8	400	1 190.1	<u>ND</u>	<u>ND</u>
Venezuela	820	339.3	1 153	466.2	1 274	505.6
Corea del Sur	19 040	4 140.5	24 380	5 210.5	26 270	5 518.9
Japón	38 000	2 994.0	48 900	3 841.6	57 200	4 488.6
Singapur	1 300	3 235.7	1 700	4 115.0	2 100	5 043.6
Alemania	24 800	3 014.9	31 000	3 760.3	36 000	4 361.7
España	5 486	1 367.3	7 388	1 827.5	7 856	1 931.0
Francia	8 460	1 436.5	15 653	2 637.7	18 716	3 138.3
Italia	13 200	2 303.8	15 600	2 688.8	19 900	3 524.4
Países Bajos	7 000	4 378.5	7 900	4 905.2	8 200	5 063.3
Reino Unido	15 800	2 643.6	19 800	3 295.9	25 000	4 231.0
Suecia	4 048	4 558.3	4 600	5 162.7	5 125	5 730.7
Australia	6 600	3 445.2	7 700	3 971.7	9 472	4 817.4
Total mundial	388 082	649.2	495 886	817.9	626 579	1 027.9

* Mayores de 6 años.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 02-06-2004

No obstante que este panorama dista de ser alentador, se tiene todavía la posibilidad de incrementar paulatinamente el grado de autodeterminación frente a los países productores y vendedores de Tecnología Informática. Por ejemplo, el consumo de las tecnologías de la información en México está creciendo más rápidamente que en otros países. Esto convierte a México en un mercado interesante para algunos proveedores de estas tecnologías (ver Tablas 2.5 y 2.6), lo que puede atraer inversiones para desarrollar desde aquí otros mercados emergentes. ¿En qué medida puede participar el capital mexicano en este mercado? ¿En qué segmentos está la mayor rentabilidad y las ventajas nacionales? ¿Qué tipo de alianzas estratégicas se pueden desarrollar? ¿Con qué países?.

**Tabla 2.3 Gasto en tecnologías de información y comunicaciones por países seleccionados, 1995 y 2001**

Países seleccionados	Gasto total en tecnologías de información y comunicaciones (Millones de dólares)		Gasto en tecnologías de información y comunicaciones como porcentaje del PIB		Gasto en tecnologías de información y comunicaciones per cápita (dólares)	
	1995	2001	1995	2001	1995	2001
Argentina	9 414	11 642	3.6	4.0	271	310
Brasil	18 882	50 031	2.7	8.3	121	287
Canadá	41 166	60 896	7.0	8.7	1 402	1 960
Chile	2 719	5 715	4.2	8.1	191	371
Colombia	2 983	10 434	3.2	12.0	85	231
Estados Unidos de América	557 252	812 635	7.5	5.9	2 119	2 924
México	10 619	19 211	3.7	3.2	113	196
Venezuela	2 724	4 943	3.5	4.0	126	199
China	20 401	66 612	2.9	5.7	17	53
Corea del Sur	23 168	32 301	4.7	7.4	514	676
Japón	279 798	413 772	5.3	9.6	2 228	3 256
Singapur	5 735	9 592	6.9	9.9	1 920	2 110
Alemania	125 825	154 645	5.1	7.9	1 538	1 880
España	21 673	30 366	3.7	5.1	553	769
Francia	90 660	120 569	5.8	9.1	1 559	2 048
Italia	45 353	64 555	4.1	5.7	791	1 117
Países Bajos	26 207	37 145	6.3	9.3	1 691	2 327
Reino Unido	85 487	137 726	7.6	9.7	1 460	2 319
Rusia	6 188	9 908	1.8	3.3	42	68
Suecia	17 915	24 874	7.5	11.3	2 029	2 804
Australia	27 545	37 673	7.6	10.7	1 524	1 939

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
 Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 02-06-2004

Tabla 2.4 Participación del mercado mexicano en el mercado mundial de tecnología de información.

Concepto	1994	1997	1998	2002 *
Cifra estimada de inversiones mundiales en Informática (Millones de dólares)	414 398	716 903	781 297	1 142 522
Porcentaje de participación de México en el mercado mundial	0.8	0.5	0.6	0.7

* Cifras estimadas.

FUENTE: INEGI-Worldwide Blackbook 1998.
 International Data Corporation, June 1998

Tabla 2.5 Mercado mexicano de tecnologías de



información, 1998-2003

Año	Millones de dólares			
	Total	Equipo	Software	Servicios
1998	4 170.0	2 377.0	493.7	1 298.9
1999	4 663.5	2 513.3	521.7	1 628.5
2000	5 716.0	3 328.0	608.0	1 780.0
2001	5 929.0	3 444.0	632.0	1 853.0
2002	6 186.0	3 600.0	631.0	1 955.0
2003	6 510.0	3 773.0	637.0	2 100.0

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003

Tabla 2.6 Importación de Tecnología de la Información (TI) de acuerdo al tipo de equipo, Año 2000

Tipo de equipo	Valor (Millones de dólares)	Porcentaje
Máquinas para procesamiento de datos	113	35.1
Impresora láser	243	7.5
Unidades de memoria	723	22.4
Monitores	263	8.2
Otros	864	26.8
Total	3 229	100.0

NOTA: No incluye refacciones, partes y componentes

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 2000.

Sin duda, será necesario hacer un esfuerzo para dar respuesta a estas interrogantes y aprovechar al máximo los beneficios potenciales que estas condiciones ofrecen al país, para tratar de iniciar una efectiva disminución de la brecha informática entre México y los países avanzados.

B) Infraestructura nacional.

Si bien en los últimos años se ha venido incrementando en forma significativa el uso de las tecnologías de la información en el país, esta situación no se ha generalizado y se observan diferencias notables en algunos sectores. Adicionalmente, existen graves



carencias en cuanto a la infraestructura tecnológica nacional, que han propiciado ineficiencia en los procesos de adopción y aprovechamiento de la Informática.

En el sector público, por ejemplo, es notable el aumento de inversión en tecnologías de la información en los últimos años. El rezago que existía ha permitido, además, que las inversiones recientes se traduzcan en un parque informático instalado relativamente más moderno que el de otros países, sin embargo, dicha tecnología no se está explotando adecuadamente. Además, no debe olvidarse que existen diferencias relevantes entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, y las de algunos gobiernos estatales. El contraste es mayor si se las compara con las administraciones de los gobiernos municipales. Por otro lado, el sector privado ha aumentado en forma considerable la demanda de bienes y servicios informáticos; en particular, debido a los requerimientos de los grandes grupos industriales, comerciales y financieros. Sin embargo, en las pequeñas y medianas empresas la inversión en Informática es aún muy baja.

En cuanto al uso extensivo de la informática en la sociedad mexicana, el índice de computadoras por habitante y por hogar es aún bajo respecto a otros países (ver Tablas 2.1, 2.7 y 2.8), a pesar de que entre la gente existe una percepción generalizada de los beneficios que brinda esta tecnología.

Por lo que respecta a la infraestructura en recursos humanos, como ya se ha mencionado, la insuficiencia de especialistas informáticos calificados es el aspecto de mayor preocupación por ser la base fundamental para garantizar el óptimo aprovechamiento y desarrollo de la informática en el país (ver Tabla 2.9). También se requiere impulsar actividades de investigación que permitan dotar al país de la capacidad de innovación y asimilación tecnológica.

C) Estrategias.

Hace más de diez años, en noviembre de 1994, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), presentó a discusión de la comunidad informática nacional

Tabla 2.7 Equipamiento de Tecnología de Información y Comunicaciones en los hogares.



Equipamiento del hogar	2001		2002		2004 *	
	Absolutos	Por ciento	Absolutos	Por ciento	Absolutos	Por ciento
Hogares con computadora	2 743 749	11.7	3 742 824	15.2	4 744 184	18.0
Hogares con conexión a Internet	1 440 399	6.1	1 833 504	7.4	2 301 720	8.7
Hogares con televisión	21 602 234	91.8	23 092 909	93.6	24 131 830	91.7
Hogares con televisión de paga	3 181 370	13.5	3 785 962	15.3	5 064 252	19.2
Hogares con teléfono	9 419 825	40.0	11 171 798	45.3	12 614 295	47.9
Hogares con teléfono celular	ND	ND	ND	ND	9 285 284	35.3
Total de hogares	23 526 427	100.0	24 682 492	100.0	26 326 756	100.0

* Hasta el mes de junio.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 03-12-2004

Tabla 2.8 Hogares que no cuentan con computadora por principales razones.

Principales razones	2001		2002		2004 *	
	Absolutos	Por ciento	Absolutos	Por ciento	Absolutos	Por ciento
Hogares que no cuentan con computadora	20 782 678	100.0	20 939 668	100.0	21 582 572	100.0
Falta de recursos económicos	13 890 677	66.8	13 779 562	65.8	12 804 958	59.3
No la necesitan	3 766 947	18.1	3 780 292	18.1	4 542 664	21.0
No saben usarla	1 599 379	7.7	1 969 396	9.4	1 798 828	8.3
No les interesa	1 450 555	7.0	1 176 603	5.6	1 147 080	5.3
Desconoce la utilidad	ND	ND	ND	ND	681 977	3.2
Otro	51 580	0.2	221 077	1.1	431 624	2.0
No especificado	23 540	0.1	12 738	0.1	175 441	0.8

* Cifras preliminares correspondientes al mes de junio.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 03-12-2004

un estudio titulado "Elementos para un Programa Estratégico en Informática", que posteriormente se denominó Programa de Desarrollo Informático y que fue desarrollado por el Grupo Consultivo de Política Informática del INEGI, ante la necesidad de que México contara con un programa estratégico integral en Informática. En forma concreta el contenido de tal documento planteaba que los componentes más importantes de dicha estrategia, deberían basarse fundamentalmente en el establecimiento de una infraestructura

Tabla 2.9 Total de profesionistas, y profesionistas en informática por nivel de instrucción, 2000



Nivel de instrucción	Total de profesionistas		Profesionistas en informática		Profesionistas en informática con respecto al total de profesionistas (por ciento)
	Absolutos	Por ciento	Absolutos	Por ciento	
Total	9 851 874	100.0	538 292	100.0	5.5
Técnico *	3 261 526	33.1	252 934	47.0	7.8
Profesional **	6 201 951	63.0	278 578	51.8	4.5
Posgrado ***	388 397	3.9	6 780	1.3	1.7

NOTA: Población con algún grado aprobado en estudios a nivel técnico, profesional o de posgrado, y la que especificó el nivel pero no el número de grados aprobados, de acuerdo con las carreras de tecnologías de información y comunicaciones seleccionadas del catálogo de codificación censal.

* Comprende a los técnicos de nivel básico, nivel medio superior y superior.

** Comprende a los profesionistas con estudios a nivel Licenciatura.

*** Comprende maestría y doctorado.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

XII Censo General de Población y Vivienda, 2000

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 11-06-2004

sólida de recursos humanos; en el desarrollo de una coordinación efectiva entre los sectores público y privado, tanto como entre éstos y las instituciones educativas y de investigación; en una sana política de estímulo y financiamiento a las tecnologías de la información; y, en fin, en el fomento eficaz del uso innovador de las tecnologías de la información en los sectores más dinámicos de la sociedad. Lo propuesto en el programa del INEGI se integró al cuerpo del *Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000* que el presidente Zedillo presentó como estrategia de gobierno para su sexenio, resumido en seis objetivos principales:

1. Promover el aprovechamiento de la informática en los sectores público, privado y social del país.
2. Impulsar la formación de recursos humanos y el desarrollo de la cultura informática.
3. Estimular la investigación científica y tecnológica en informática.
4. Fomentar el desarrollo de la industria informática.
5. Propiciar el desarrollo de la infraestructura de redes de datos.
6. Consolidar instancias de coordinación y disposiciones jurídicas adecuadas para la actividad informática.



No obstante, las acciones propuestas por el plan, como hoy puede advertirse, no se pusieron en marcha de manera efectiva, con lo que México arribó al siglo XXI, sin una política gubernamental de desarrollo de **Tecnología de la Información (TI)**.

En términos prácticos, existen varias opciones para poner en marcha una política informática nacional. Las diferencias más importantes radican en la estrategia de promulgación y ejecución que se proponga. A continuación se exponen algunas de las disyuntivas estratégicas más evidentes que México debe enfrentar, actualmente. Existen argumentaciones a favor y en contra para cada disyuntiva.

Autosuficiencia vs Autodeterminación.

En Informática, ningún país puede, hoy, ser autosuficiente. Sin embargo, no es necesario renunciar a la autodeterminación. Entre las distintas maneras de usar la Informática, se debe ser capaz de determinar la más conveniente, por ejemplo, para elegir entre adaptar o desarrollar los sistemas que necesiten las empresas o el gobierno, o para invertir en fondos de capital de riesgo en empresas informáticas en el extranjero, para crear fondos de ese tipo en México, o por ambos. En todos los casos, lo importante es valorar adecuadamente el impacto comercial o productivo de los mismos, y determinar el momento y el modo en que se debe participar.

Evidentemente, existen distintos niveles de autodeterminación, y éstos dependen, entre otras cosas, del grado de dominio técnico, inversión y experiencia en materia informática que se tenga en el país. El grado de autodeterminación puede, por tanto, mejorar o empeorar, en función directa de las políticas que se instrumenten.

Reaccionar vs Anticipar.

Hasta ahora, las tendencias del desarrollo de la informática en México han sido consecuencia, más que de un plan concertado que anticipe ciertas necesidades, de los avances y modas internacionales, de las ofertas y políticas de algunos proveedores, o de la inercia comercial.

En términos de reglamentación, infraestructura y estandarización, así como en la conformación de una base de especialistas informáticos, intermediarios tecnológicos o



cultura nacional, puede optarse por un esquema de “*laissez-faire*” (dejar hacer) como el que ha funcionado predominantemente hasta ahora, o proponer, promover y adoptar lineamientos claros, realistas y estables de política informática que permitan sumar esfuerzos y prepararse para enfrentar con mejores elementos la competencia tecnológica global.

Imponer vs Promover.

En la legislación, planeación e instrumentación de la política informática, es preferible buscar consensos, que imponer autoritariamente una opinión. Una vez establecidos éstos, lo siguiente es contar con organismos eficaces en la promoción, vigilancia y supervisión de los planes y programas que se deriven de dichos consensos, para que los lineamientos que se formulen no sean excluyentes o limitativos de la actividad de los individuos o las instituciones y permitan, en cambio, tener un amplio respaldo y sumar, alrededor de ellos, los siempre limitados recursos materiales y humanos.

Concentración vs Acceso Universal y Abierto.

En algunos aspectos de la infraestructura informática nacional -como los sistemas nacionales de información, los estándares y las redes públicas de comunicación- es posible construir condiciones de acceso relativamente universales (a las que todos los usuarios puedan acudir) y abiertas (en las que no es necesario satisfacer condiciones peculiares de participación o pago de costos elevados). En este aspecto, promover condiciones que fomenten inversiones y acuerdos que faciliten el acceso libre de múltiples usuarios, es preferible a la concentración de recursos y poder informático en unos cuantos grandes organismos o empresas, situaciones que son comunes, por ejemplo, en las redes de terminales de punto de venta bancarias. Las condiciones de aplicación de tarifas y reglamentación pueden propiciar que sea preferible construir instalaciones propias y exclusivas, que utilizar infraestructura compartida -como ha sido el caso de las redes satelitales privadas. El efecto agregado suele ser una sobreinversión en infraestructura, efecto negativo en un país de escasos recursos en Informática, como México.

Informática de Uso vs. Industria Informática.



A estas alturas del desarrollo informático mundial, probablemente México obtendría mayores beneficios sociales y económicos de la utilización amplia y adecuada de la Informática como herramienta de competitividad, productividad y eficiencia, que si se fomenta únicamente la creación de una industria microelectrónica o informática nacional.

Sin embargo, para alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso de la tecnología, se requiere hacer un esfuerzo sistemático para crear una cultura de usuarios sagaces de la Informática, lo que a su vez supone una adecuada proporción de los distintos grupos de actores imbuidos en la Tecnología Informática. Lo ideal sería contar con un grupo de excelentes innovadores, otro de especialistas competentes e interlocutores técnico-aplicativos; y muchos usuarios educados dentro de una Cultura Informática básica muy difundida.

Aún así, hacer un uso sagaz de la Informática se vislumbra como una tarea muy difícil si no existe una base mínima industrial, de servicios, y de investigación y transferencia de tecnología, que permita anticipar mercados e incorporar innovaciones informáticas en los procesos y los productos no informáticos. En particular, se deben tomar acciones de estímulo, fomento y apoyo en ciertos nichos de la producción económica: aquellos que aporten un mayor valor agregado en los procesos de uso, asimilación e incorporación informática en la industria, el comercio, la sociedad y el gobierno; y también en aquellas áreas en donde México puede tener alguna ventaja competitiva en el sector informático internacional.

2.2 CONTRIBUCIÓN DE LA INFORMÁTICA EN SECTORES CLAVE DEL DESARROLLO NACIONAL.

Para el proceso de modernización del país, el uso de las tecnologías de la información se ha convertido en un elemento estratégico que permite la transformación de las instituciones y empresas, que pueden, de este modo, ofrecer servicios públicos y privados con mayor eficiencia a núcleos cada vez más amplios de población.

La continua introducción de equipos y sistemas informáticos al mercado mexicano ha motivado al sector público -pese a la ausencia de una política gubernamental específica



en materia de Informática- a realizar esfuerzos para definir acciones que favorezcan el adecuado uso y aprovechamiento de las tecnologías de la información.

Es así, como el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se ha convertido en el único organismo encargado de integrar los Sistemas de Información Estadística y Geográfica de México y de promover y orientar el desarrollo informático en el país. Algunas atribuciones y responsabilidades quedan a cargo de otras entidades y dependencias federales y estatales, como el Comité de Informática de la Administración Pública Estatal y Municipal (CIAPEM); sin embargo, es de destacar el papel del INEGI como autoridad nacional para fomentar el uso de la Informática (concretamente en la Administración Pública Federal), y el desarrollo informático nacional.

Apoyado en sus recursos institucionales, el INEGI lleva a cabo el proceso de constitución de un Sistema Nacional de Información, a través de la realización de encuestas, censos y muestreos frecuentes, así como estudios referentes al mercado y actividad de la Informática en México, en colaboración estrecha con diferentes instituciones y organismos públicos y privados. Asimismo, mantiene un proceso de monitoreo sistemático de las tecnologías informáticas que pueden resultar de mayor interés para la sociedad mexicana. Las actividades desempeñadas por el INEGI se realizan en colaboración con los diferentes actores que forman parte de la comunidad informática nacional y que tienen elementos de organización, intereses propios y direccionamiento en sus propias actividades; en particular, con órganos colegiados, instituciones de la Administración Pública, el sector educativo, proveedores de tecnología informática, y asociaciones y empresas internacionales. Dentro de las acciones concretas que el INEGI ha realizado en los últimos años, se cuenta el apoyo a los procesos de planeación, en las Secretarías de Estado y múltiples paraestatales, tanto en la definición de las estrategias tecnológicas generales, como en la consolidación de estructuras adecuadas de organización y gestión de la función informática, así como en la definición y puesta en marcha de algunos proyectos prioritarios de modernización. Asimismo, mediante la divulgación de toda clase de información estadística, impartición de cursos, conferencias, talleres y exposiciones, ha conseguido acercar a usuarios, proveedores, académicos y administradores a una interacción más provechosa con la **Tecnología de la Información (TI)**.

Además del INEGI, otros organismos, como las empresas relacionadas con la Informática, algunas universidades como el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la



Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y ciertas asociaciones independientes, como la Academia Mexicana de Informática, entre otras, constituyen un elemento importante para el desarrollo de la Informática en México. Son entidades activas en la formación de especialistas, técnicos y usuarios, así como en la instrumentación y promoción de actividades conducentes al desarrollo informático nacional de diferentes tipos. En este panorama, se expone a continuación la relación entre la **Tecnología de la Información (TI)** y algunos sectores fundamentales para el desarrollo nacional.

A) Educación, Ciencia y Tecnología.

Las instituciones educativas y de investigación del país que están a la vanguardia en Informática, también sustentan gran parte de la producción, almacenamiento, comunicación y uso de datos en sistemas informáticos. Se presenta aquí la conjunción entre Educación, Ciencia y Tecnología como parte de un mismo aspecto, porque, al menos en México, las dos últimas, son actividades casi exclusivas de unas cuantas instituciones de educación superior (tan sólo en la UNAM se lleva a cabo alrededor del 50% de la investigación científica del país, y en ella labora más de la tercera parte de los miembros del Sistema Nacional de Investigadores, SIN).¹¹

Entre las dependencias educativas dedicadas al estudio y desarrollo de la Ciencia Informática en el país, cabe destacar a la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA), de la UNAM, que se encarga de la operación de los sistemas centrales de cómputo académico y de las telecomunicaciones de la institución, a través de la capacitación en **Tecnología de la Información (TI)**, de prospección e innovación, y de asimilación de estas tecnologías, en beneficio de la Universidad y de la sociedad mexicana; se debe mencionar también, a la Sección de Computación del Centro de Investigación y

¹¹ UNAM. Página electrónica de la Oficina de Colaboración Interinstitucional. Coordinación de Investigación Científica, disponible en <http://www.intercambio.unam.mx/unamxxi/html/pagina44.htm>

Estudios Avanzados (CINVESTAV), del IPN, que desarrolla proyectos de investigación en tecnología informática vinculados con la formación de recursos humanos de alto nivel



(maestrías y doctorados en Ciencia Informática); sin mencionar a otras universidades públicas y privadas que han comenzado a utilizar ampliamente las herramientas informáticas para impartir, por ejemplo, cursos en línea y de educación a distancia.

Así, el Sistema Educativo Nacional ha comenzado a integrar esta tecnología como un elemento auxiliar –y a veces medular- en los planes y programas de estudio, desde los de nivel básico hasta los de educación superior, enriqueciendo con ello, el proceso enseñanza-aprendizaje.

Los profesionistas que se forman en este ambiente, también ven su práctica profesional beneficiada al hacer uso de herramientas informáticas. Algo similar sucede en el campo del desarrollo científico y tecnológico, que hace ya tiempo depende, tanto del acceso a la información a través de redes, como de la capacidad de diseñar y simular procesos computacionales para la investigación, predicción y control aplicados en todo tipo de estudios.

La relación que existe entre la Informática y la tríada Educación-Ciencia-Tecnología en México, es, por lo tanto, de sustento recíproco, pues los recursos informáticos bien aplicados generan un óptimo aprovechamiento de los recursos educativos, científicos y tecnológicos, lo que contribuye a generar a su vez, nuevos recursos informáticos o a optimizar, cuando menos, el uso de los existentes, a través de la formación de profesionales capacitados en Informática.

Respecto a la relación de la Informática con las universidades mexicanas, la Tabla 2.10 proporciona cifras que revelan el interés creciente que existe entre los estudiantes de educación superior por estudiar carreras directamente relacionadas con la **Tecnología de la Información (TI)** (por ejemplo, Licenciatura en Informática o Ingeniería en Sistemas Computacionales). En la misma, puede apreciarse que la matrícula de dichas carreras ha crecido en los últimos años aún por encima que la de carreras tradicionales de gran demanda (por ejemplo, Derecho). Mientras la demanda de las carreras informáticas se elevó un 76% del ciclo 1996-1997 al ciclo 2001-2002, la de carreras como administración, creció 46% en el mismo periodo.

Otro dato muy significativo es el siguiente: en el ciclo 1979-1980 la matrícula de alumnos que se inscribieron a carreras relacionadas con la **Tecnología de la Información**



(TI) era de sólo 3 412 alumnos, lo que representaba el 0.5% del total de estudiantes de Licenciatura del país, mientras que para el periodo 2001-2002, se registraron 177 110 alumnos inscritos en carreras informáticas, lo que correspondió a un 10.7% de la matrícula del total de carreras en México.¹²

Tabla 2.10 Matrícula de nivel Licenciatura por principales carreras, 1995/1996-2001/2002

Número de alumnos.

Carreras	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002
Psicología	28 805	29 694	31 257	34 306	39 282	47 245	53 929
Ciencias de la Comunicación	32 705	34 393	37 086	27 290	30 504	34 086	37 206
Ingeniería Civil	34 553	36 362	34 864	34 593	34 312	33 610	31 944
Arquitectura	47 580	50 102	47 610	48 422	49 776	50 098	49 980
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	49 129	50 911	53 130	39 894	41 128	42 806	44 188
Ingeniería Industrial	54 956	54 970	53 220	57 134	65 314	73 562	82 337
Medicina	58 122	59 645	57 767	62 063	64 594	69 440	70 830
Tecnología de Información y Comunicaciones	100 257	109 253	121 174	133 925	153 283	157 642	177 110
Administración	118 679	126 314	130 425	142 037	151 852	162 662	173 649
Derecho	135 286	151 128	155 332	170 304	177 427	188 346	190 338
Contaduría	162 348	165 744	157 378	154 455	152 920	151 723	144 330
Total	1 217 431	1 286 633	1 310 229	1 392 048	1 481 999	1 585 408	1 660 973

NOTA: La sumatoria no coincide con el total, debido a que la selección de carreras comprende únicamente las más pobladas para cada ciclo escolar

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003

En el nivel de estudios técnico profesional (medio superior y de capacitación), la tendencia a estudiar bachilleratos con orientación informática es similar a la de nivel Licenciatura: del ciclo 1994-1995 al 2001-2002, la matrícula creció del 25 al 30% del total de alumnos de ese nivel.¹³

¹² Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en: www.inegi.gob.mx.

¹³ Ídem.

Con relación a la infraestructura de Tecnología de la Información (TI) que existe en las escuelas del país, la Tabla 2.11 muestra el total de planteles que disponen de equipos



o herramientas informáticas, clasificados por sector (público o privado), y por nivel educativo. Resulta claro que las escuelas del sector público tienen -en términos porcentuales- menos disponibilidad de tecnología informática que las escuelas privadas (sobre todo en los niveles básicos). Se aprecia también, que un 45% del total de las instituciones educativas que hay en México, todavía no hacen uso de ningún tipo de herramienta informática.

Tabla 2.11 Escuelas con equipo informático por sector y nivel educativo, según disponibilidad, 2003

Sector / nivel	Dispone de equipo	No dispone de equipo	Total
Sector público	21 240	20 958	42 198
Primaria	12 059	16 535	28 594
Secundaria	5 091	3 425	8 516
Media superior	2 549	496	3 045
Superior	1 233	33	1 266
Sector privado	7 190	1 894	9 084
Primaria	1 438	610	2 048
Secundaria	494	79	573
Media superior	1 203	335	1 538
Superior	946	116	1 062
Total	28 430	22 852	51 282

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-09-2004

Una estadística interesante, relacionada con el estudio de la interacción entre la Informática y la Ingeniería Química -objetivo de esta tesis- es la que se muestra en las Tablas 2.12 y 2.13; en las que es posible apreciar que la mayor parte del personal docente de las Licenciaturas en **Tecnología de la Información (TI)** y Comunicaciones, tiene una formación no informática, y que, a su vez, del total de académicos no informáticos que imparten cursos en dichas carreras, el mayor porcentaje tuvo su formación en áreas de la Ingeniería, lo que ilustra significativamente el vínculo que tienen en México la Ingeniería y la Ciencia Informática, y destaca el papel preponderante del ingeniero como un profesional naturalmente capacitado en Informática. Por supuesto, los Ingenieros Químicos conforman una parte de ese sector de ingenieros mexicanos que contribuyen al desarrollo de la Informática. De la forma en como se establece esta relación en México, se hablará en el siguiente capítulo.

**Tabla 2.12 Estructura porcentual del personal docente de Licenciatura en Tecnología de Información y Comunicaciones por tipo de formación académica.**

Formación académica	1998/1999 ^a	1999/2000 ^b	2000/2001 ^c	2001/2002 ^d
Informáticos	38.1	40.4	39.2	40.0
No informáticos	61.9	59.6	60.8	60.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

^a Información de 5,796 profesores de Licenciatura en tecnología de información y comunicaciones.

^b Información de 9,301 profesores de Licenciatura en tecnología de información y comunicaciones.

^c Información de 10,555 profesores de Licenciatura en tecnología de información y comunicaciones.

^d Información de 13,197 profesores de Licenciatura en tecnología de información y comunicaciones

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003

Tabla 2.13 Estructura porcentual del personal docente no informático de Licenciatura en Tecnología de Información y Comunicaciones por área de formación académica.

Área de formación	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002
Ingeniería	53.2	43.0	43.8	38.0
Económica-administrativa	19.8	24.6	26.2	29.0
Humanidades	6.8	9.5	6.1	6.0
Ciencias sociales	8.3	9.3	9.2	9.0
Físico matemáticas	7.9	8.4	10.2	12.0
Químico biológica	4.0	5.1	4.5	6.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003

En lo que respecta a los Centros de Investigación en Informática que hay en el país, aunque en la última década su número casi se ha duplicado (ver Tabla 2.14), es claro que para conseguir un mejor posicionamiento en el escenario informático mundial, se necesita generar mayor infraestructura en el área.

**Tabla 2.14 Centros de investigación y desarrollo en Informática en México, por sector.**

Año	Sector Público	Sector Privado	Total
1990	9	6	15
1996	14	6	20
2003	24	12	36

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Encuesta sobre Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y Comunicaciones 2003.

Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 10-03-2004

Por otra parte, la Tabla 2.15 proporciona un panorama de las principales líneas de investigación en Informática que se desarrollan en el país, siendo el campo de las metodologías computacionales, el más explorado en México desde hace unos años.

Tabla 2.15 Estructura porcentual de los proyectos de investigación y desarrollo en Informática por áreas de investigación.

Área de investigación	1995 ^a	1996 ^b	2003 ^c
Hardware	24	9	8
Organización de sistemas de cómputo	12	11	7
Software	19	15	13
Datos	5	1	5
Computación teórica	4	4	5
Computación matemática	5	11	4
Sistemas de información	6	18	11
Metodologías computacionales	15	26	23
Aplicaciones informáticas	4	1	8
Otros	5	4	5
Total	100	100	100

^a Información de 151 proyectos reportados.

^b Información de 158 proyectos reportados.

^c Información de 335 proyectos reportados.

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Encuesta sobre Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y Comunicaciones 2003.

B) Industria.



Al abordar el vínculo que existe entre Informática e Industria, saltan a la vista, de inmediato, dos acepciones de dicha relación: la de “Industria de la Informática” y la de “Informática de la Industria”.

La primera se refiere, naturalmente, al sector industrial que se especializa en la fabricación y comercialización de bienes informáticos. La producción de dichos bienes consta de varias etapas, que van desde la concepción y el diseño de ingeniería (fases inexistentes a escala industrial, en México), hasta el ensamblaje final y reparación de piezas y equipos de tecnología informática, actividades que, por cierto, han originado una dura competencia entre algunos países –incluido México-, por ofrecer la mano de obra más barata en el mercado internacional del trabajo.

En este contexto, hablar de una “Industria de la Informática” nacional, es referirse, en gran medida, a la actividad que realizan las empresas ensambladoras, comúnmente denominadas “maquiladoras” (y que provienen, en su mayoría, de los Estados Unidos de América), que operan en el país. Una sola cifra ilustra esta situación: en el 2003, las exportaciones de la industria informática nacional –equivalentes a 9261 millones de dólares– correspondieron en un 69% a productos o bienes procedentes de las empresas ensambladoras que se ubican principalmente en los Estados de Baja California y Coahuila; de las cuales, el 91% se destinaron a los Estados Unidos de América.¹⁴

Sobre la forma en la que se encuentra distribuida la producción nacional de bienes y servicios de **Tecnología de la Información (TI)** (incluida la de Telecomunicaciones), la Tabla 2.16 muestra que solamente los servicios telefónicos representaron casi la mitad del valor de dicha producción en 2003, cantidad superior al 34% que toda la Industria de la Informática generó.

¹⁴ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Estadística del comercio exterior de México, 2003.

Tabla 2.16 Valor de la producción informática nacional y de telecomunicaciones, según sector y clase de actividad productiva, 2003.



Sector productivo	Clase de actividad	Valor de la producción (millones de pesos)	Porcentaje
Industria	Fabricación, ensamble y reparación de equipo y aparatos para comunicación y transmisión de datos.	11 327	6.5
	Fabricación, ensamble y reparación de máquinas de procesamiento informático.	48 665	27.8
Comercio	Comercio de computadoras y sus accesorios	21 049	12.0
Telecomunicaciones y servicios	Servicios telefónicos.	77 265	44.1
	Servicios de análisis de sistemas y procesamiento informático.	14 650	8.4
	Otros servicios de telecomunicaciones.	2 121	1.2
Total		175 077	100.0

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y Comunicaciones 2003. Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 10-03-2004

La segunda acepción, la de Informática de la Industria, tiene que ver con la infraestructura en **Tecnología de la Información (TI)** con que cuenta el sector industrial y que, como en el caso de la educación y la ciencia, contribuye a mejorar la productividad y la eficiencia en todas las áreas de actividad, facilitando las tareas de administración y funcionando como una herramienta indispensable para la operación y control de un número cada vez mayor de procesos en la Industria (tareas en las que se manifiesta uno de los múltiples puntos de interrelación entre el Ingeniero Químico y la Informática, que será explorado en detalle en el siguiente capítulo). No obstante, como puede verse en la Tabla 2.17, una cantidad considerable de establecimientos industriales (únicamente del sector privado) todavía no se beneficia con el uso de la **Tecnología de la Información (TI)**. Esta situación se explica en cierta medida al analizar los datos de la Tabla 2.18, que revelan que el 38% de las empresas pequeñas productoras de bienes de consumo no cuentan con equipamiento informático. Este dato se torna significativo si se considera que el 80% de los establecimientos industriales del país son pequeñas empresas ¹⁵.

¹⁵ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Censo económico, 2000.

**Tabla 2.17 Disponibilidad de equipo de cómputo en establecimientos, por área de actividad industrial, 2000.**

Área de actividad industrial	Con equipo de cómputo	Sin equipo de cómputo	Total
Construcción	11 912	538	12 450
Agroindustria	2 261	197	2 458
Fabricación de bienes de consumo	276 434	126 001	402 435

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).Encuesta Nacional sobre la Conversión Informática Año 2000 en el Sector Privado no Financiero, 2000.
Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003.**Tabla 2.18 Porcentaje de establecimientos que cuentan con equipo de cómputo por área de actividad industrial, según tamaño del establecimiento, 2000.**

Área de actividad	Grandes	Medianos	Pequeños
Construcción	99.6	98.3	96.5
Agroindustria	100.0	99.0	86.9
Fabricación de bienes de consumo	99.1	98.9	61.9

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).Encuesta Nacional sobre la Conversión Informática Año 2000 en el Sector Privado no Financiero, 2000.
Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de actualización: 13-08-2003.

Es muy importante señalar que en los datos de las tablas anteriores no se ha tenido en cuenta a las industrias pertenecientes al sector público, como son Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), cuya capacidad e instalaciones superan por mucho las de cualquier empresa del sector privado. Sin embargo, cabe mencionar que la infraestructura en **Tecnología de la Información (TI)** con que cuentan dichas paraestatales, es también muy extensa. Lo anterior es un resultado directo de las políticas de modernización y gestión de tecnología informática que se han promovido desde hace años en conjunción con el INEGI, como se mencionó al inicio de la sección 2.2. No obstante esta abundancia de medios informáticos, es posible que exista una sub-utilización de las herramientas de que disponen estas empresas públicas, sobre todo en las áreas que se encuentran ligadas con la operación directa de los procesos y el trabajo de campo.



C) Comercio.

Según los datos de la Tabla 2.16 (pág. 42), el comercio de bienes informáticos en el 2003, ascendió a 21 049 millones de pesos, lo que representó un 12% del valor de la producción informática total, en México. En esta cifra no se han incluido a los equipos de telecomunicaciones (como son los teléfonos celulares), que elevarían sustancialmente los números, por considerarlos como una categoría que bien puede ser independiente de la de los bienes informáticos, aunque existe una estrecha relación entre ambos (evidente, por ejemplo, en los servicios de Internet que ofrecen las compañías de telefonía celular a través de sus equipos).

Todo parece indicar, en este contexto, que el volumen del comercio informático, seguirá incrementándose en los próximos años, debido a la creciente demanda de estos bienes en el mercado nacional, tal como lo muestra la Tabla 2.5 (pág. 27). Dicho crecimiento además, no sólo incluye a la demanda, sino también a la cada vez mayor oferta de aparatos, que si bien no se contaban originalmente entre los de tecnología informática, han creado un estrecho vínculo con ésta, pudiéndose ahora clasificar como informáticos; tal es el caso de las modernas cámaras digitales, que permiten al usuario conectarlas a cualquier computadora para procesar imágenes de alta resolución, como si se tratara de un periférico más de la misma.

Por otra parte, al analizar la infraestructura en **Tecnología de la Información (TI)** que posee el sector comercial en México, se encontró que la gran mayoría (71.5% de un total de 1 685 330 comercios) de los establecimientos comerciales del país, registrados hasta el 2003, no contaban con dicho equipamiento.¹⁶

De manera similar a como ocurre con el sector industrial, son los establecimientos pequeños los que tienen menos disponibilidad de esta tecnología, pues mientras un 96% de los grandes comercios dispone de equipo informático, los medianos y pequeños comercios sólo disponen de éste en un 69 y 24% de los casos, respectivamente.¹⁷

¹⁶ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Encuesta sobre Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y Comunicaciones, 2003.

¹⁷ Ídem.



D) Servicios.

Este es el sector productivo que, sin duda, se ha visto más beneficiado en términos económicos con la entrada de tecnologías informáticas, que han generado una revolución en servicios como los de la telefonía, o creado, en otros casos, nuevos mercados, como el de la provisión de servicios de Internet. Con la incorporación constante de nuevos aparatos de comunicación, el mercado de las telecomunicaciones ha mostrado el mayor crecimiento respecto al de otros servicios en los últimos años. Como puede apreciarse en la Tabla 2.19, en los últimos siete años, tan sólo el número de usuarios de telefonía móvil creció más de diez veces.

Tabla 2.19 Usuarios y suscriptores de servicios de telecomunicaciones.

(Miles de usuarios o suscriptores)

Año	Telefonía móvil (Usuarios) ^a	Radio-localización móvil de personas (Usuarios)	Radio-comunicación especializada de flotillas (Usuarios)	Televisión por cable (Suscriptores)	Televisión por Micro-ondas (Suscriptores)	Televisión vía satélite (Suscriptores)
1998	3 350	651	148	1 619	288	308
1999	7 732	805	218	1 960	355	491
2000	14 078	637	354	2 216	246	668
2001	21 758	424	523	2 494	329	869
2002	25 928	258	638	2 527	265	980
2003	30 098	170	751	2 660	503	1 000
2004	37 697	160	891	2 778	565	1 148

NOTA: Los datos para cada año corresponden al mes de diciembre, excepto para 2004.

^a A partir de 1999 incluye el servicio de PCS¹⁸.

FUENTE: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL).

¹⁸ El término PCS (*Personal Communication Services* o Servicios de Comunicación Personal), es un servicio telefónico inalámbrico similar al servicio telefónico celular, con énfasis en el servicio personal y en la movilidad. El término "PCS" es utilizado usualmente en lugar "celular digital", pero el verdadero significado de "PCS" radica en que el teléfono incluye servicios tales como identificación de llamada, radiolocalización, acceso a Internet y correo electrónico, entre otros.



El papel fundamental que la **Tecnología de la Información (TI)** ha jugado en este crecimiento puede vislumbrarse en un hecho simple: todos los modelos de teléfonos celulares que hoy se encuentran en el mercado tienen implementado algún tipo de microprocesador que permite al usuario realizar varias tareas además de la de establecer conexiones telefónicas, como son la captura y procesamiento digital de imágenes (fotografías), la capacidad (cada vez mayor) de almacenar información de forma sistemática (como textos, bases de datos, sonidos, imágenes o programas de videojuegos), e incluso la posibilidad de navegar en Internet. En este sentido, la tendencia en el futuro de las telecomunicaciones parece ser la de la generalización en el uso del Internet móvil y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)¹⁹, en aparatos que conjugarán las funciones de un teléfono móvil con las de procesadores informáticos en miniatura como son los Asistentes Digitales Personales (PDA)²⁰. La Informática, nuevamente, marcará la dirección de estos avances.

Otros ejemplos de mercados que se han multiplicado con el auge de la Tecnología Informática en México, además del de las telecomunicaciones, son, entre otros:

- El de los Proveedores de Servicios de Internet (conocidos como ISP, siglas de *Internet Service Provider*), en todas sus variantes.
- El de los establecimientos prestadores de equipos de cómputo con acceso a Internet, también llamados “Cafés Internet”, y otros que ofrecen servicios de digitalización²¹ de datos.

¹⁹ GPS (del inglés, *Global Positioning System*), es un sistema diseñado originalmente con fines militares, para ubicar la posición terrestre de un objetivo o receptor de señal, mediante la información recibida desde satélites en órbita alrededor de la Tierra. Consiste en una red de 24 satélites, propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América y gestionada por su Departamento de Defensa, que proporciona un servicio de posicionamiento para todo el globo terrestre.

²⁰ PDA (del inglés *Personal Digital Assistant*), son aparatos pequeños también llamados computadoras de mano o de bolsillo (más conocidos en el mercado como Pocket PC, o Palm), que tienen utilidades tales como agenda y directorio telefónico, y permiten llevar consigo archivos de texto y hojas de cálculo electrónico, enviar correos electrónicos, grabar mensajes, tomar fotografías, programar videojuegos y reproducir música en formato MP3.

²¹ Digitalización es un término (proveniente del inglés *to digitalize*) usado en Informática para la acción de expresar datos en forma digital, es decir, en forma que pueda ser “leída” por un procesador digital, como una computadora.



- El de los servicios a través de Internet, como los portales servidores de correo electrónico, los de descarga de programas (software) y música, y muchos otros que venden toda clase de artículos.
- El de las empresas proveedoras de servicios informáticos que ofrecen análisis de sistemas, procesamiento de datos y soporte técnico.

Aunque no se ha mencionado hasta el momento la importancia que la **Tecnología de la Información (TI)** ha tenido para el funcionamiento y desarrollo de otros sectores como el de los servicios bancarios, basta con decir que todos los sistemas bancarios y financieros (no sólo de México, sino del mundo entero) se encuentran hoy imprescindiblemente soportados en complejos sistemas y redes informáticos. En este contexto, parece claro que en el futuro, el uso generalizado de las tarjetas bancarias (dinero plástico), para realizar cualquier pago mediante terminales de cobro, como las que ya existen en muchas tiendas, irá desplazando paulatinamente (aunque talvez no de manera definitiva) al uso del papel moneda. Uno de los aspectos más importantes, también ligado a la Ciencia Informática, es el de la seguridad de dichos sistemas: mientras por una parte unos programadores expertos se esfuerzan por proteger los sistemas bancarios del acceso no autorizado a través de las redes por parte de ladrones y defraudadores cibernéticos, por otro lado, éstos últimos, disponen de cada vez mejores programas para burlar los múltiples candados que aquellos diseñan.

Se pretende que el bosquejo que hasta aquí se ha presentado, relativo a la situación de la Informática en México, sirva para encuadrar la interacción que existe entre la Ingeniería Química y la Ciencia Informática, relación que se estudiará en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO III.

LA INFORMÁTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL INGENIERO QUÍMICO.

3.1 CULTURA TECNOLÓGICA. CIENCIA E INGENIERÍA.

Como se ha venido mencionando desde el inicio de este trabajo, el mundo vive hoy en una época que comúnmente se denomina "*Sociedad de la Información*", en la que se juzga al *conocimiento* como uno de los valores culturales de mayor importancia.

Esta denominación surgió a principios de la década de 1970, gracias a un conjunto de estudios sociológicos y antropológicos, entre los que destaca -hasta la fecha el más completo- el del sociólogo de la Universidad de Harvard, en Estados Unidos de América, Daniel Bell: "*The Coming of the Postindustrial Society*" (en español, "*El Advenimiento de la Sociedad Post-Industrial*", 1973) ²². Según este clásico, el objetivo de este tipo de sociedad era ante todo: "La consolidación de la ciencia, y los valores cognoscitivos como necesidad institucional básica de la sociedad" ²³. La sociedad post-industrial se convertiría entonces en una "*sociedad del conocimiento*", en el que "la universidad... es la institución principal" ²⁴.

Para Daniel Bell, el grupo más importante en la sociedad del conocimiento es, por supuesto, el de los científicos. De acuerdo con su estudio, la "clase alta" de la Sociedad Científica de los Estados Unidos de América, en 1968, estaba compuesta por una élite de 297, 492 científicos, con una mayoría de estudiosos de las Ciencias Físicas (53%), un 20% de Ciencias de la vida (biólogos e investigadores de Medicina, entre otros), un 11% de especialistas en Matemáticas y Computadoras (2% para estos últimos), y 17% para

²² BELL, Daniel. "The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting". Basic Books. New York. 1973.

²³ BELL, Daniel. "Las contradicciones culturales del capitalismo". Alianza Editorial. Madrid. 1977.

²⁴ *ídem.*



Científicos Sociales ²⁵. Como dato significativo, los Ingenieros, según este autor, no formaban parte de esta élite.

Según esta teoría, el poder económico de una nación debía ser proporcional al poder de su conocimiento científico, el cual puede medirse a través del Índice de gastos en Investigación y Desarrollo, expresado como un porcentaje de su Producto Interno Bruto (PIB). Así, a mayor inversión en Investigación y Desarrollo, mayor conocimiento científico, y por lo tanto, mayor poder económico del país. En los años siguientes a 1970, este modelo parecía evidente no sólo para los Estados Unidos de América, sino para todos los países del mundo. El área clave de la política de un país, era, por lo tanto, la *política científica*.

Este modelo, sin embargo, comenzó a entrar en crisis en la década de 1990, cuando se realizaron otros estudios que fueron mostrando poco a poco las limitaciones del modelo cultural de Bell.

Uno de los más influyentes fue el informe "*Made in America*" ("*Hecho en América*", 1989), del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) ²⁶. Este informe, critica la idea de la "sociedad post-industrial" basada en los servicios, que supone un proceso de desindustrialización de los países. Según dicho documento, el excesivo énfasis que puso Estados Unidos de América, tras la Segunda Guerra Mundial, en la Ciencia, en detrimento de la Ingeniería, puede considerarse como una de las razones de la pérdida de liderazgo tecnológico de aquél país frente a japoneses y alemanes, principalmente. Pérdida que se intensificó también, al finalizar la Guerra Fría.

El hecho que evidenció la crisis del modelo de Bell fue el declive económico en la década pasada, del país que aún cuenta con el más poderoso sistema científico-técnico del mundo: Estados Unidos de América. Por el contrario, se asistió al surgimiento de competidores como Japón, Alemania, Corea y otros países, que con una producción científica inferior, mostraron un creciente poder tecnológico e industrial. Un campo donde este hecho se puso en evidencia fue el de las industrias de la computación. Estados Unidos

²⁵ **Ídem.**

²⁶ "**Made in America. Regaining the Productive Edge**". MIT Press. New York. 1989.



de América, con una mayor capacidad en teoría de la Ciencias de la Computación, comenzó a perder terreno en la Industria de la Informática (y la electrónica) frente a Japón y sus vecinos del sureste asiático.

Lo anterior, trajo como consecuencia un replanteamiento en la visión mundial que consideraba a la *política científica* como la clave para el crecimiento industrial y económico, a favor del desarrollo de una *política tecnológica*, que, por cierto, según la Oficina de Política de Ciencia y Tecnología del Gobierno de Estados Unidos de América, debería contemplar un conjunto de 22 tecnologías, agrupadas en torno de la **Tecnología de la Información (TI)** y Comunicaciones.²⁷

Esta nueva visión dio pauta al surgimiento de una *cultura tecnológica*, que privilegia el concepto de *Innovación*, una característica propia de la Tecnología y un valor central de la Ingeniería, sobre el valor clásico de la *cultura científica*: el de la *Universalidad*, es decir, el de la extensión del conocimiento verificado.

Así, tal como se mencionó al inicio del primer Capítulo, la Tecnología ha pasado a ser algo más que la aplicación del conocimiento científico. El conocimiento tecnológico ha dejado de ser sólo un "*know-how*" ("*saber-como*"), esto es, un conocimiento de la forma de hacer las cosas, para convertirse también en "*knowledge*" ("*conocimiento*"): un conocimiento teórico distinto al saber propio de la física, la química o las matemáticas; pues al tratar de crear nuevas máquinas y aparatos, el *tecnólogo* desarrolla un sistema de conocimiento de una Tecnología Básica que no es ciencia, ni mera aplicación técnica de la ciencia. Esa Tecnología Básica, estratégica, tiene como finalidad no sólo la de descubrir el orden de las cosas, sino el diseño de nuevos órdenes artificiales. La tarea de la Tecnología moderna es *diseñar para conocer*.

En este aspecto, hay una diferencia fundamental entre el moderno y el antiguo ingeniero. El propósito hoy no es sólo construir máquinas, sino aumentar el saber acerca de cómo construirlas. Este matiz se hace patente con claridad en la Ciencia de la Computación. El tecnólogo es un nuevo tipo de teórico, cuyo objetivo final es aumentar su

²⁷ OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY. "**Grand Challenges: High Performance Computing and Communications. A Report by the Committee on Physical, Mathematical and Engineering Sciences.**" National Science Foundation. Washington D.C. 1992.



conocimiento, no simplemente fabricar artefactos. Pero a diferencia del científico académico tradicional, su conocimiento no pretende descubrir leyes universales de la naturaleza o de la sociedad, sino saber qué nueva realidad artificial, algoritmo, programas (software) o arquitectura informática (hardware), puede inventar y cómo hacer que funcione y cumpla alguna tarea determinada. Su objetivo es el nuevo saber, no sólo el nuevo sistema: es crear nuevos diseños o mejorarlos, como un tipo específico de conocimiento propio de esta tecnología.

Este tipo de conocimiento se expresa en su forma más elaborada en el programa informático. No es una teoría al modo de las leyes de la mecánica newtoniana, pues indica un modo de operar basado en las reglas de la lógica. No persigue la búsqueda de la verdad, sino la ejecución de una acción mediante un objeto técnico inventado por el propio investigador. También los científicos naturales han inventado artefactos para hacer ciencia, como el telescopio de Galileo. La diferencia es que ahora, el caso es el inverso. Ahora el científico de la computación utiliza las matemáticas, la lógica y otras ciencias, para hacer tecnología. Prevalece el objeto artificial, sobre el llamado "orden natural".

Pero ello plantea una relación nueva de la Tecnología (y en particular de la Informática) con el estudioso de la misma. Si la clave de la Tecnología es el diseño, la Ciencia Empírica de ésta, como en el caso de la Ciencia Informática, ha de estudiar lo que diseña el Ingeniero, o el propio Científico. La relación Ciencia-Tecnología se invierte. No puede haber ciencia empírica de la computadora sin computadoras. Surge por primera vez en la Historia la siguiente paradoja: primero hay que inventarlo y luego analizarlo.

En esta construcción, se sigue una metodología de invención propia de la Ingeniería: para hacer un sistema informático, lo primero a saber son los resultados, la función de dicho sistema, luego hay que saber de dónde se parte para hacerlo, y finalmente qué estrategias o caminos se pueden seguir para construirlo.

Se ha presentado hasta aquí un panorama sobre la forma en que estas nuevas disciplinas Ingeniero-Científicas han modificado radicalmente la visión del conocimiento tecnológico, y de la manera en que están influyendo en la renovación tanto de las disciplinas científicas (como es el campo de la ciencia cognitiva), como de las disciplinas de la Ingeniería tradicional (incluida, por supuesto, la Ingeniería Química). Se continuará



con el análisis del modo en el que esta visión podría requerir en un futuro próximo, la sustitución de los modelos educativos convencionales, por otros que propicien en el estudiante, la asimilación y procesamiento más eficiente de una creciente cantidad de información y conocimiento (un nuevo tipo de aprendizaje), que le permita a México, avanzar hacia una situación más favorable dentro del actual mundo globalizado.

3.2 INFORMÁTICA Y CULTURA EDUCATIVA.

Habiéndose establecido, en la sección anterior, que el concepto de *Innovación* constituye el valor central de la *Cultura Tecnológica*, resulta evidente que el *cambio*, entendido como la rapidez y constancia con que la gente modifica sus conductas y hábitos, y que afecta prácticamente a todas las esferas de la actividad humana, sea una de las características esenciales de dicha cultura. Esta característica, de hecho, podría por sí sola, dar forma a la definición de **Tecnología de la Información (TI)**, es decir, podría hablarse de **Tecnología de la Información (TI)**, a partir del instante en que la Sociedad comienza a experimentar procesos de cambio cada vez más rápidos y continuos. Es por ello que, ante la necesidad de adaptarse a los nuevos conceptos culturales, han surgido esquemas que pretenden modificar en dos aspectos fundamentales el modelo educativo tradicional:

- Convertir la educación, de un proceso centrado en la enseñanza, a un proceso centrado en el aprendizaje.
- Desarrollar de manera estructurada y programada los valores, actitudes y habilidades establecidos en el perfil de los estudiantes que requiere una economía inmersa en un proceso creciente de globalización.

Habitualmente, se reconoce que el proceso de enseñanza-aprendizaje se mueve entre dos polos:



1) Un *aprendizaje dirigido* por el profesor (ver Figura 3.1), el cual se caracteriza por considerar:

- Al estudiante como un ser dependiente.
- Que la experiencia del alumno es poco válida en comparación con la del profesor.
- Al aprendizaje como una acumulación de contenidos.
- Que un grupo de estudiantes siempre deberá, en esencia, aprender las mismas cosas en iguales niveles.

En este extremo, tanto la actividad individual del estudiante, como su capacidad para aprender utilizando herramientas distintas a las que el profesor emplea, se ven seriamente restringidas, lo que no permite establecer el aprendizaje como un proceso de carácter general e integrado, ni está en posición de proporcionar conocimientos suficientes para la formación adecuada de los alumnos, dadas las exigencias actuales originadas por la aparición de la **Tecnología de la Información (TI)**.

2) En el otro polo, se ubica el *aprendizaje autodirigido* (ver Figura 3.2), donde predomina el diálogo, y en el cual:

- El estudiante se ve impulsado a la búsqueda de nuevos conocimientos.
- El alumno vive sus experiencias y ellas constituyen un elemento válido en el contexto de los problemas a los que se enfrenta.
- El estudiante siente motivación y satisfacción por lo que aprende.
- El patrón de aprendizaje puede adaptarse a las características de cada alumno a partir de un marco común.

En el modelo de aprendizaje autodirigido el profesor funciona como un “facilitador” en el proceso de enseñanza. El cambio hacia un proceso centrado en el aprendizaje requiere de la participación activa del estudiante de una manera diferente a la tradicional, debido a que se pretende promover en él la responsabilidad de su propio aprendizaje: un papel activo en el proceso. Así, se fomenta el contacto con su entorno para intervenir social y profesionalmente en él, y el ejercicio de reflexión sobre lo que hace, cómo lo hace y qué resultados



obtiene. De igual modo, el papel del profesor se diversifica, orientándose principalmente en dos funciones específicas que se llevan a cabo en momentos diferentes: en primer lugar, en la planeación y diseño de las experiencias y actividades necesarias para este proceso de aprendizaje, así como en la definición de los espacios y recursos adecuados para su logro; y en segundo lugar, en el desarrollo intencional y programado de valores, actitudes y habilidades.



Figura 3.1 Estructura del aprendizaje dirigido por el profesor.

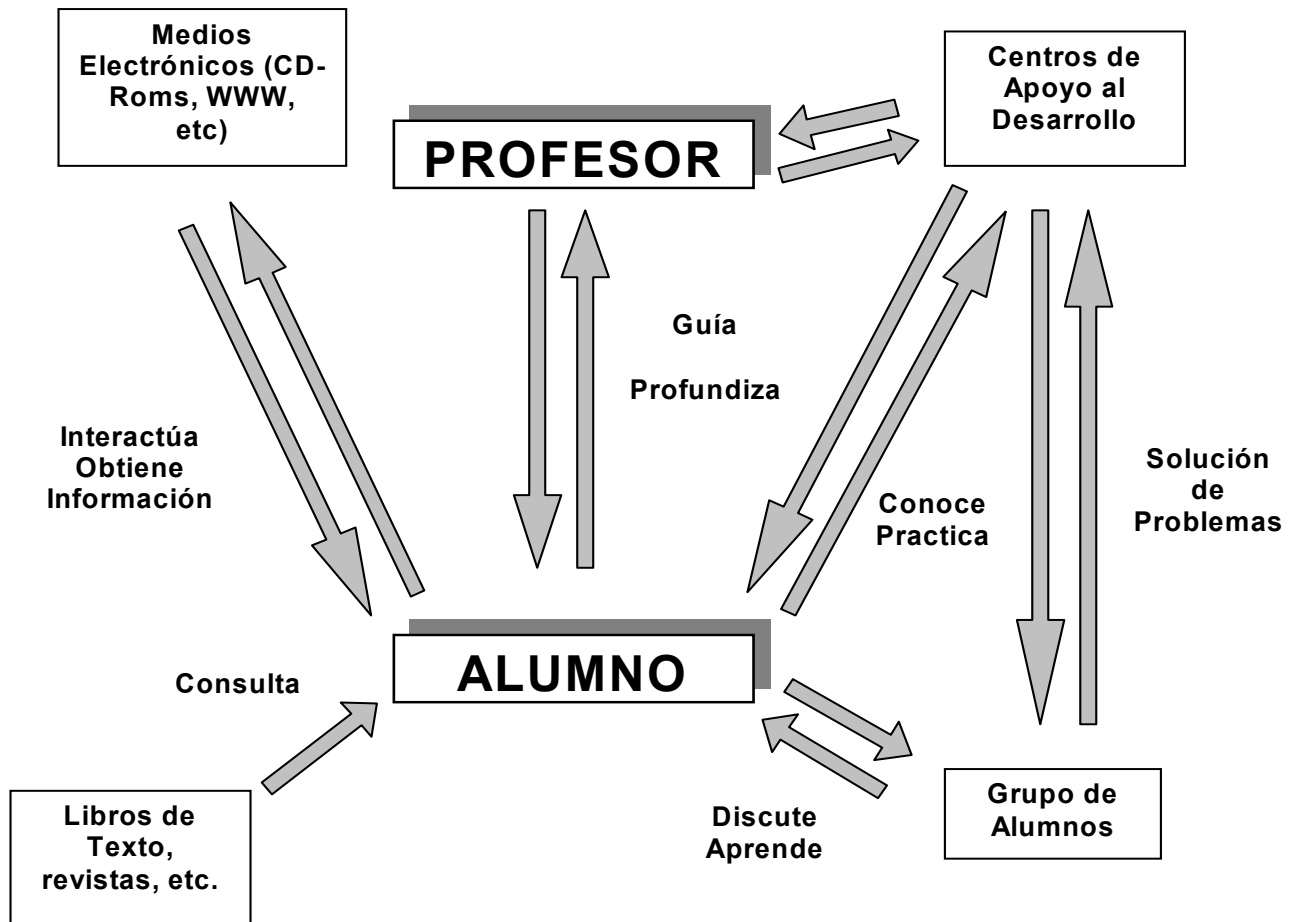


Figura 3.2 Estructura del aprendizaje autodirigido.

En este contexto, el desafío para los educadores de todos los niveles parece ser el de implementar nuevas formas de aprendizaje, que privilegien el desarrollo de actitudes y habilidades (como la capacidad de adaptación y respuesta a situaciones o problemas inéditos), a la transferencia y acumulación de conocimientos, que si bien es parte importante de la formación académica del estudiante, resulta cada vez menos adecuada en un mundo donde la cantidad de conocimiento disponible crece exponencialmente día con día. El nuevo modelo educativo deberá basarse en una nueva mentalidad: la mentalidad estudiantil de la Era de la Información. El modo clásico del discurso educativo se centraba en una serie de premisas a partir de las cuales se derivaba una conclusión,



es decir, se concebía el lenguaje y la argumentación de un modo lineal, siguiendo el esquema de “Si A, entonces B, y C, y D...”. A partir del uso generalizado de la Informática, tal forma de estructurar el pensamiento ha pasado a la historia; ahora puede afirmarse A y luego Z, para volver a B y suprimir A, por ejemplo. Dicho de otro modo, la lógica clásica pierde su significación. Hace años que el sistema memorístico perdió su relevancia en favor de un modelo más participativo, ahora la propia base del pensamiento lógico deja de tener sentido. La facilidad de acceder a la información, junto a la capacidad de realizar variaciones y correcciones de manera automática supone, necesariamente, un cambio del modo de pensar en su nivel más profundo.

3.3 LA NECESIDAD DE LA TECNOLOGÍA INFORMÁTICA PARA LA FORMACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO.

El entorno cultural ligado a la Tecnología Informática que se ha descrito en las secciones precedentes, es tan válido para México como para cualquier país con un mínimo de infraestructura informática, y establece las condiciones en las que se ha venido desarrollando la formación educativa de los estudiantes que ingresan y cursan actualmente la carrera de Ingeniería Química, pues son precisamente éstos, representantes de la primera generación de mexicanos que, de manera más clara, se ha visto inmersa, “desde la cuna”, en el uso cotidiano de la **Tecnología de la Información (TI)**.

En sus orígenes, la Ingeniería Química era básicamente una extensión de la Ingeniería Mecánica aplicada a resolver los problemas de fabricación de sustancias y materiales químicos, que era la tarea tradicional de la química industrial. La Ingeniería Química moderna no sólo tiene identidad propia, sino que hoy constituye una de las disciplinas centrales de la Ingeniería en todo el mundo. Como disciplina, está estructurada alrededor de un sistema de conocimientos sobre fenómenos y procesos vinculados con la producción de sustancias y materiales mediante cambios en las propiedades físicas, químicas, o ambas, de la materia.



Debe tenerse en cuenta que en el campo de la Ingeniería Química se pueden reconocer tendencias y momentos denominados *Paradigmas*²⁸. Éstos, se definen como perspectivas que coexisten dentro de un campo disciplinario y profesional, y se refieren a un conjunto de fundamentos teóricos, acuerdos respecto de los referentes empíricos, reuniones y publicaciones, y otros aspectos relevantes para la propia disciplina.

El primero de ellos data de 1915, cuando en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) los profesores Walker, Lewis y McAdams le dieron forma al concepto de Operaciones Unitarias como una serie de operaciones comunes a muchos procesos industriales, tales como la transferencia de energía, destilación, flujo de fluidos, filtración, trituración, molienda y cristalización; y que permitió unificar -a la vez que dar sustento científico y leyes generales- a las diversas operaciones y procesos de la naciente Ingeniería Química.

Este modelo de las Operaciones Unitarias, que implicaba el estudio de estas operaciones separadas de los procesos industriales específicos, con una forma de abordar y solucionar los problemas de escala industrial fundamentalmente empírico, fue utilizado con éxito durante muchos años.

En 1960 nace el segundo gran *paradigma* de la Ingeniería Química con la publicación del libro "*Fenómenos de Transporte*" de R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot, que establece un método distinto para el análisis y estudio de los fenómenos físico-químicos, que busca explicaciones moleculares para los fenómenos macroscópicos. El estudio de los fenómenos de transporte comprende aquellos procesos en los que hay una transferencia o transporte neto de materia, energía o momentum lineal en cantidades macroscópicas, desde el punto de vista microscópico o molecular. Estos fenómenos físicos tienen rasgos comunes que pueden ser descritos mediante la ecuación diferencial para la propagación (unidimensional):

$$a^2 \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$

²⁸ WEI, J., "**A century of changing paradigms in chemical engineering**". Rev. Chemtech, Mayo, 1996



Donde “ a ” es una constante característica de cada situación física, y “ ψ ” es la variable correspondiente al fenómeno de transporte de que se trata.

Si bien los dos *paradigmas* citados han posibilitado la solución de muchos problemas en Ingeniería Química, hoy comienzan a configurarse desde las ciencias básicas (química, física, biología), fundamentos científicos para estructurar dos nuevos enfoques que ampliarán el horizonte y permitirán resolver problemas a los que hasta ahora se les han dado soluciones incompletas con métodos empíricos. El tercer paradigma puede nacer de la contribución de la Teoría del Caos²⁹, la Teoría General de Sistemas (TGS)³⁰, así como la Teoría de los procesos irreversibles y de modelación molecular, y podría interpretarse como una generalización del segundo paradigma. También la Biología Molecular, la Ingeniería Genética y la Ingeniería Molecular (Nanotecnología) aportan conocimientos que pueden ser la base para construir un cuarto paradigma de la Ingeniería Química.

²⁹ La **Teoría del Caos** es la denominación popular de la rama de las matemáticas y la física que trata ciertos tipos de comportamiento aleatorios ("caóticos") de los sistemas dinámicos; es un estudio cualitativo del comportamiento inestable y aperiódico de sistemas dinámicos determinísticos y no lineales. Entre las propiedades más notables de los sistemas dinámicos caóticos se encuentra la *sensibilidad a las condiciones iniciales*: dos soluciones de un mismo sistema con condiciones iniciales extremadamente cercanas, al cabo de un tiempo relativamente corto se encontrarán alejadas y totalmente desligadas entre sí. Contrariamente a lo que se piensa, el comportamiento caótico de un sistema no implica la desintegración, anarquía o inestabilidad del mismo; por el contrario, los sistemas caóticos se caracterizan por su adaptación al cambio y, en consecuencia, por su *estabilidad*. Así, si se lanza una piedra en un río, su cauce no se ve afectado; no sucedería lo mismo si el río fuera un sistema ordenado en el que cada partícula que lo constituye tuviera una trayectoria fija: el orden se derrumbaría.

³⁰ La formulación de la **Teoría General de Sistemas (TGS)** es atribuible al biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), quien acuñó dicha denominación en respuesta al agotamiento e inaplicabilidad de los enfoques analítico-reduccionistas y sus principios mecánico-causales. Para él, la TGS debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias, y ser, al mismo tiempo, un instrumento básico para la formación y preparación de científicos. La TGS se caracteriza por su perspectiva integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. Los objetivos originales de la Teoría General de Sistemas son los siguientes: a) Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos; b) Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos y; c) Promover una formalización (matemática) de estas leyes.



Estos nuevos paradigmas podrían integrarse al actual sistema conceptual de la Ingeniería Química, brindándole una mejor organización, y favoreciendo el análisis y la comprensión de fenómenos y procesos que serán, sin duda, cada vez más abstractos y complejos. Todo este desarrollo, sin embargo, no será posible sin emplear herramientas de la **Tecnología de la Información (TI)**. En términos del desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, hubo un tiempo en que los avances debían ser precedidos de adelantos en Matemáticas. Ahora, los progresos tecnológicos de vanguardia requieren principalmente de avances en la Ciencia Informática.

Para enfrentar estos retos, los planes de estudio de los Ingenieros Químicos de la Era de la Informática, no sólo habrán de ir incorporando nuevos conocimientos, sino que deberán, al mismo tiempo, propiciar el desarrollo de nuevas habilidades, en un ambiente de aprendizaje abierto y flexible. Sin embargo, será importante no perder de vista la función formativa de la Universidad, para evitar que la Ingeniería Química degenera en un simple enfoque informativo, utilitario y adaptado a las necesidades circunstanciales del medio profesional. Entre las nuevas habilidades que se precisan hoy en el Ingeniero Químico, destacan la de la administración del tiempo y sobre todo la del manejo de la incertidumbre, lo que resulta particularmente importante en un entorno cada vez más variable e impredecible.

En esencia, la Ingeniería Química tiene como objetivo resolver problemas de la Industria Química. En general, se reconoce en ella la existencia de un método “ingenieril” de resolución de problemas que implica un proceso que requiere, en primer lugar, un análisis de la situación, luego el modelado del equipo o del proceso que se está analizando (para lo cual es necesario recurrir a conocimientos de Física, de Química y lo específico de cada Operación Unitaria en particular), para finalizar con la solución de las ecuaciones matemáticas incluidas en el modelo teórico y el análisis de los resultados obtenidos.

Hasta hace unos años, para ser un Ingeniero Químico “completo”, era necesario y suficiente procurarse una sólida formación en los principios básicos de la Ingeniería Química, y mostrarse capaz de aplicarlos en la práctica profesional, basándose en los fundamentos de la Economía y en una cierta dosis de inventiva y criterio. El Ingeniero



Químico mexicano “se hacía” en el trabajo de “planta”. Las ventajas de este tipo de formación radican en que el Ingeniero, al entrar en contacto íntimo con los procesos de una planta industrial, aprende a enfrentar problemas relacionados con el funcionamiento de los equipos, las variables de las corrientes de proceso y de los servicios auxiliares, el volumen y la calidad de la producción, el manejo del personal a su cargo, y otras situaciones que entrenan al Ingeniero Químico en la resolución de problemas abiertos, es decir, de aquellos que tienen múltiples soluciones, y por lo tanto, requieren de una participación más activa del mismo en la búsqueda de datos y en la definición, tanto del problema, como del camino para resolverlo. Evidentemente, es deseable que el estudiante actual de Ingeniería Química siga desarrollando esta capacidad, pues estimula el pensamiento creativo y el desarrollo de criterios “ingenieriles” a partir de la necesidad de tomar decisiones durante la resolución de un problema.

Hoy, sin embargo, es imperativo que los estudiantes de Ingeniería Química dominen, no solamente esos mismos fundamentos, sino que además posean una serie de habilidades y conocimientos que vinculan a la Ingeniería Química con áreas que van desde la Administración y las Teorías de Calidad, hasta la Bioquímica y la Ingeniería de Materiales; de hecho, las divisiones entre Ingeniería Civil, Mecánica, Eléctrica, Química, Industrial, y otras, parecen atenuarse cada vez más: en la práctica, los Ingenieros se desempeñan en áreas como energía, comercio, industrias extractivas, desarrollo tecnológico, gestión financiera, entre otras, independientemente de lo que diga su título profesional. Las distintas Ingenierías han comenzado un proceso de integración hacia objetivos de desarrollo multidisciplinario, en las que el conocimiento de las diversas áreas se irá integrando en nuevas ramas de la Ingeniería. Esto, por supuesto, no implica la desaparición de la Ingeniería Química (ni de otras Ingenierías), sino la evolución natural de una disciplina que se nutre constantemente de nuevos conocimientos. El Ingeniero Químico actual, por ello, debe proyectarse como un estudiante continuo, y será tanto mejor Ingeniero cuanto mejor sepa aprender.

Dentro de toda esta variedad de destrezas que el estudiante de Ingeniería Química debe integrar en su formación, sin duda una de las más importantes es la habilidad para gestionar y administrar oportunamente la información, así como para usar de manera efectiva las herramientas informáticas, es decir, el dominio de un conjunto de técnicas que



podría denominarse genéricamente como *Habilidad Informática*. En los próximos años, un Ingeniero Químico difícilmente podrá distinguirse como un buen profesional si no demuestra Habilidad Informática.

En este punto, conviene hacer un inventario de las posibilidades y ventajas que ofrece el uso de la **Tecnología de la Información (TI)** al estudiante de Ingeniería Química, y que rebasan por mucho las tareas triviales que cualquier usuario no calificado en Informática puede realizar.

A) Almacenamiento, disponibilidad y administración de la Información.

La Tecnología Informática hace posible almacenar una gran cantidad de información en un espacio pequeño, así como clasificarla y acceder fácilmente a ella. Esta es una de las aplicaciones de la Informática de uso más extendido (y también más trivializado), que ha permitido reemplazar la forma tradicional de archivar datos y documentos en papel. Tanto para el estudiante como para el profesional de Ingeniería Química en particular, resulta útil, por ejemplo, cuando debe analizar con rapidez datos cuantiosos de equipos o procesos que de otro modo resultan difíciles de manejar; tal es el caso de los datos contenidos en tablas y gráficos de manuales (como las gráficas para curvas de bombas, que pueden contarse por centenares). Otro ejemplo común es el de la posibilidad de crear y consultar enormes bases de datos sobre temas específicos, que pueden ser compartidas a través de Internet. Cada vez más revistas e instituciones científicas de prestigio internacional (como las revistas *Journal of Chemical Engineering*, *Hydrocarbon Processing*, entre otras) ponen a disposición de estudiantes y académicos, artículos y publicaciones electrónicas que junto a la aparición de redes académicas virtuales, bibliotecas digitales y servicios de videoconferencias y de acceso a equipos de supercómputo ³¹, día con día aumentan exponencialmente las posibilidades de acceso a la información que el estudiante de Ingeniería Química posee.

³¹ Se dice de aquellos equipos de cómputo que son capaces de procesar y almacenar información en el orden de los Terabytes. Un Terabyte es una unidad equivalente a 10^{12} bytes (definición de byte en pág. 9).



En este contexto, la red mundial de computadoras, Internet, parece ser la culminación de todas las formas de comunicación desarrolladas por el ser humano hasta el día de hoy, la cual, a través de sus variados servicios (*WWW*³², *Correo electrónico*, *Protocolo FTP*^{33, 34}, *Telnet*³⁵, *Gopher*³⁶, y otros) se muestra como una herramienta de enorme potencial para la formación del Ingeniero Químico. Sin embargo, debido al contraste que existe en México entre la rapidez con que la Informática se integra a todos los niveles de la sociedad, y la lentitud con que la Educación (sobre todo la Básica) responde a estos cambios en general, es el mismo alumno de Ingeniería Química quien

³² *WWW*, son las iniciales de *World Wide Web* (Red Amplia Mundial). Es un sistema de información global, interactivo, dinámico, distribuido, gráfico, basado en hipertextos o vínculos, con plataforma de enlaces cruzados (es decir, independiente del tipo de arquitectura informática o sistema operativo de las computadoras conectadas a la red), que se ejecuta en Internet y que hace posible el acceso a la información a través de sitios o páginas en las que ésta se presenta como una colección de textos, imágenes, sonidos o animaciones.

³³ *Protocolo*: Conjunto de normas y convenciones para enviar información a través de una red. Estas normas rigen el contenido, el formato, la temporización, la secuencia y el control de errores de los mensajes intercambiados entre los dispositivos de la red.

³⁴ *FTP* (File Transfer Protocol, o Protocolo de Transferencia de Archivos) es un miembro del conjunto de protocolos TCP/IP (Protocolo de Control de Transporte/ Protocolo de Internet, que permiten la comunicación entre redes interconectadas formadas por equipos con distintas arquitecturas y sistemas operativos), que se utiliza para transferir archivos entre dos equipos en Internet. Ambos equipos deben admitir sus funciones FTP correspondientes: uno debe ser un cliente FTP y el otro un servidor FTP.

³⁵ Protocolo de emulación de terminal muy utilizado en Internet para iniciar sesión en equipos de red. Telnet hace referencia también a la aplicación que utiliza este protocolo para los usuarios que inician sesión desde ubicaciones remotas.

³⁶ *Gopher* es uno de los sistemas de Internet para recuperar información que precedió a la *WWW*. Fue creado en 1991 en la Universidad de Minnesota, (de cuya mascota tomó el nombre) y fue el primer sistema que permitió pasar de un sitio a otro en Internet, seleccionando una opción en el menú de una página. Con *Gopher* se puede acceder a un gran número de servidores, la mayoría de ellos gestionados por Universidades y Organizaciones Gubernamentales, que contienen información sobre una amplia variedad de temas especializados que no suelen encontrarse en los sitios Web. Los servidores *Gopher*, igual que los servidores *FTP*, almacenan archivos y documentos que pueden verse en línea o transferirse al disco duro de la computadora.



debe procurarse, con frecuencia, sus propios conocimientos sobre Informática. Lo anterior conduce al hecho de que los alumnos que ingresan a la carrera lleven consigo un bagaje informático cada vez mayor, que en ocasiones puede incluso superar el contenido que ofrecen los cursos básicos de Computación o Programación de las Universidades (que como antes se mencionó, se encuentran presentes en el 100% de los planes de estudio para Ingeniería Química, en todo el país). Por lo tanto, el reto de las autoridades educativas de la carrera en las Universidades Mexicanas, será el de diseñar nuevos cursos de Informática que se adecuen a esta realidad, o en su defecto, estrategias educativas que permitan al alumno explotar al máximo sus habilidades informáticas, a lo largo de su formación.

Para contribuir a dichas estrategias, un papel muy importante en la adopción de herramientas de la **Tecnología de la Información (TI)** en las instituciones educativas, es el que cumplen las bibliotecas, asegurando el sistema de información general, los catálogos en línea, las bases de datos, las publicaciones electrónicas, la organización de la información, la adquisición de materiales de estudio en formato digital, el desarrollo de nuevos métodos de búsqueda de información, y otras funciones.

En este punto, se revela el estudiante de Ingeniería Química como el único capaz de administrar la información que puede serle útil en su aprendizaje. Saber administrar la información de manera eficiente no es, de ninguna manera, una labor sencilla, sobre todo cuando la cantidad de información disponible crece día con día. El ser humano tiene una capacidad limitada de consumo de información, por lo que cada vez se hace más importante la destreza del alumno para discriminar la información valiosa de la que no lo es, en el menor tiempo posible. M. A. Escotet, Investigador en Pedagogía de la UNAM, proporciona un diagnóstico acerca de la forma en que los estudiantes en México se relacionan con la información, y que sirve como reflexión acerca de lo que el futuro Ingeniero Químico debe aprender sobre su manejo:

“El análisis de algunos trabajos monográficos de alumnos universitarios, nos permite observar que ellos recortan y pegan información, transcriben información textualmente, escriben conocimientos de otros sin mencionar la fuente, en general, tienen bajo nivel de producción propia de conocimientos. Si son características generalizadas, nos permite pensar que quizás, sin ser



promovidas por los docentes, de pronto ellos no toman suficiente conciencia de su gravedad (...) pensamos que la Web, con las características específicas ya citadas, puede ser un medio muy interesante para que los alumnos puedan acercarse a la elaboración propia de conocimientos, si se la emplea con un enfoque que vaya mucho más allá de “bajar información” escasamente procesada. La idea es emplearla para la reflexión crítica, en el enfoque de resolución de problemas (...) cuando esto se consigue, la educación del universitario se enriquece en la medida en la que usa eficazmente la información.”³⁷

El acceso a la información y su adecuado manejo por parte del estudiante y el profesional de Ingeniería Química, es también una parte fundamental para el desarrollo de la disciplina misma. Al respecto, Fernández Zayas³⁸ dice:

“...es difícil en la actualidad hacer aportaciones a la Ingeniería si no se tiene un dominio apropiado de la información, o conocimientos que alguien alguna vez puso a disposición de la humanidad. En este sentido, el trabajo científico es una excelente oportunidad para destacar la importancia de la Informática. El trabajo científico existe cuando es apropiadamente publicado, y su calidad, relevancia, respeto, y demás atributos favorables son directamente proporcionales a la publicación. La aportación científica se vuelve, entonces, información, y los profesionales, particularmente de la ingeniería, entran en acción transformando y aprovechando sin duda, haciendo efectivos y prácticos los conocimientos que el científico publica. Por lo tanto, no es posible hacer ingeniería si no se tiene acceso oportuno, rápido, económico, y generalmente privilegiado, en el mundo global de la información más actual. (...) Basta revisar algunos de los campos de acción del Ingeniero para certificar que la mayor parte de sus habilidades y sus capacidades competentes lo distinguirán en el futuro en la medida en que sea un experto en Informática.”

³⁷ ESCOTET, Miguel Ángel. “¿Revolución en la educación o revolución en el aprendizaje?.” Discurso inaugural en el XX Simposio Internacional de Computación en la Educación, Puebla, Méx., Octubre de 2004.

³⁸ FERNÁNDEZ ZAYAS, José Luis. “La Informática Avanzada y la Ingeniería Moderna.” Artículo elaborado para el 8º Congreso Nacional de Agronomía, Chapingo, Méx., Octubre de 1998.



Por otra parte, es importante mencionar que para el futuro Ingeniero Químico no son suficientes los conocimientos informáticos triviales que puede dominar cualquier otra persona (como el manejo de procesadores de textos, por ejemplo); es precisamente la **aplicación especializada** de la **Tecnología de la Información (TI)** a su área de estudio, lo que hace valiosa la contribución de la Informática en su formación profesional. Esta aplicación especializada le confiere al estudiante y al profesional de Ingeniería Química una categoría especial como agente informático, pues muchas de las tareas que lleva a cabo usando esta tecnología, no podrían ser desempeñadas por ningún otro profesional, incluyendo a los de las carreras informáticas. La mayor parte de los egresados de estas carreras provienen de licenciaturas que suelen adolecer de una falta de fundamentos científicos básicos que le son característicos a los egresados de Ingeniería Química.

Quizá una de las situaciones que de forma más clara puede ilustrar esta afirmación, es la del uso de Simuladores de Procesos en la enseñanza de la Ingeniería Química (aspecto que más adelante se analizará en detalle). Cualquier estudiante que haya utilizado un simulador sabe que no serviría de nada conocer en detalle la función de todos y cada uno de los comandos del mismo, si no se tiene, al mismo tiempo, un conocimiento fundamental de la forma en cómo funcionan los procesos que se pretenden simular. Se trata de una *herramienta informática hecha por Ingenieros Químicos para Ingenieros Químicos*. La situación sin duda parece obvia, pero es un ejemplo nítido de una aplicación que prácticamente desaparece las fronteras entre Informática e Ingeniería Química, o, para expresarlo de otra forma, quien diseña o utiliza este tipo de programas (software), ¿no es acaso también, un profesional de la Informática?.

B) Procesamiento de la Información.

El procesamiento de la información que facilitan las herramientas informáticas, entendido como la posibilidad de realizar cálculos matemáticos a gran velocidad, ha resultado de fundamental importancia para el aprendizaje y el desarrollo en general de la Ingeniería Química en los últimos años. Hoy no se concibe una forma de dimensionar equipos o establecer condiciones de operación de un proceso sin la utilización de alguna hoja electrónica de cálculo o paquete matemático (por ejemplo, *Microsoft Excel*,



Matemática, Maple, Mathcad y Matlab, por mencionar algunas de los más utilizados en México), que es capaz de llevar a cabo en unos cuantos segundos, operaciones aritméticas que una persona tardaría horas, e incluso días, en realizar. No es raro, por lo tanto, que un porcentaje cada vez mayor de estudiantes de Ingeniería Química dispongan de máquinas calculadoras que son verdaderas computadoras en miniatura. En este renglón particular, sobresale en México la Compañía Hewlett Packard, que se ha logrado posicionar como líder mundial en la fabricación de estas populares calculadoras que incorporan herramientas de cálculo específicas de la Ingeniería, como son conversión de unidades, métodos estadísticos, técnicas de Cálculo Diferencial e Integral, editor de lenguajes de programación y muchas aplicaciones más.

Los beneficios relacionados con este procesamiento de la información, obtenidos por el uso de la Tecnología Informática en el aprendizaje de la Ingeniería Química, pueden resumirse como sigue:

1. La Tecnología de la Información provee soluciones más eficientes a problemas que tradicionalmente eran tediosos o difíciles de resolver.
2. Es posible encontrar soluciones de problemas de ingeniería más reales, cuyo estudio no era práctico a nivel licenciatura, debido a su complejidad.
3. El desarrollo de nuevas aptitudes que estas herramientas proveen, puede enriquecer y reforzar el aprendizaje del estudiante.

La premisa que sustenta lo anterior, es que una parte importante de la enseñanza de la Ingeniería Química implica el uso de expresiones matemáticas para describir y modelar el comportamiento de sistemas físicos. La solución de las ecuaciones que resultan de dichos modelos, puede ser considerablemente difícil y consumir mucho tiempo. Por consiguiente, dichas soluciones se encuentran basadas en suposiciones que simplifican el problema, a menudo limitadas en alcance, y dependientes de un conjunto de condiciones que las restringen. Con el uso de las herramientas informáticas los estudiantes pueden realizar cálculos de modelos mucho más rigurosos y complejos, lo que puede traducirse en un entendimiento más profundo del problema.



Harb y Jones ³⁹, proporcionan un ejemplo acerca de la forma en que la **Tecnología de la Información (TI)** puede servir a este propósito. Ellos muestran la solución de un problema de compresión de CO₂ que se usa para llenar un cilindro, y desarrollan el modelo usando primero la suposición de comportamiento de gas ideal, suposición que reduce notablemente –como es de esperarse- la complejidad del problema. A continuación proponen una nueva solución pero ahora empleando la ecuación de estado de Soave, que emplea parámetros dependientes de la temperatura y presión críticas, así como del factor acéntrico de Pitzer. El modelo resultante es más realista que el del gas ideal, y más complejo. En ambos casos, la aplicación de un programa de cálculo matemático (en este caso Mathcad) reduce a unos cuantos minutos el tiempo para obtener la solución (incluyendo el tiempo para crear el programa). Aunque no existe una diferencia numérica considerable entre ambas soluciones, la importancia de emplear modelos realistas para solucionar este tipo de problemas radica en el hecho de que el alumno deja de usar modelos simplificados (por conveniencia de cálculo), para resolver problemas reales, pues el uso inapropiado de las simplificaciones podría conducir a crear en él, la falsa impresión de su aplicabilidad a todas las situaciones que se le presenten.

De acuerdo con los autores, la opinión común entre los profesores de Ingeniería Química de la Universidad de Michigan, en Estados Unidos de América, es que con la introducción de las nuevas herramientas informáticas, se reduce drásticamente el tiempo requerido para resolver problemas particulares con gran cantidad de cálculos numéricos, con lo que el profesor puede poner más énfasis en las partes realmente ingenieriles de los problemas y menos en la parte de la solución numérica. No obstante, existen aún ciertas dudas entre esos mismos profesores, acerca de los aspectos negativos que podría tener el uso generalizado de la informática para resolver problemas en Ingeniería, pues se cree que el alumno que no entra en contacto directo con los cálculos “paso a paso” del problema, puede perder cierta noción de la física del mismo, y como consecuencia adquirir una visión incompleta de los procesos que estudia. Sólo el tiempo podrá revelar la veracidad de este tipo de afirmaciones; lo que resulta cierto, es que el alumno de hoy percibe a la Informática como una parte insustituible e indispensable en su formación.

³⁹ HARB, John. N., Angelica Jones, et. al. **“Use of Computational Tools in Engineering Education. A Case Study on the Use of Mathcad.”** *Chemical Engineering Education*. Summer, 1997. p.180-188.



C) Programación.

El desarrollo de las técnicas de Programación en los últimos años ha hecho que los estudiantes tengan acceso a lenguajes cada vez más amigables (*Fortran, Pascal, Basic, C++, C, Visual Basic*, entre los más conocidos) que les permiten realizar rutinas o tareas en las que se requiere de una gran cantidad de cálculos repetitivos (iteraciones). Puede considerarse a la Programación como una categoría especial de procesamiento de la información, debido a que suele ligarse, en la práctica, con los Métodos Numéricos, conjunto de técnicas matemáticas ampliamente usadas en todas las ramas de la Ingeniería. El binomio Programación–Métodos Numéricos se encuentra presente en la mayor parte (73%) de los planes de estudio de las Universidades e Instituciones de Educación Superior que ofrecen la carrera de Ingeniería Química en México (al menos las registradas ante la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, ANUIES); mientras que la enseñanza de la Programación está presente en el 100% de dichos planes de estudio. La importancia de que el estudiante de Ingeniería Química aprenda Programación, se debe a que se trata de una herramienta muy común para realizar ciertos cálculos de Ingeniería, por ejemplo, en el caso de columnas de destilación o de evaporadores de etapas múltiples, en los que se hace manifiesta su utilidad para resolver las numerosas ecuaciones que resultan cuando se plantea su solución.

El ejemplo típico de este tipo de aplicación, es el de la separación de mezclas multicomponentes en una columna de rectificación. Hasta la década de 1960, los cálculos correspondientes a los problemas de rectificación tenían que realizarse “a mano”, a menudo sólo con la ayuda de una regla de cálculo. Por esta razón, aunque se disponía de métodos rigurosos, los métodos aproximados constituían la principal herramienta de diseño, dejando la aplicación de los primeros sólo para columnas muy pequeñas o para comprobar el diseño final. La aparición de las computadoras invirtió la situación: los métodos rigurosos, cuya aplicación hasta el momento requería de varios días de trabajo, o incluso semanas, consumían ahora muy poco tiempo de cálculo, y por lo tanto dejó de tener sentido aceptar como buena la inexactitud de los métodos aproximados. En la actualidad, los métodos rigurosos han pasado a ser la principal herramienta de diseño,



quedando como único papel de los métodos de aproximación, el proporcionar una estimación inicial para los cálculos rigurosos y eliminar las opciones menos adecuadas.

El diseño final de un equipo de etapas múltiples requiere una determinación precisa de la temperatura, la presión, los flujos y composiciones de las corrientes y las velocidades de transferencia de calor para cada etapa. Dada la clara no-linealidad de las ecuaciones que describen el proceso, es necesario resolver el problema mediante el uso de procedimientos iterativos. Así, los diversos métodos que existen para realizar estos cálculos, difieren básicamente en la selección del conjunto de variables independientes.

Los primeros intentos para la resolución del sistema de ecuaciones formado por los balances de materia, las relaciones de equilibrio, las expresiones sumatorias de las fracciones molares y los balances de entalpía (ecuaciones MESH)⁴⁰, fueron los métodos clásicos de cálculo etapa a etapa y ecuación a ecuación de Lewis-Matheson (1932) y Thiele-Geddes (1933), aplicables a columnas convencionales (de una sola alimentación y donde se extraen dos productos, el destilado por el domo y el residuo por los fondos). Aunque ambos fueron ampliamente utilizados para cálculos manuales en los años siguientes a su aparición, se observó un comportamiento numéricamente inestable cuando se intentó programarlos en una computadora. El método de convergencia, desarrollado en 1963 por C. D. Holland y sus colaboradores, mejoró el método de Thiele-Geddes y ha sido utilizado con éxito hasta la fecha, para ciertas mezclas multicomponentes.

En la actualidad se utilizan métodos que resuelven las ecuaciones MESH a partir de un conjunto de ecuaciones lineales simultáneas para las N etapas o platos de una columna, agrupadas para cada componente. Estos métodos se pueden clasificar dentro de cinco grandes grupos, los tres primeros separan las ecuaciones MESH en grupos, para resolverlas a través de una serie de pasos:

- Métodos de punto de burbuja (BP), que calculan la temperatura de los platos por resolución de la ecuación del punto de burbuja.
- Métodos de suma de flujos (SR), que usan los balances de energía para obtener la temperatura de los platos.

⁴⁰ Expresiones que en conjunto se conocen sistema de ecuaciones *MESH*, palabra formada por las iniciales de Materia, Equilibrio, Suma y el símbolo de la Entalpía, H.



- Métodos de Newton, que calculan las temperaturas y el flujo total al mismo tiempo, pero las composiciones en un paso separado.
- Método de Newton global o de corrección simultánea (SC), que resuelve todas las ecuaciones MESH simultáneamente.
- Recientemente se han desarrollado otras técnicas que aprovechan la gran capacidad de memoria de las computadoras modernas (métodos “inside-out”, métodos de relajación, métodos de homotopía, métodos de no-equilibrio) que intentan dar solución a los problemas de convergencia que presentan los métodos anteriores, así como cobertura a problemas de separación de mezclas cada vez más complejas. Pueden encontrarse programas ya elaborados con estas técnicas, aunque normalmente se limitan a un número relativamente reducido de posibilidades para la especificación de variables.

De este modo, la aplicación eficiente de la Programación, en combinación con los Métodos Numéricos, representa una herramienta muy importante para la enseñanza de la Ingeniería Química, pues permite abordar en los salones de clase problemas cuya solución requería hace años, de muchas horas de trabajo extra-muros, dedicadas casi exclusivamente a la realización de cálculos matemáticos repetitivos.

Un caso que puede ilustrar claramente la asociación entre el uso de la **Tecnología de la Información (TI)** y el ahorro de tiempo y recursos que esto significa para el estudiante, lo proporciona el Ing. Benito Bucay en un artículo publicado en 1998 en la Revista del IMIQ (Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos) ⁴¹, en el que analiza el proceso de la pirólisis del propano en fase homogénea, según el sistema cinético propuesto por Olaf A. Hougen y Kenneth M. Watson, en la década de 1930. Esta tecnología actualmente se encuentra en desuso, debido a que ha sido sustituida por procesos catalíticos que brindan mayor rendimiento y selectividad a las reacciones –deseables- de formación de etileno y propileno, sobre las reacciones –indeseables- de formación de metano, hidrógeno y etano, entre otros compuestos (Ver Apéndice I).

⁴¹ BUCAY FARADJI, Benito. **“Pirólisis Homogénea de Propano: Tecnología Pobre, Didáctica Rica”**. Revista del IMIQ, Año XXXIX, Vol. 9-10, Septiembre-Octubre, 1998.



No obstante lo anterior, el Ing. Bucay describe la riqueza, desde el punto de vista didáctico, del proceso de pirólisis, problema cuyo planteamiento y solución hacen confluir varias disciplinas formativas de la Ingeniería Química, como son la termoquímica, la ingeniería de reacciones y la teoría del equilibrio químico, entre otras. El modelo describe un sistema de cuatro reacciones, simple en apariencia; sin embargo, la interacción entre las especies moleculares involucradas, las entalpías de reacción, la caída de presión dentro del reactor (tubular), y el efecto de ésta sobre las propiedades físicas de los gases, hacen que la solución del sistema se complique. Al respecto, el autor señala:

“ Explorar estas interacciones ha sido materia de trabajo de varias (muchas) generaciones de alumnos -algunos, como el que esto escribe, seguimos fascinados por el tema después de décadas de haberlo saboreado- que de año a año trataban de obtener información que les ayudara a cumplir con la tarea, por supuesto con el mejor esfuerzo. De mi experiencia inicial (¡en 1953!), cuando nos tomó a un grupo de 5 estudiantes armados con sendas calculadoras mecánicas de escritorio, algo así como 20 días de ocho horas (seis efectivas, pues había que interrumpir para el café y las tortas); a la siguiente en Oklahoma (siete años después) donde en una computadora IBM 650-II lo pude recortar a 28 minutos, no me he liberado de la tentación de seguir probando, y hoy en mi PC Pentium con un método más tortuoso de integración (Runge-Kutta de 4 puntos) a menos de 1.5 segundos (¡con todo y gráficas!), por lo que me puedo dar el lujo de explorar toda clase de combinaciones...”

D) Uso de simuladores de procesos.

Puede definirse la simulación como la generación de posibles estados de un sistema (en régimen permanente o dinámico) por medio de un modelo que lo representa. En la Ingeniería Química difícilmente puede aislarse un elemento (equipo o variable) de un proceso para someterlo a distintas condiciones de operación, manteniendo al mismo tiempo un control total sobre los estados y variaciones del sistema. Por esta razón, los programas de diseño de procesos asistidos por computadora, mejor conocidos como simuladores de procesos, están reemplazando desde hace años a la experimentación a



escala piloto en muchos procesos, o jugando un papel complementario en otros, siendo cada vez más utilizados en el diseño y análisis de plantas químicas.

Esto significa que luego de haberse generado diversas alternativas técnicamente viables para un proceso dado (diagramas de flujo), deberá evaluarse cada una de ellas, lo que implica el cálculo de los respectivos balances de materia y energía, los servicios auxiliares, y otras características de cada opción. Con estos datos, que abarcan las propiedades de todas las corrientes del proceso, ya sean extensivas o intensivas (temperatura, presión, composiciones) se está en condiciones de obtener un costo aproximado, por lo que no es raro que hasta un 80% del trabajo de los ingenieros en estas etapas del diseño de una planta, se enfoque exclusivamente en obtener información termodinámica y cinética confiable. Esto proporciona una base para desechar entre las diversas opciones a las menos convenientes, o bien, para verificar el rendimiento y desempeño de un diseño ya elegido en relación con aspectos más específicos, como son el control, la confiabilidad y el arranque y operación, entre otros.

Estos programas o paquetes, por lo tanto, se encuentran compuestos por bancos de datos, modelos de cálculo de propiedades físicas de muchas sustancias y modelos de dimensionamiento y operación de equipos. Sus extensos bancos de datos contienen información acerca de las propiedades termofísicas y de transporte para cientos de sustancias, constantes físicas y costos de operación de equipos y capital, entre otros. Los simuladores contienen también una gran variedad de modelos de operaciones unitarias y reactores, que se usan para calcular los balances de materia y energía, y dimensionar así toda clase de equipos de proceso.

Aunque los simuladores tradicionales realizan sólo simulaciones en régimen permanente, en los últimos diez años han surgido otros programas capaces de realizar simulaciones dinámicas (por ejemplo el simulador *DYNAPLUS*, de la empresa Aspen Technology Inc.), es decir, cálculos de balances y condiciones de proceso que dependen del tiempo, ya sea para representar el comportamiento de equipos de operación en lotes (*batch*), o bien para analizar la evolución que se manifiesta en los periodos transitorios entre dos regímenes permanentes, para un equipo o una planta completa. En este caso, el modelo matemático se constituye mediante un sistema de ecuaciones diferenciales parciales cuyas variables independientes son las coordenadas espaciales y el tiempo. Es importante destacar que se pronostica un desarrollo muy importante en el campo de la



simulación dinámica en los próximos años, ante el surgimiento de nuevas tecnologías en la Ingeniería Química (por ejemplo, los procesos biotecnológicos) y por la extensión de las áreas en las cuales se utiliza normalmente (como en el estudio molecular de los procesos de separación de mezclas multicomponentes por rectificación).

Los simuladores de procesos pueden dividirse en los siguientes tipos según la filosofía bajo la cual se plantea el modelo matemático que representa el proceso a simular:

- **Simuladores secuenciales modulares.** Estos simuladores basan su estructura matemática en la construcción de módulos de simulación independientes entre sí, que siguen aproximadamente la misma estructura de diseño de las operaciones unitarias, es decir, cada equipo se modela a través de esquemas teóricos específicos para el mismo, y la integración de los módulos se realiza de forma secuencial, es decir, el flujo de la información coincide con el “flujo físico” de las corrientes del proceso. En esta filosofía se tiene como ventaja el hecho que cada sistema de ecuaciones es resuelto con una metodología que resulta adecuada para el mismo, ya que es posible analizar bajo todas las circunstancias el comportamiento del método de solución propuesto, ya sea para sistemas ideales o no ideales, diversas características de operación del equipo, y diferentes condiciones de operación. De este modo, dado que se puede analizar de manera específica la conveniencia de los distintos métodos de resolución, es factible lograr un modelo confiable y eficiente para cada módulo en particular. Así, debido a que los módulos de las operaciones unitarias permanecen intactos, es posible construir un diagrama de flujo muy complejo con un mínimo esfuerzo, especificando de manera sencilla el flujo a través de los diferentes módulos. Aún más, el nivel de complejidad de cada módulo puede programarse de manera independiente, de modo que es posible pasar de modelos rápidos a modelos rigurosos aplicando cambios menores al simulador, con lo que es posible construir estrategias de solución particulares para cada tipo de operación, sin alterar el esquema de solución del programa completo.



- **Simuladores globales u orientados a ecuaciones.** En este tipo de simuladores se plantea el modelo matemático como un gran sistema de ecuaciones que representa a todo el proceso o planta a simular. De esta forma el problema se traduce en resolver dicho sistema, que por lo general es marcadamente no lineal. Por ejemplo, en los problemas típicos de simulación de columnas de destilación por métodos rigurosos, el sistema de ecuaciones resultante puede llegar a contener cientos -e incluso miles- de variables, con lo que puede vislumbrarse la magnitud del sistema que representa el modelo de una planta completa. En la década de 1970, cuando se elaboraron los primeros simuladores, no existían los medios apropiados (principalmente arquitectura informática o “hardware”) para la resolución numérica de sistemas de ecuaciones de gran tamaño. Es por ello que los primeros simuladores comerciales prefirieron adoptar la estructura modular sobre la global. El principal problema asociado con el método de resolución global es la convergencia del sistema y la consistencia de las soluciones que se encuentran. En efecto, los sistemas altamente no lineales como los que corresponden a modelos de plantas químicas pueden, por ejemplo, producir múltiples soluciones, además, la solución numérica para grandes sistemas, suele exigir valores iniciales apropiados, es decir, próximos al valor de la solución, de lo contrario pueden presentarse serios inconvenientes. Históricamente, estas dificultades fueron la causa que limitó el desarrollo de este tipo de simuladores en forma masiva. Una de las críticas que realizaban a menudo los usuarios a estos simuladores era la imposibilidad de identificar los sectores de la planta en correspondencia con el sistema de ecuaciones que lo representa, pues una vez que se arma el sistema global, éste se integra en un todo y se pierde la correspondencia entre el equipo y el subsistema de ecuaciones que lo representa. De esta manera, si existieran inconvenientes durante la simulación, resulta difícil relacionar el problema con un sector específico de la planta, o bien dar valores iniciales en el sector adecuado del proceso. Por otro lado, una ventaja importante de este método de solución es que puede lograrse una velocidad de convergencia mayor que en los simuladores secuenciales; además, dado que el sistema se plantea orientado a ecuaciones, es posible incorporar, con cierta facilidad, expresiones de restricción para definir problemas de optimización en forma directa,



ya que basta con plantear las restricciones y la función de optimización (flexibilidad que no es posible en los simuladores secuenciales modulares, debido a que los módulos están definidos en forma rígida).

- **Simuladores híbridos o modular secuencial-simultáneo.** Desde la década de 1980 se comenzaron a desarrollar estrategias para disminuir la distancia que había entre simuladores modulares secuenciales y los orientados a ecuaciones, con la finalidad de aprovechar los aspectos positivos de ambas metodologías al máximo. El resultado fue que los simuladores orientados a ecuaciones fueron modificados para incorporar procedimientos básicos en bloques (como el cálculo de propiedades fisicoquímicas) y conectarlos con el programa que resuelve el sistema global de ecuaciones a través de interfaces. Por otra parte, los modulares secuenciales fueron evolucionando hacia métodos modulares simultáneos, es decir, seleccionando un grupo de módulos sobre los cuales se procede según la filosofía global, resolviéndolos simultáneamente, mientras que los métodos de cálculo para cada módulo permanecen intactos.

Desde una perspectiva histórica, la filosofía modular ha sido la más desarrollada, y por ello en la actualidad la mayoría de los simuladores comerciales responden a esta metodología de trabajo. Se utilizan tanto la variante secuencial pura, como en la que tiende a la de los simuladores híbridos. No obstante ante el reciente surgimiento de la programación en redes neuronales artificiales (ANNs)⁴², los simuladores, tomando como datos los del diagrama de flujo del proceso, podrán en un futuro construir una interfaz

⁴² Las redes neuronales artificiales (ANNs, del inglés *Artificial Neural Networks*) son sistemas que emulan el funcionamiento del cerebro humano, y se aplican, entre otras cosas, al desarrollo de arquitecturas o programas informáticos. Las ANNs poseen un gran número de elementos básicos (neuronas artificiales) agrupados en capas con funciones definidas y que se encuentran altamente interconectados (conexiones sinápticas). Estos sistemas son capaces, mediante entrenamiento lógico, de aprender a reconocer variaciones en los estímulos o variables de entrada, y como consecuencia, son capaces de adaptarse a dichos estímulos y realizar sus tareas modificando su comportamiento (auto-organización). A diferencia de las máquinas lógicas tradicionales, las ANNs no procesan la información de manera lineal, sino distribuida o paralela, lo que hace posible que resuelvan problemas que hasta hace poco, sólo el ser humano podía solucionar.



inteligente o lógica, que “arme” el sistema de ecuaciones correspondiente a los equipos seleccionados y que de alguna forma considere las interconexiones entre los mismos, a través de la identificación de las corrientes de entrada y salida como variables de conexión, elaborando de esta manera, a partir de los subsistemas, una gran matriz que represente el sistema global de ecuaciones de toda la planta.

Consecuentemente, este mismo sistema inteligente, sería la interfaz hacia el usuario; presentaría a éste los equipos en un formalismo o lenguaje natural (como un simulador modular), mientras que hacia el simulador los traduciría en un único sistema de ecuaciones a ser resuelto. En este caso, existiría una especie de banco o biblioteca de “módulos conteniendo subsistemas de ecuaciones de balance genéricas”⁴³, y no módulos de equipos.

En la actualidad, cuatro simuladores acaparan prácticamente la totalidad (aproximadamente 90%)⁴⁴ del mercado de estos programas para la industria química en el mundo. Estos son: *ASPEN PLUS* perteneciente a la compañía Aspen Technology Inc.; *HYSYS*, de la empresa Hyprotech Ltd.; *PRO II*, hecho por Simulation Sciences Inc.; y *CHEMCAD*, diseñado por ChemStations Inc. (aunque en 2002 se fusionaron las dos primeras compañías, el simulador HYSYS se conserva aún como otro simulador de Aspen Technology). No obstante, sin importar el simulador que se utilice, una vez comprendidos los principios por parte del alumno de Ingeniería Química, es relativamente sencillo cambiar de un simulador a otro.

Se ha criticado a los simuladores anteriores, en el sentido de que sus bancos de datos y modelos se enfocan sobre todo en los procesos petroquímicos. Aunque esto resulta cierto, desde hace pocos años se han venido implementando modelos con manejo de sólidos, corrientes acuosas con electrolitos, así como reacciones de polimerización y fermentación. Cuando los modelos de un simulador son aplicables a la realidad, éste se convierte, por mucho, en la mejor alternativa para diseñar procesos.

⁴³ STEPHANOPOULOS, G., G. Henning & H. Leone. “**MODEL.LA. A Modeling Language for Process Engineering-I. The Formal Framework**” *Computers and Chemical Engineering*, 1990, Vol. 14-8, p. 813-846.

⁴⁴ Bureau of Economic Analysis, USA, 2003.



De este modo, y como sucede con las herramientas de la Programación, la ventaja principal de un simulador de procesos se encuentra en la minimización del tiempo y los recursos requeridos para la realización de cálculos; más aún, se minimizan las fuentes de error humano, generando de este modo, resultados más precisos, que permiten al Ingeniero ocuparse de otras tareas como el análisis e interpretación de los datos del simulador, que le permitan tener un conocimiento más profundo de lo que sucede en el proceso.

Por ello, resulta de vital importancia que los estudiantes de Ingeniería Química se familiaricen con el uso de los simuladores desde las primeras etapas de su formación académica, de tal modo que puedan obtener el máximo provecho del uso de estas valiosas herramientas.

En este sentido, es necesario considerar que si bien las Universidades tienen la ventaja de obtener licencias a un costo más bajo que las industrias, éste sigue siendo elevado. Por ejemplo, diez licencias de HYSYS para una Universidad en México tienen un costo de USD \$6000, y su renovación anual cuesta USD \$2500, mientras que quince licencias de ASPEN PLUS cuestan alrededor de USD \$6500 y renovarlas aproximadamente USD \$1200 ⁴⁵. Esta es tal vez la razón por la que sólo 19 Universidades en México (28% de las que imparten uno o más programas de Ingeniería Química) ⁴⁶, cuentan en su plan curricular con alguna asignatura de Simulación de Procesos.

Al considerar estos inconvenientes, se cae en la cuenta de que los estudiantes, al empezar a utilizar los simuladores, debieran contar con un conocimiento previo que les permita explotar sus recursos al máximo. Otra alternativa puede ser la de impulsar desde las Universidades mexicanas, el desarrollo de un simulador o “*software*” propio, empresa sin duda ambiciosa, pero que puede contribuir a la formación de nuevos Profesionales Informáticos de la Ingeniería Química.

⁴⁵ Fuente: Microsoft de México, S.A. de C.V., 2004.

⁴⁶ Se cuentan 68 Universidades e Institutos de Educación Superior, sin considerar los distintos tipos de planes para la carrera que ofrecen algunas de ellas (por ejemplo, las variantes Ingeniero Químico en Sistemas e Ingeniero Químico Administrador, del ITESM), ni los distintos *campus* que varias poseen, sino sólo a la Institución o campus central, por considerar que no varía el plan de estudios en las distintas sedes de una misma Universidad. Sin estas consideraciones, el número de ofertas de la carrera asciende a más de cien.



3.4 LA INFORMÁTICA EN EL EJERCICIO PROFESIONAL DEL INGENIERO QUÍMICO.

Los avances en la comprensión de los principios de la Ingeniería Química en los últimos años, en combinación con la disponibilidad de nuevas herramientas y técnicas, han incrementado el grado de complejidad en el diseño de operaciones en la industria química. El espectro del conocimiento de la disciplina en este sentido, se ha visto ensanchado tanto por el descubrimiento y aplicación de nuevas tecnologías para determinadas operaciones, como por la inclusión de filosofías de calidad y conceptos como el de “industria limpia”, que han venido implementándose en el diseño y evaluación de los procesos, haciendo que la labor del ingeniero químico sea cada vez más una tarea de integración de dichos elementos, en un arreglo que brinde el mayor beneficio económico y social, tanto a la empresa, como al entorno inmediato a ésta.

En las páginas precedentes se presentó una breve exposición acerca de las ventajas que el estudiante de Ingeniería Química obtiene cuando hace uso de las herramientas informáticas de manera eficiente; pero resulta obvio que no sólo el estudiante se ve beneficiado con esta tecnología. Como ya se ha mencionado, la capacidad de las computadoras para realizar cálculos con mucha rapidez, la gran cantidad de información que puede almacenarse en su memoria, así como la amplia variedad de programas o “software” matemático y técnico de que hoy se dispone, permiten resolver problemas más grandes y complejos en un tiempo considerablemente menor que hace varios años. Esto ha hecho posible que la atención del ingeniero pueda situarse más en aspectos relacionados con la interpretación de resultados, así como en la planeación e implementación de procesos a partir de la información obtenida mediante los cálculos, que en la forma de realizar estos últimos. Así, el diseño es una de las funciones del ingeniero químico en las que ha tenido mayor impacto la aparición de la **Tecnología de la Información (TI)**.

De este modo, si las herramientas informáticas le facilitan al estudiante la comprensión de los problemas en el salón de clases, al profesional le son indispensables para resolverlos en situaciones reales; mientras el alumno usa los programas para cumplir con la tarea, el ingeniero los necesita para dimensionar un equipo; el primero puede



experimentar con un simulador de procesos usando cualquier combinación de equipos y variables, el segundo depende del simulador para encontrar las condiciones óptimas de operación de una planta.

En este contexto, y dada la gran variedad de actividades en las que el ingeniero químico mexicano se desempeña actualmente, será de utilidad hacer un recuento de algunas áreas de participación en las que se hacen muy notorios los beneficios que la Informática provee.

A) Ingeniería de procesos.

La tarea central del ingeniero es, por excelencia, el diseño. En la ingeniería de procesos (no sólo la química, sino también la bioquímica, biotecnológica y otras) se distinguen cuatro campos de acción o tipos de actividad de los ingenieros, según Vilbrandt y Dryden ⁴⁷: investigación y desarrollo, diseño, operación (o producción), y administración. En cualquiera de estas áreas, el contenido de ciencia y conocimiento empírico se entrelazan dinámicamente, haciendo del diseño la actividad donde mejor se observa que el bagaje de conocimientos del ingeniero de procesos no es sólo teoría, sino que también la práctica probada y el criterio ingenieril juegan un papel importante.

El diseño de un proceso determinado comienza con la detección de un problema o necesidad, cuya solución sea socialmente útil. La detección del problema puede -y suele ser- externa al desarrollo del proyecto, sin embargo, forma parte integral del mismo como fundamento. Posterior a este paso, debe plantearse una solución en términos conceptuales; esta parte conceptual se refiere a los aspectos técnicos fundamentales, es decir, los proyectos se inician revisando las bases científicas de la Ingeniería, lo que usualmente se conoce como la definición del proceso. En esta etapa se especifica qué tipo de proceso se desea diseñar, pero sólo de modo general, y buscando que sea factible desde el punto de vista técnico.

⁴⁷ VILBRANDT, Frank; DRYDEN, Charles. **"Ingeniería química del diseño de plantas industriales"**; Grijalbo, México, 1963.



Si la solución (tecnología) no existe, entonces la detección del problema llevará al desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas, que no forman parte del diseño en sí, sino que se constituyen como una etapa previa (investigación y desarrollo de procesos). El desarrollo de bases científicas adecuadas para resolver un problema mediante métodos de pequeña escala suele llamarse investigación aplicada (en un determinado momento, esta investigación puede estar directamente ligada con la investigación básica, y orientarse a otros propósitos como el desarrollo de nuevos conocimientos científicos).

Sin embargo, aún cuando se disponga de una opción tecnológica documentada, otra parte -no trivial- de esta fase de investigación, consistirá en recopilar la mayor cantidad de datos sobre las propiedades fisicoquímicas de las sustancias o materiales (materias primas o productos) que intervienen en cualquier etapa del proceso. Las adaptaciones que deban hacerse a la tecnología para ajustarla a las condiciones deseadas, suelen ser también una tarea laboriosa, y que requiere de una gran cantidad de cálculos matemáticos. En todas estas actividades, sin duda, la **Tecnología de la Información (TI)**, le proporciona al Ingeniero Químico una amplia diversidad de herramientas (desde máquinas calculadoras, hasta elaborados programas), que le facilitan el trabajo de investigación, y disminuye notablemente el tiempo en el que lo realiza.

Una vez definidos el problema y su solución tecnológica (conceptual), se debe desarrollar una etapa de clasificación y esclarecimiento de los aspectos técnicos de la solución. Normalmente esta etapa se refleja en memorias de cálculo, (es decir, textos, tablas y fórmulas) que describe lo conocido hasta ese momento. En esta etapa se suelen generar varias opciones y la elección de la óptima depende de su factibilidad técnica, de sus costos (factibilidad económica), y desde hace algunos años como factor decisivo, de su impacto ambiental. Ejemplos de alternativas técnicas del proceso que pueden surgir en esta etapa serían: ¿Es preferible enfriar una corriente con aire o con agua?, ¿Qué tipo de platos debe tener cierta torre?.

Estos estudios de factibilidad técnica, económica y ambiental representan la última fase de la denominada Ingeniería conceptual o Fase de evaluación del proceso, que antecede a la Ingeniería básica.



En la Ingeniería básica se comienza por establecer una noción del proceso. La noción del proceso se desarrolla en etapas de complejidad creciente. Cada paso se orienta hacia la reducción de la incertidumbre asociada a la solución; es decir, conforme avanza el proyecto, es cada vez más clara la forma final de la misma, hasta llegar a la construcción y operación de la planta. Así, para iniciar se especifican las bases y los criterios de diseño para el proceso, que delimitan las condiciones de las variables que se desean, así como las “reglas” asociadas con dichas condiciones, que han de seguirse durante el desarrollo del proyecto.

La Ingeniería básica es la labor esencial del Ingeniero Químico en un proyecto, pues representa la base o fundamento del mismo. Está constituido por una serie de documentos, entre los que destacan: los balances de materia y energía, los diagramas de flujo de proceso (DFPs), la descripción del proceso, las hojas de datos de los equipos, las condiciones (composiciones, propiedades termofísicas, temperaturas y presiones) de las corrientes de proceso y auxiliares, entre otros; es decir, documentos que contienen la información necesaria para diseñar la planta, operable, segura y bajo control.

Describir cada uno de los documentos que componen el paquete de Ingeniería básica de un proyecto, rebasaría la extensión de esta Tesis; es suficiente, sin embargo, recordar el papel primordial que tienen hoy las herramientas informáticas para procesar y almacenar la enorme cantidad de información que se genera durante toda esta etapa del proyecto.

Para este propósito, algunas hojas de cálculo tales como *Excel* de Microsoft, Lotus 1-2-3 y *Quattro Pro* de Corel, son hoy tan fáciles de usar como un procesador de textos; de modo que el Ingeniero puede introducir tablas de datos y programar las hojas para evaluar expresiones aritméticas complejas con muy poco esfuerzo. En este tipo de programas o “software” todas las columnas y filas son manipulables y pueden graficarse fácilmente, y los resultados pueden guardarse o exportarse a otros programas, sin la dificultad de complicadas instrucciones de formato como las que acompañan a los lenguajes de programación como *Fortran*. Por esta razón, muchos ingenieros prefieren, cada vez con más frecuencia, elaborar programas usando estas hojas de cálculo, que los viejos lenguajes de programación, aún cuando se trate de algoritmos iterativos, como en la solución de ecuaciones no lineales. Además, cabe mencionar que estas hojas de



cálculo disponen también de funciones que permiten ejecutar rutinas de programación dentro de la hoja, mediante la asociación de ciertos comandos con algún lenguaje de programación; un ejemplo de esta asociación, ampliamente utilizado en México, es la aplicación del lenguaje *Visual Basic for applications* para macros⁴⁸ de *Microsoft Excel*.

En la fase de evaluación económica, las hojas de cálculo son ampliamente usadas para análisis de costos. Dado el costo total del equipo instalado, y el costo unitario de productos, subproductos y materia prima, así como las utilidades, se puede calcular de manera sencilla el capital total de inversión, y varias medidas de beneficio mediante formulas contenidas en el programa, tales como el Retorno de la Inversión, el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Los paquetes matemáticos (numéricos y simbólicos) representan otra importante herramienta para el ingeniero químico. Ejemplos de estos, son los programas de análisis de sistemas lineales (*Matlab*), los de manipulaciones simbólicas con álgebra y cálculo (*Matematica*, *Maple*), los de integración numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias (*Matematica*, *Colnew*, *Odepack*), los de solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales (*Pdecol*), los de análisis de optimización (*GAMS*), y los paquetes de tratamiento estadístico de datos.

Este conjunto de programas, también llamado “software” interactivo, ha evolucionado desde algoritmos de programación que sólo efectuaban manipulaciones de matrices, hasta programas de gran alcance que combinan cálculos de matrices, análisis de datos, resolución de ecuaciones, gráficos y muchas otras funciones. Dos ejemplos representativos de este “software” son *Mathcad*⁴⁹ y *Matlab*⁵⁰. La principal razón del éxito de este tipo de paquetes radica en que el lenguaje empleado para formular los programas es sencillo y se combina bien con las matemáticas que el usuario ya conoce. Por ejemplo, en *Matlab* la orden $x = A/b$, produce la solución del conjunto de ecuaciones lineales, $Ax = b$.

⁴⁸ Comando de los programas de *Microsoft*, que permite ejecutar una secuencia de acciones mediante códigos del lenguaje *Visual Basic* en el Editor para este propósito del programa.

⁴⁹ Marca registrada de *Mathsoft, Inc.*, One Kendall Square, Cambridge, MA 02139.

⁵⁰ Marca registrada de *The Mathworks*, 24 Prime Park Way, Natick, MA 01760.



Las pantallas de Mathcad se comportan como bloques de notas. Las ecuaciones y funciones se tratan en formato libre, de modo que los símbolos y operadores matemáticos aparecen en la pantalla tal como lo harían en una copia impresa. Todos los cambios hechos a los datos se propagan actualizando todos los cálculos, por lo que no es preciso tener experiencia en programación para usar estas funciones, dispone además de métodos de presentación de resultados tanto gráficos como escritos para la preparación de informes y cuenta con variados paquetes de aplicaciones, incluido uno para cálculos de ingeniería química.

Matlab se ha establecido como una herramienta valiosa para ingeniería gracias a su sencillez en comparación con los códigos de lenguajes de C y Fortran (desde el punto de vista de los usuarios). Es posible efectuar diversos tipos de análisis numéricos en forma interactiva con sólo pulsar unas cuantas teclas. Al igual que con Mathcad, los problemas por resolver y las soluciones se expresan casi exactamente igual que como se escribirían matemáticamente. Matlab cuenta también con un conjunto de paquetes de aplicación llamados “cajas de herramientas” que son bibliotecas de funciones y programas que resuelven problemas específicos. Por ejemplo, hay cajas de herramientas para resolver problemas de procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, matemática simbólica (basada en el “software” Maple), estadística, redes neuronales, aproximaciones por tramos, sistemas de control y optimización. Si estas aplicaciones no satisfacen las necesidades del usuario, éste puede modificar los algoritmos de Matlab o escribir sus propias instrucciones.

Otros paquetes de “software” matemático se desarrollaron como manipuladores simbólicos, no como calculadores numéricos. Estos programas eliminan las deducciones matemáticas tediosas y propensas a errores, y aplican las reglas del álgebra, trigonometría, cálculo y álgebra matricial para resolver una amplia gama de problemas. Después de que se introduce una fórmula (empleando operadores y funciones estándar), ésta se puede simplificar, graficar, desarrollar, aproximar, factorizar, poner con un denominador común, integrar o diferenciar, todo de manera simbólica. Además, las ecuaciones y desigualdades se pueden resolver analíticamente o en forma aproximada, y las matrices se pueden sumar, multiplicar, transponer o invertir.



Tres paquetes muy conocidos son *Matematica*⁵¹, *Maple*⁵² y *Derive*⁵³. Todos tienen las siguientes características:

- ❖ Ejecutan matemáticas simbólicas desde álgebra hasta cálculo.
- ❖ Grafican en dos y tres dimensiones.
- ❖ Resuelven ecuaciones con exactitud (simbólicamente).
- ❖ Manipulan vectores y matrices.
- ❖ Realizan aritmética con cifras de miles de dígitos.
- ❖ Simplifican, factorizan y desarrollan expresiones.
- ❖ Manejan funciones exponenciales, logarítmicas, trigonométricas, hiperbólicas y de probabilidad.
- ❖ Efectúan aproximaciones de series de Taylor y de Fourier.
- ❖ Permiten la programación recursiva e iterativa.
- ❖ Pueden generar códigos en lenguajes Fortran, Pascal y Basic.
- ❖ Exhiben la notación matemática aceptada.

Merecen mención aparte los sistemas computacionales de asistencia al diseño, conocidos como *CAD* (siglas del inglés, *Computer Aided Design*, o Diseño Asistido por Computadora), que son especialmente útiles en ingeniería de procesos para la elaboración de todo tipo de diagramas y planos, tales como los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTIs), los Planos de Localización de Equipos (Plot-plan), o los Diagramas de Flujo de Proceso (DFPs), entre otros. Entre los programas o “software” *CAD* más conocidos se encuentran *Autocad*, *VISIO*, *SuperProDesign* y *Archicad*, que permiten realizar con gran facilidad dibujos que hasta hace pocos años debían hacerse manualmente, lo que sin duda consumía una cantidad considerable de tiempo y esfuerzo.

Estos programas ofrecen además, la ventaja de poder modificar diseños en la computadora sin dificultad y poseer comandos adicionales que permiten, por ejemplo, vincular los dibujos con bases de datos, otros archivos y muchas aplicaciones más.

⁵¹ Marca registrada de *Wolfram Research*, P.O. Box 6059, Champaign, IL 61821.

⁵² Marca registrada de *Waterloo Maple Software*, 160 Columbia St. West, Waterloo, Ont., Canadá.

⁵³ Marca registrada de *Sot Warehouse, Ix.*, 3660 Waiialae Ave., Honolulu, HI 96816.



La Tabla 3.1 contiene una lista de los programas computacionales más ampliamente usados en el diseño de procesos, en México.

Tabla 3.1 Programas computacionales de utilidad en el diseño de procesos.

Tipo de Programa	Nombre del Programa
Hojas de cálculo	Corel Quattro Pro Lotus 1-2-3 Microsoft Excel
Matemáticas simbólicas	Derive MACSYMA MAPLE MATHCAD DERIVE MATHEMATICA
Matemáticas Numéricas	MACSYMA MAPLE MATHCAD MATLAB POLYMATH TK SOLVER COLNEW ODEPACK PDECOL
Optimización	GAMS
Simulación de Procesos	ASPEN PLUS, SPEEDUP, DYNAPLUS, SPLIT, ADSIM CHEMCAD HYSIM, HYSYS, HYCON PRO II, DESIGN PRO, PROVISION, PROTISS, HEXTRAN MULTIBATCHDS CHEMSEP

Se han descrito ya en páginas anteriores, las principales características de los simuladores, por lo que basta con agregar -como también se ha mencionado-, que su utilidad para el diseño es hoy indispensable si se quiere ahorrar tiempo y dinero en la ingeniería de procesos.

De vuelta al análisis del desarrollo de procesos, se han considerado hasta aquí únicamente, las fases de la Ingeniería conceptual y la Ingeniería básica. Pero el diseño de procesos abarca también la Ingeniería de detalle, la de procura, la de construcción, pruebas y arranque, y finalmente, la operación de la planta (la Figura 3.3, esquematiza las



fases del proyecto de diseño y construcción de una planta). De éstas, en contraste con la gran actividad que despliega durante la ingeniería básica, el ingeniero químico participa poco en las primeras tres, pues en ellas confluyen equipos multidisciplinarios de Ingeniería que se encargan de diseñar y construir la planta, basándose en las especificaciones obtenidas de la ingeniería básica, y haciéndose cargo de todo lo referente a materiales, instalaciones eléctricas, obra civil, y otras especialidades. Se puede mencionar, de paso, que los distintos tipos de ingenieros (civiles, mecánicos, eléctricos, entre otros) que realizan todos los diseños durante esta etapa, cuentan también con múltiples herramientas de la **Tecnología de la Información (TI)**, específicas para cada disciplina.

El diseño e implementación en detalle de los sistemas de control en estas fases sí compete al ingeniero químico, sin embargo, debido a la gran variedad de arreglos que pueden hacerse en estos sistemas, se estudiarán por separado, más adelante.

Es en la fase de pruebas y arranque donde entra de nuevo en acción el ingeniero químico como el profesional que mejor comprende el funcionamiento del proceso, y las herramientas de la **Tecnología de la Información (TI)** nuevamente le son útiles para el análisis de las variables y condiciones de operación, mientras se consigue estabilizar el proceso. Hasta hace unos años, los ingenieros expertos en arranque de plantas, confiaban en su conocimiento, pero sobre todo en su intuición y experiencia para lograr estabilizar un proceso, y lo hicieron así durante mucho tiempo, exitosamente. Pero ante la necesidad actual de automatizar los procesos, los Ingenieros de hoy deben saber valerse también de las herramientas informáticas; pues en el arranque de una planta moderna es posible desplegar todos los indicadores, alarmas y controles de la planta en la pantalla de dos o tres computadoras, como máximo.

Lo mismo sucede con la última fase del proyecto: la de la operación estabilizada (a régimen permanente, controlada y segura) de la planta. La creciente automatización de los procesos hará que en unos años todas las plantas industriales, puedan dirigirse desde el cuarto de control, a través de una sola computadora. Mientras tanto, el desarrollo de los sistemas de control ha venido evolucionando rápidamente desde hace pocos años, haciendo que los controles de tipo analógico estén en la actualidad en franco proceso de extinción. Sobre este tema se continuará hablando más adelante.

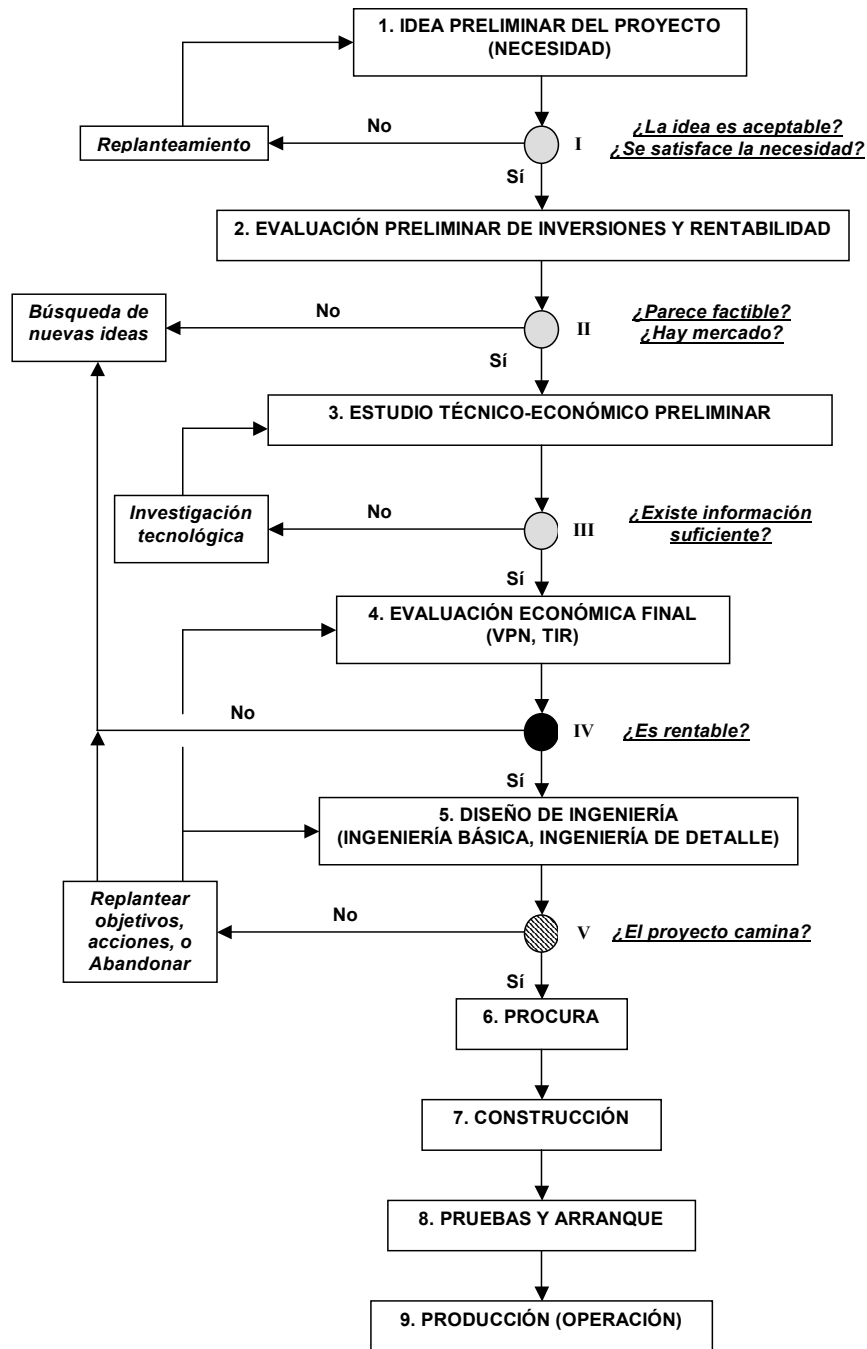


Figura 3.3 Fases del proyecto de diseño y construcción de una planta industrial. El nodo de decisión IV (en negro) representa la situación de decisión determinante del proyecto, mientras el nodo V (a rayas) representa la última oportunidad de abandonar el proyecto (nodo de irreversibilidad). (Basado en Peters & Timmerhaus. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 1991).



B) Administración de proyectos.

El ingeniero químico ha incursionado con éxito en las áreas de la Administración, debido en parte, a que su formación de carácter científica, le permite desarrollar una manera de pensar sistemática y acostumbrada a analizar los fenómenos como resultado de un conjunto de factores o variables que pueden mantener entre sí relaciones complejas, tal como sucede en los fenómenos químicos. Es así como la Administración Industrial se ha convertido en una especialidad de las ingenierías, pues cuando se desempeña una labor gerencial habiendo conocido de antemano los aspectos técnicos de los procesos, se adquiere ventaja sobre los administradores tradicionales, respecto a la visión que se tiene de la empresa. El ingeniero químico puede convertirse, de este modo, en un gran administrador de empresas, y el estudio de la relación entre Ingeniería Química y Administración podría proporcionar material suficiente para otra Tesis.

Existe, sin embargo, un área de la Administración que se encuentra particularmente ligada con la Ingeniería: la Administración de Proyectos.

En el inciso anterior se describieron brevemente las fases de un proyecto de diseño para un proceso industrial, pero es claro que el desarrollo de todo proyecto debe administrarse meticulosamente durante todas las etapas del mismo, para garantizar que los recursos involucrados se distribuyan de manera eficiente. Puede definirse a un proyecto como: “la combinación de recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros, asignados en una organización temporal, establecida con el propósito de llevar a cabo un objetivo definido, tal como la creación de un nuevo producto o servicio”.⁵⁴

El diseño y construcción de una planta industrial es por lo tanto un proyecto, pero también lo es la creación de un nuevo fármaco o la edificación de una presa. Es por ello que la Administración de Proyectos se ha desarrollado como una disciplina común a muchas ingenierías, incluida por supuesto, la química.

⁵⁴ KERZNER, Harold. **“Project Management”**. 6ª. Ed., John Wiley & Sons, New York, 2000.



Así pues, se puede entender a la Administración de Proyectos como “la aplicación de técnicas y herramientas que se utilizan para optimizar el uso de los recursos mediante la planeación y la asignación de cargos y responsabilidades, dentro del marco que definen el tiempo, los costos y la calidad, cuyo propósito es la satisfacción de todas las personas involucradas en el proyecto”.⁵⁵

Del mismo modo debe quedar clara la distinción entre operaciones y proyectos dentro de un empresa u organización. Las operaciones y los proyectos comparten muchas características, por ejemplo, ambas están limitadas en recursos y su realización incluye etapas de planeación, ejecución, y control, pero difieren principalmente en que las operaciones son sucesivas y repetitivas, mientras que los proyectos son temporales y únicos. Un proyecto por lo tanto puede ser definido en términos de su característica distintiva: es una tarea temporal desarrollada para crear un producto o servicio único. Temporal quiere decir que cada proyecto tiene un comienzo definido y una terminación definida. Único quiere decir que el producto o servicio es diferente de alguna manera, de todos los proyectos o servicios similares.

Los proyectos se desarrollan en todos los niveles de la organización. Estos pueden involucrar a unas cuantas personas, o a miles. Y pueden requerir menos de cien horas-hombre para completarse, o más de un millón; pueden involucrar una sola unidad de una organización, o cruzar muchas fronteras organizacionales, o incluso geográficas, como en los consorcios transnacionales. El fin se alcanza cuando los objetivos del proyecto se han cumplido, o cuando se hace claro que todos los objetivos no pueden realizarse y que el proyecto tiene que ser, por tanto, terminado. Temporal no quiere decir necesariamente corto en duración; muchos proyectos duran varios años. En cada caso, sin embargo, la duración del proyecto es finita: los proyectos no son esfuerzos sucesivos.

En este contexto, una clasificación de la Administración de Proyectos, propuesta por el Ing. Eduardo Rojo y de Regil⁵⁶ considera que existen dos clases o categorías de

⁵⁵ **Ídem**

⁵⁶ El Ing. Rojo y de Regil ha desempeñado, entre otros cargos, el de Gerente de Promoción Industrial de Banamex, Asesor del Presidente del Grupo Modelo, y Asesor de la Dirección de la Facultad de Química de la UNAM (desde 1997), en donde actualmente imparte cátedra de Administración en Licenciatura y Posgrado.



proyectos claramente definidas:

- Los **Proyectos de Ingeniería**, que son aquellos que se dirigen al desarrollo de nuevos diseños en los procesos, o la aplicación específica de los que ya se conocen, para la creación de infraestructura o la producción de bienes y servicios, tal como sucede en la construcción de una nueva planta o de una autopista. La ampliación de una planta instalada, la modificación de un proceso industrial, así como la remodelación de un edificio, son también ejemplos de este tipo de proyectos, y se administran de la misma forma.

- Los **Proyectos Empresariales**, poco relacionados con la Ingeniería, tienen como objetivo la realización exitosa de diligencias, convenios y negociaciones dentro o fuera de la empresa, que debido a su complejidad, deben estructurarse en la forma de un proyecto. Ejemplos de este tipo de proyectos son las fusiones entre dos o más compañías, la adquisición de una empresa, marca o franquicia, los cambios en la cultura organizacional, la apertura de nuevas sucursales y la implementación de sistemas integrales de información, entre otros.

El sustento teórico de la Administración de Proyectos lo proporciona el *Project Management Institute*, PMI, organismo internacional de administradores de proyectos, el cual, a través del PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*, o Cuerpo de Conocimientos de la Administración de Proyectos), publicación de esa entidad, provee la estructura básica para comprender la forma en cómo se aplica esta herramienta. El propósito primario de esta publicación es identificar y describir el conjunto de conocimientos que es generalmente aceptado por los administradores de proyectos.

“Generalmente aceptado” quiere decir que el conocimiento y las prácticas descritas son aplicables a la mayoría de los proyectos, la mayor parte de las veces, y que hay un consenso amplio sobre su valor y utilidad. Esto no significa que las prácticas y el conocimiento son o deben ser aplicadas uniformemente a todos los proyectos; el equipo de administración de proyectos siempre será responsable de determinar lo que es apropiado para cualquier proyecto en particular. Así, en términos generales, el conjunto



de conocimientos de la Administración de Proyectos, comprende 12 apartados o capítulos, los primeros tres son introductorios, mientras que los siguientes corresponden propiamente a las Áreas de Conocimiento de la Administración de Proyectos:

1. **Introducción.** Define los elementos claves y provee una vista del resto del documento.
2. **El Contexto de la Administración de Proyectos.** Describe el ambiente en el cual los proyectos operan. El equipo de administración de proyectos debe comprender este contexto más amplio. Administrar las actividades día a día en un proyecto, es necesario para su éxito, pero no suficiente.
3. **Los Procesos de Administración de Proyectos.** Proveen una visión generalizada de la forma en que los diversos procesos de la administración de proyectos interactúan entre sí. Entender estas interacciones es fundamental para comprender el material que se presenta en los puntos 4 al 12.
4. **Administración de la Integración de Proyectos.** Describe los procesos requeridos para asegurar que los elementos de un proyecto estén coordinados apropiadamente. Consiste en el desarrollo de un plan de proyecto, ejecución del plan de proyecto, y el control de cambios en general.
5. **Administración del Alcance del Proyecto.** Se refiere al proceso encargado de asegurar que el proyecto incluya todos los trabajos requeridos, y sólo éstos, para completar el proyecto de manera exitosa.
6. **Administración del Tiempo del Proyecto.** Define los procesos requeridos para asegurar la terminación del proyecto a tiempo.
7. **Administración de los Costos del Proyecto.** Se constituye por los procedimientos requeridos para asegurar que el proyecto se desarrolle dentro del presupuesto aprobado. Consiste en la planificación de recursos, estimación de costos, presupuesto de costos, y control de costos.



8. **Administración de la Calidad del Proyecto.** Se encarga de los pasos necesarios para asegurar que el proyecto será satisfactorio a las necesidades para las cuales fue desarrollado.
9. **Administración de los Recursos Humanos del Proyecto.** Provee los lineamientos que el administrador ha de seguir para lograr un manejo más eficiente de las personas involucradas en el proyecto.
10. **Administración de las Comunicaciones del Proyecto.** Se asegura de la generación apropiada y a tiempo, así como de la colección, disseminación, almacenamiento, y disposición final de la información del proyecto.
11. **Administración de Riesgos del Proyecto.** Propone las actividades concernientes a la identificación, análisis, y respuesta a los riesgos del proyecto.
12. **Administración de la Procuración del Proyecto.** Describe los procedimientos requeridos para la adquisición de bienes y servicios fuera de la organización ejecutora.

La Figura 3.5 muestra un esquema que representa las áreas del conocimiento de la Administración de Proyectos (puntos 4 a 12), en los que se encuentran a su vez expresadas las actividades específicas de cada capítulo.

Actualmente, como sucede en otras ramas de la Ingeniería, existe una gran variedad de paquetes o programas informáticos que facilitan las actividades de la Administración de Proyectos. El “software” de administración de proyectos se usa comúnmente en el desarrollo de la programación del proyecto, se trata de una categoría de aplicaciones para computadora diseñada especialmente para ser utilizada en la planeación y control de la programación y costos de los proyectos. Estos programas automatizan los cálculos y el análisis matemático de rutas óptimas del proyecto y de la distribución de recursos, por lo que permiten efectuar una evaluación rápida de varias opciones de programación. Una de las ventajas más importantes de utilizar estos paquetes informáticos, es la facilidad para realizar un seguimiento rápido de fechas programadas en contraste con las fechas reales, y de pronosticar los efectos de los cambios en la programación, reales o potenciales.

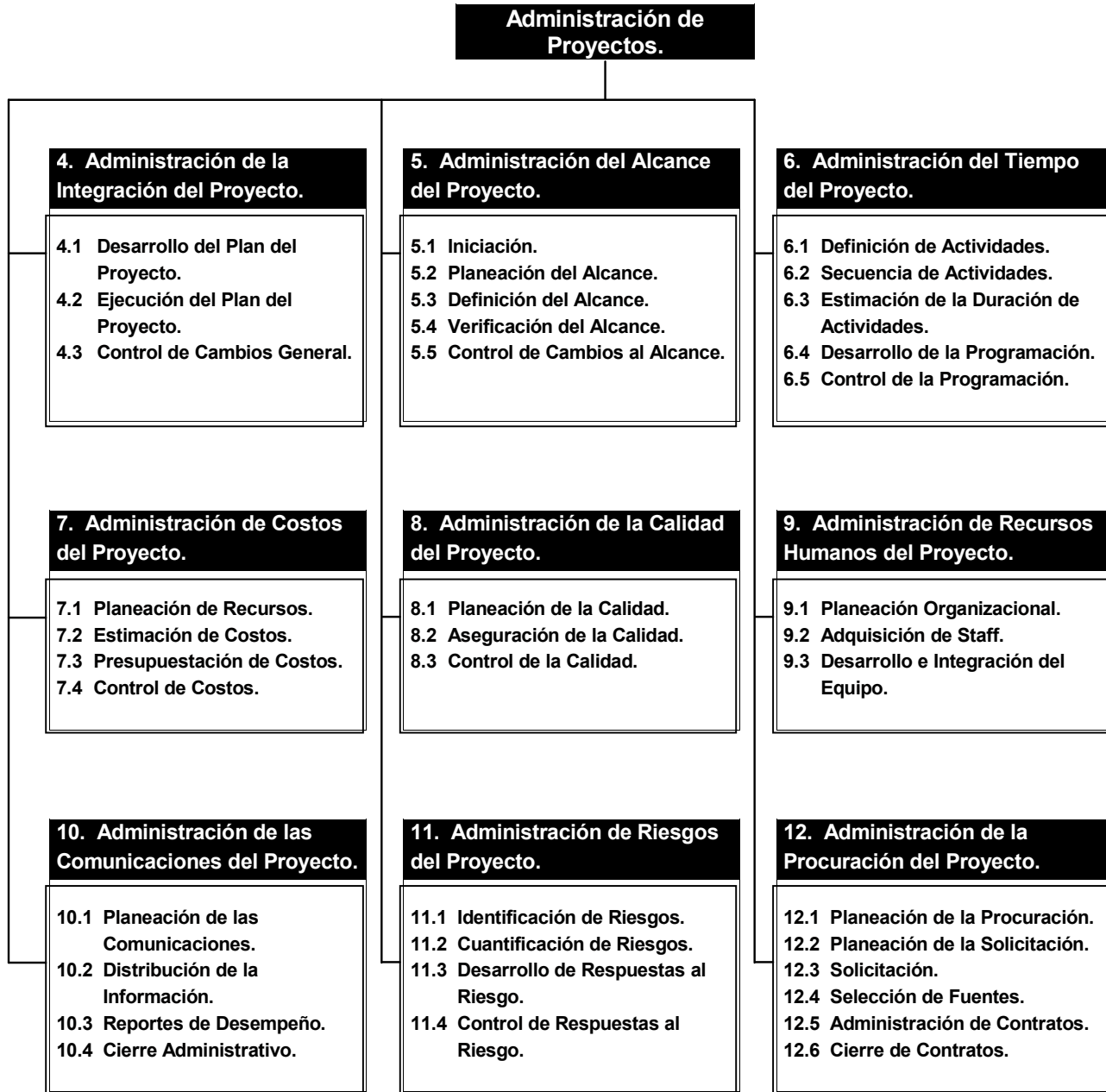


Figura 3.5 Áreas del conocimiento de la Administración de Proyectos.
(Fuente: PMBOK, 3ª Ed., PMI)



Otra herramienta informática que se emplea para la estimación de la duración de las actividades, así como para la cuantificación de riesgos, es la simulación. La simulación utiliza una representación o modelo de un sistema para analizar el comportamiento o desempeño del mismo; permite calcular múltiples duraciones del proyecto con diferentes escenarios o juegos de suposiciones. La técnica más común en Administración de Proyectos es la simulación con el análisis de Monte Carlo, la cual puede programarse fácilmente en una hoja de cálculo como Excel, por ejemplo.

El método Monte Carlo se utiliza ampliamente en los lenguajes de programación para hallar la probabilidad de un suceso, utilizando números aleatorios. Es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen las computadoras para generar este tipo de números y automatizar los cálculos. La simulación Monte Carlo (SMC) fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para lo cual se usan números aleatorios (el nombre hace alusión precisamente a los juegos de azar del famosos casino, en Mónaco); posteriormente, se demostró que es útil para cualquier esquema que use distribuciones de probabilidad conocidas para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante. Se trata de un proceso computacional que utiliza números aleatorios para generar una salida, por lo que en vez de tener entradas con puntos dados, se asignan distribuciones de probabilidad a una o todas las variables de entrada.

La clave de la simulación Monte Carlo consiste en crear un modelo matemático del sistema, proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables de entrada (“inputs” del modelo), cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Una vez identificadas dichas variables aleatorias, se lleva a cabo un experimento consistente en:

- Generar, con ayuda de la computadora, muestras aleatorias (valores concretos) para las variables de entrada (“inputs”) y,
- Analizar el comportamiento del sistema con cada uno de los valores generados. Tras repetir “n” veces este experimento, es posible disponer de “n” observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual puede servir para entender el



funcionamiento del mismo. Obviamente, el análisis será tanto más preciso cuanto mayor sea el número “n” de experiencias que se lleven a cabo.

De esta forma, una simulación Monte Carlo, “ejecuta” el proyecto muchas veces, para proveer una distribución estadística de los resultados, tal como se ilustra en la Figura 3.6. El análisis de Monte Carlo y otras formas de simulación pueden ser empleadas también para cuantificar el intervalo de posibles costos de un proyecto.

Los resultados de una simulación para la programación de un proyecto pueden, de este modo, ser útiles para cuantificar el riesgo de cada una de las opciones de programación, de las diferentes estrategias del proyecto, de las distintas rutas a través de la red de actividades, o de poner en marcha o no, actividades individuales optativas.

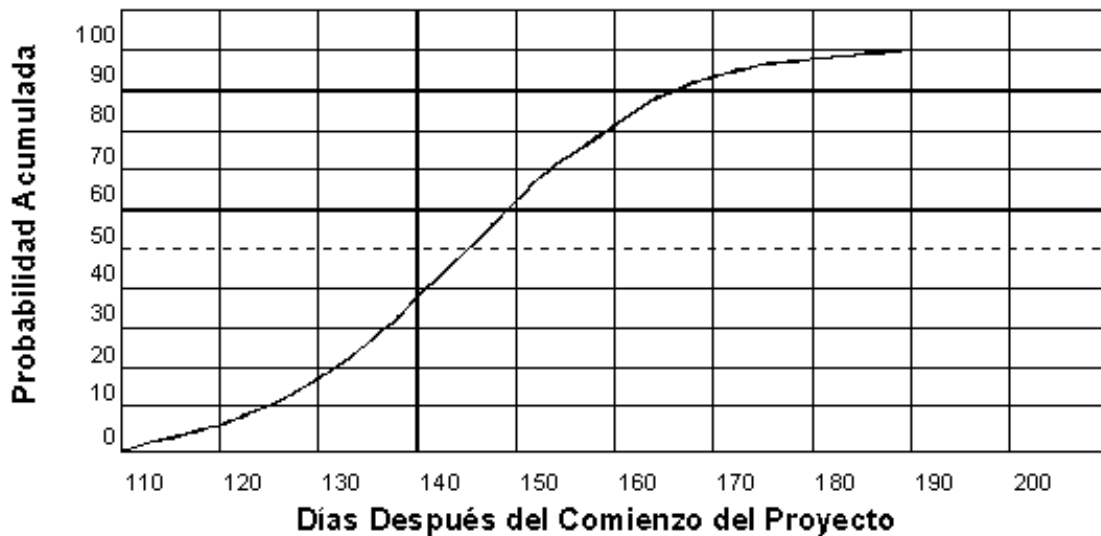


Figura 3.6 Resultados de una Simulación Monte Carlo de una Programación de Proyecto. La curva muestra la probabilidad acumulada de la terminación de un proyecto en una fecha particular. Por ejemplo, la intersección de las líneas punteadas muestra que hay una probabilidad del 50% de que el proyecto termine a los 145 días. Las fechas de terminación hacia la izquierda tienen riesgo más alto, y hacia la derecha el riesgo es menor.



En la actualidad, se prefiere utilizar la simulación como herramienta para elaborar la programación de proyectos grandes o complejos, ya que los métodos tradicionales de análisis matemático tales como el Método de Ruta Crítica, CPM (*Critical Path Method*), y la Técnica de Evaluación y Revisión Programada, PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), fusionadas hoy como PERT/CPM, no tienen en cuenta la convergencia de caminos (véase la Figura 3.7), y por lo tanto tienden a subestimar la duración del proyecto.

Los programas comerciales de administración de proyectos y las hojas de cálculo también son útiles en la estimación de costos, debido a la facilidad de calcular resultados con distintos escenarios, proporcionando muchas opciones de gastos y utilidades.

Entre los principales proveedores de programas informáticos para este propósito destacan: **Primavera Systems Inc.** (*Primavera Project Planner, Primavera Enterprise, Sure Track Project Manager*), **Microsoft Corp.** (*Microsoft Project, Enterprise Project Management*), y **Scitor Corp.** (*Project Schedule, PSNext*), si bien la oferta de este tipo de “software”, crece día con día. Estos programas pueden realizar el seguimiento de todas las personas, actividades y avances de un proyecto. Las tareas que en general son comunes a la mayoría de estos programas comprenden:

- Organización detallada de cada una de las actividades del proyecto. Diagramas de Gantt.
- Seguimiento de los tiempos de ejecución de las actividades. Avance real frente a avance programado. Actividades fuera de plazo.
- Horas invertidas por actividad y por persona. Tiempo valorado por perfil del personal, posibilidad de efectuar comparaciones entre distintas personas y equipos de trabajo.
- Validación de tareas por orden de importancia.
- Generación automática y salida de informes en varios formatos: Microsoft Office, PDF, y otros.
- División y análisis del proyecto en fases.
- Organización y control de costos y gastos del proyecto: gastos de personal, facturas y cobros. Comparaciones de desempeño frente al presupuesto original.



- Manejo de recursos: curvas, jerarquías, perfiles, tablas y nivelación de recursos. Uso de calendarios de recursos para planificar y controlar.
- Gestión documental asociada, general y por expediente.
- Plataforma para implementación de sistemas de calidad (ISO).

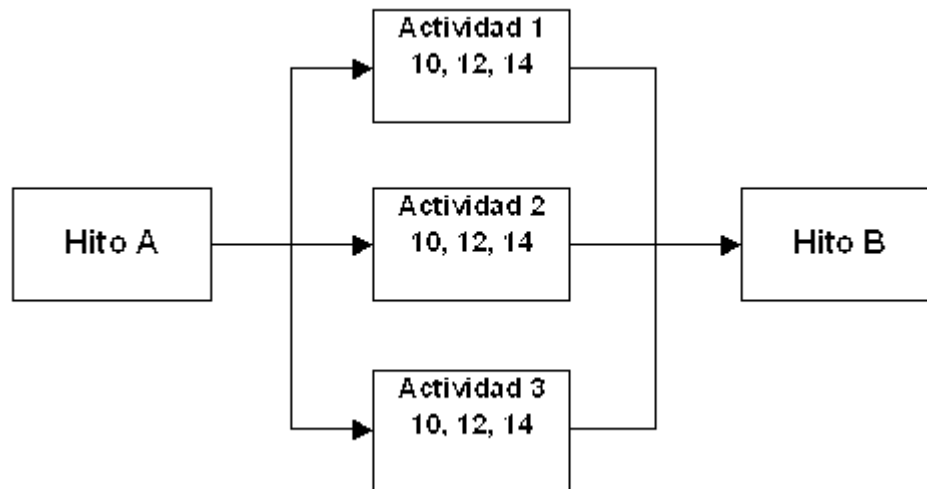


Figura 3.7 Convergencia de caminos. Las actividades 1, 2 y 3 tienen todas una duración esperada de 12 ± 2 días. La duración calculada por CPM del hito A al B, sería por lo tanto de 12 días, sin embargo, la duración real será mayor de 12 días si cualquiera de las actividades se atrasa. Esto será cierto, aún si otras actividades se concluyen en menos de 12 días.

Por otra parte, desde hace pocos años, el manejo tradicional de la administración de proyectos ha venido tornándose obsoleto con el creciente proceso de “virtualización” de las empresas, en la medida en que sus unidades de negocios se encuentran distribuidas geográficamente en diversos puntos de un país, o del mundo, y se concentran más en los sistemas de información y comunicación, que en entidades físicas, como oficinas o fábricas. De este modo, las variables involucradas en los proyectos se han vuelto sumamente complejas e impredecibles, e involucran con frecuencia factores y condiciones del entorno que implican riesgos adicionales para alcanzar las metas a tiempo y dentro del presupuesto. En este panorama, el uso de sistemas de administración de proyectos basados en Internet, así como las aplicaciones informáticas que facilitan el



trabajo en equipo a distancia (como las conferencias de audio y video por vía satélite), se vislumbran como las herramientas que representan el futuro inmediato de la administración de proyectos.

De acuerdo al panorama que se ha descrito hasta aquí, el ingeniero químico mexicano necesita desarrollar un dominio aceptable de estas herramientas de la **Tecnología de la Información (TI)**, para continuar desempeñándose, tal como lo ha venido haciendo desde hace varios años, como un competente administrador de proyectos.

C) Operación y Control de Procesos.

Como se mencionó con anterioridad, la tarea central del ingeniero es, por excelencia, el diseño. Si se parte de este antecedente, se comprende que la ingeniería de procesos sea el área de desempeño profesional para la cual se prepara a los ingenieros químicos, en la mayoría de las universidades de México.

La realidad, sin embargo, es que hace varios años que el desarrollo industrial del país se encuentra en un franco estancamiento, y si bien el sector privado ha continuado construyendo plantas esporádicamente, Petróleos Mexicanos (PEMEX), por su parte -sin duda, la empresa que más ha contribuido históricamente al desarrollo del país-, ha cerrado o dejado de operar por falta de inversión, tan sólo en los últimos quince años, unidades productivas completas como las refinerías de Azcapotzalco y Poza Rica (cerradas en 1991), por no mencionar todas las plantas que se encuentran fuera de operación o semi-desmanteladas en el resto de sus complejos petroquímicos. Debido a esta carencia de inversiones, sólo se han agregado modificaciones tecnológicas menores, sin incorporar las innovaciones en tecnologías de proceso que se han puesto en práctica en otras partes del mundo, en los últimos quince años. Esto se refleja en una eficiencia operativa menor respecto de plantas modernas de otras compañías, en especial de aquellas con las que se compite en el mercado internacional.

Hoy, en México se producen etano y gasolinas naturales que le permitirían al país generar más de tres millones de toneladas adicionales de etileno, que en forma de



derivados tendrían un valor de mercado cercano a los tres mil millones de dólares anuales, suficiente para sustentar el crecimiento de la industria en los próximos veinte años. Actualmente (y aún cuando, como parte del “*Proyecto Fénix*” para resucitar la industria petroquímica, se pretende ampliar en un futuro próximo, a más de 800 mil toneladas por año, la capacidad de las plantas de etileno de los complejos petroquímicos “Morelos” y “La Cangrejera”, en Veracruz), los excedentes de etano son subutilizados en su mayor parte, como combustible, mientras las gasolinas ligeras se exportan.

En medio de este panorama poco alentador, el ingeniero químico mexicano tiene en la actualidad pocas oportunidades de desenvolverse en las áreas ligadas al diseño de procesos, debiendo hacerse cargo de la operación y control de los mismos en plantas ya instaladas, lo que por otra parte, requiere también de sólidos conocimientos de la ingeniería de procesos. En este renglón, la **Tecnología de la Información (TI)**, ha realizado valiosas aportaciones (tanto en forma de arquitectura informática o “hardware”, como de programas o “software”) para lograr un mejor control y operabilidad de los procesos. De este modo, la instrumentación digital se ha desarrollado de tal modo, que prácticamente todos los instrumentos de control modernos se encuentran constituidos total o parcialmente, por tecnología informática. Es indiscutible, por lo tanto, que el ingeniero químico que se desempeñe en la operación de procesos, requiere de un conocimiento profundo en el manejo de este tipo de herramientas, que han ido desplazando paulatinamente a los instrumentos tradicionales de señales analógicas. Para dejar en claro cómo se ha dado esta evolución en los últimos años, se describirán a continuación las principales características del control moderno de procesos.

Todas las operaciones de la Ingeniería Química dependen de la medición y control de determinadas variables del proceso. La instrumentación se considera a menudo como una operación unitaria indispensable en las complejas plantas industriales de la actualidad. Aunque algunas operaciones intermitentes (batch) pueden funcionar a veces con un mínimo de instrumentos, para guiar a los operadores, el funcionamiento de muchos procesos continuos sería imposible sin una instrumentación mínima.

Los instrumentos industriales comprenden dos clases generales, a saber, 1) los que miden, y 2) los que miden y controlan. Pueden usarse para poner en marcha diversas partes de un proceso en determinados momentos, y para regular la duración de distintas



operaciones. Si se desea, los instrumentos pueden avisar o interrumpir el proceso en caso de que se produzca una situación peligrosa o no conveniente; pueden emplearse para regular una variable en proporción concreta con otras, e incluso se dispone hoy de instrumentos para transmitir señales o indicaciones por ondas de radio a distancias considerables, sin pérdida de exactitud o efectividad.

En general, la medición de las variables de un proceso se basa en leyes físicas bien conocidas y puede expresarse fácilmente en términos matemáticos. Una variable de un proceso es cualquier condición del material del proceso o del medio que le rodea, que puede cambiar. Para controlar un proceso es importante aislar todas las variables que intervienen, y determinar cuáles son las que influyen directamente sobre el resultado que se desea, para definir las que deben controlarse. Los procesos se instrumentan, según lo anterior, para disponer de información sobre el estado⁵⁷ de su operación. Tal información es útil para asegurarse de que el proceso opera de acuerdo a las especificaciones de diseño.

Las variables son cuantificadas en el proceso mediante sensores, en ocasiones conectados a amplificadores, que generan una señal eléctrica o neumática (si bien este último tipo de señal es cada vez menos usado en los modernos sistemas de control) y, a veces, realizan una indicación local. Estos sistemas sensores tienen capacidad de transmisión de señales, es decir, generan una salida eléctrica o neumática cuyo valor es proporcional al valor de la variable medida (señal analógica⁵⁸).

⁵⁷ Se debe especificar aquí, lo que ha de entenderse por *estado* de un proceso. El concepto difiere de la noción de estado termodinámico, si bien guarda alguna similitud. Al igual que el estado termodinámico, el estado de un proceso está constituido por el valor cuantitativo de todas y cada una de las variables que permiten la completa caracterización de la operación; sin embargo, las variables del estado de una planta no requieren estar todas ligadas entre sí de forma explícita, mediante leyes de conservación (que es el caso de las variables termodinámicas de estado). La noción de estado del proceso es simple, pero puede generar un extenso listado de variables. Mediante esta definición se puede generar un listado de variables, ordenado, que contenga los valores de cada una de ellas, que permitan una completa definición del mismo.

⁵⁸ Se dice que una señal es *analógica* cuando las magnitudes de la misma se representan mediante variables continuas; esto es, *análogas* a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal. Así, las señales analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un intervalo determinado.



En los sistemas de control clásico, esta señal se transmite a un *controlador* que la compara con un valor predeterminado (Set Point) y “decide”, basándose en el resultado de dicha comparación, qué acción tomar para modificar la desviación de la variable que controla. La señal de respuesta que envía el controlador hacia un elemento final de control (por ejemplo una válvula o el interruptor de un motor), es también analógica.

La característica distintiva de los sistemas de control moderno es el manejo de señales digitales ⁵⁹. En este tipo de sistemas, las señales analógicas provenientes de los sensores se convierten en señales digitales que pueden ser “leídas” por un controlador digital (no necesariamente una computadora), el cual puede programarse para interpretar la señal, y compararla con un valor predeterminado, realizar operaciones matemáticas con ella, compartirla con otros controladores, y muchas otras tareas complejas, para luego ejercer una acción de respuesta ante la desviación. En esta última parte, será necesario convertir nuevamente la señal digital generada por el controlador, en una señal analógica que pueda actuar sobre el elemento final de control. De acuerdo a lo anterior, se tienen dos tipos de convertidores de señal:

➤ Convertidores de señal analógica a digital (CA/D).

Los instrumentos de medición modernos suelen generar una salida eléctrica que es una función del valor de la propiedad que miden (es decir, tienen una ganancia definida y única, poco variante en el tiempo). Se dice que esta señal tiene comportamiento análogo a la medición de la variable, pues refleja estrictamente, en todo momento, el valor medido de la propiedad. Sin embargo, para poder disponer de información en una computadora o procesador digital, es necesario traducir los valores de salida a señales digitales que se puedan procesar. De este modo, los transmisores de señal analógica se conectan a un sistema de circuitos eléctricos conocido como convertidor analógico a digital. Un convertidor analógico a digital acepta en su entrada un voltaje o una corriente eléctrica y genera una señal digital que corresponde al valor de entrada, en el instante en que se realiza la conversión.

⁵⁹ Señal que utiliza valores discretos en lugar de un espectro continuo de valores. Las señales digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir, o no existe señal alguna o se posee un nivel mínimo de señal. Estas señales se interpretan como bits dentro de los programas de diseño de control.



Durante la conversión entre una y otra medición, la señal de entrada puede variar sin que el convertidor pueda notarlo. Es decir, la conversión a señales digitales significa que los valores de las propiedades se conocen en ciertos instantes y en otros no (en particular, se conocen según la frecuencia de muestreo). Para compensar esta desventaja, desde el punto de vista de los procesos, las frecuencias de conversión actuales son tan altas (por ejemplo, cada milésima de segundo) que no es posible el cambio significativo de las propiedades entre cada conversión. Cabe destacar, que no es imperativo utilizar un CA/D para cada sistema sensor, pues suele ser posible seleccionar, mediante interruptores electrónicos programables, varias señales analógicas a un solo convertidor.

➤ Convertidores de señal digital a analógica (CD/A).

Cuando se desea que un procesador digital ejecute una acción directa sobre el proceso (por ejemplo, mover una válvula o acelerar el motor de una bomba centrífuga), es necesario convertir el valor de la señal de salida del procesador (señal digital) en una magnitud física capaz de actuar sobre el elemento final de control (por ejemplo una corriente eléctrica). La conversión de una señal digital a una analógica habitualmente coexiste en el mismo sistema CA/D (se especifican convertidores CA/D y CD/A en un mismo equipo o circuito).

De este modo, desde hace varios años, se ha venido incrementando el uso de la tecnología digital en la instrumentación industrial, tanto para la medición de variables y el control de procesos de producción, como para la supervisión de los mismos por medio de computadoras. Actualmente se habla de redes industriales, en las cuales se manejan niveles de información jerarquizados, que permiten integrar sistemas de producción de la planta con sistemas administrativos. Manipular y operar este tipo de sistemas requiere que los profesionales relacionados con la supervisión y control de procesos industriales, posean un amplio dominio de estas herramientas de la Informática. Es aquí donde surge nuevamente la necesidad de capacitar al ingeniero químico en el uso eficiente de estos recursos tecnológicos.



Los sistemas de control modernos más comúnmente usados en las industrias, comprenden los sistemas de salvaguarda (por ejemplo, el PLC y FSC) dispuestos para reaccionar en situaciones de protección y seguridad en función de las condiciones de operación de la planta; los sistemas avanzados de control de procesos, (como los sistemas PAC); los sistemas de control supervisor (como los sistemas SCADA y DCS); y más recientemente, las redes integradas de control. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

➤ **Sistemas PLC y FSC.**

El sistema de salvaguarda emplea controladores lógicos programables (*Programmable Logical Controller, PLC*) o controladores a prueba de fallas (*Fail Safe Controller, FSC*). El control de salvaguarda opera por su propia cuenta, es decir, no requiere supervisión por parte de los operadores y además puede mantener comunicación con un sistema de control supervisor.

Un Controlador Lógico Programable, PLC, permite controlar máquinas e instalaciones utilizando la lógica secuencial, reemplazando a los tradicionales sistemas electromecánicos, y permitiendo, por lo tanto, dejar de lado la utilización de relés, cronómetros y contadores. Las principales ventajas del uso de los PLCs son:

- Su flexibilidad, puesto que pueden reprogramarse las características del proceso en su memoria, permitiendo adaptar la automatización a las nuevas condiciones.
- La posibilidad de utilizarlos en ambientes con duras condiciones de trabajo.
- La posibilidad de procesar señales analógicas. Esto es muy útil para el arranque o paro de bombas, apertura y cierre de válvulas, entre otras aplicaciones.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento, y por lo tanto, menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Ocupan poco espacio.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.



- Reemplazan la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros neumáticos e hidráulicos, y otros.
- Reemplazan temporizadores y contadores electromecánicos.
- Pueden efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- Controlan tareas repetitivas y peligrosas.

Funcionamiento general de un PLC.

El usuario ingresa el programa a través del dispositivo adecuado (un cargador de programa o una computadora) y se almacena en la memoria del PLC. La Unidad Central de Proceso, CPU, que es el “cerebro” del controlador, procesa la información que recibe del exterior a través de la interfaz de entrada y, de acuerdo con el programa, activa una salida a través de la correspondiente interfaz de salida. Toma la decisión de la base aplicada a la programación.

Las interfaces de entrada y salida se encargan de adaptar las señales internas del CPU. Por ejemplo, cuando el CPU ordena la activación de una salida, la interfaz adapta la señal y acciona un componente (un transistor o relé, por ejemplo).

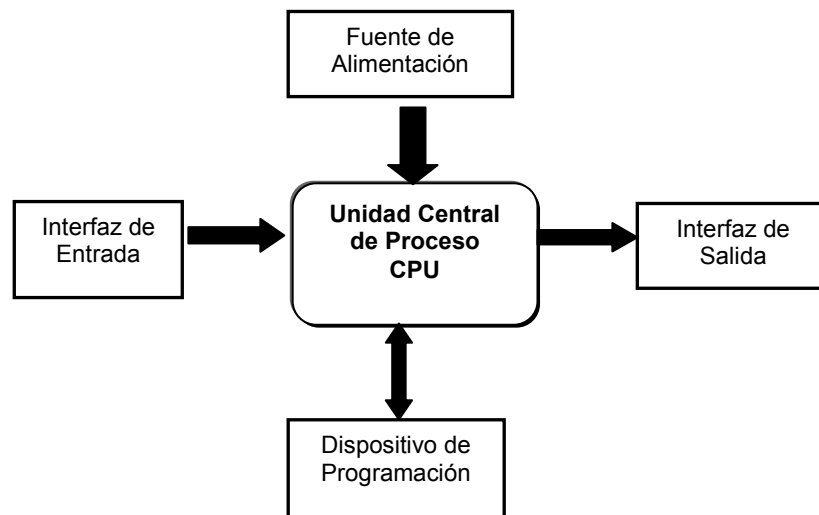


Figura 3.8 Estructura de un Controlador Lógico Programable.
(Fuente: Szklanny & Behrends, “Sistemas Digitales de Control de Procesos”,
2ª ed, Control S.V.S., 1995).



El PLC permite la comunicación mediante interfaces hombre-máquina o entre las distintas máquinas. Estos últimos procesos de comunicación se realizan a través de redes (redes de control), en otros casos la conexión es punto a punto.

Estructura interna de un PLC.

Los elementos esenciales que un Controlador Lógico Programable posee son:

- Sección de entradas. Se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos se tienen intervalos de tensión característicos. A estas líneas se conectan los sensores.
- Sección de salidas. Son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas se conectan los actuadores.
- Unidad central de proceso (CPU). Se constituye de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa. Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, se puede disponer de funciones ya integradas en la CPU, como las de control de Encendido/Apagado (On/Off), las funciones de control Proporcional (P), Proporcional Derivativo (PD), Proporcional Integral (PI), y Proporcional Integral Derivativo (PID) ⁶⁰.

⁶⁰ Los controladores "On/Off" (o de "Encendido/Apagado") son los sistemas más simples de control. Éstos envían una señal de activación ("On", "Encendido" o "1") cuando la señal de entrada es mayor que un nivel de referencia definido previamente, y desactiva la señal de salida ("Off", "Apagado" o "0") cuando la señal de entrada es menor que la señal de referencia. Este sistema se utiliza, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un nivel predeterminado de luminosidad.

Proporcional (P). En este tipo de control, la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no solamente sobre un nivel predeterminado, sino en toda la variedad de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos de iluminación utilizan un sistema *P* para determinar con qué intensidad encender las lámparas, en función inversa de la luminosidad ambiental.

Proporcional derivativo (PD). En este sistema, la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.

Proporcional integral (PI). Este sistema es similar al anterior, sólo que la señal se integra en vez de derivarse.

Proporcional integral derivativo (PID). Control que combina los dos anteriores tipos.



Además de estos elementos se pueden encontrar los siguientes:

- Unidad de alimentación (algunos CPU la llevan incluida).
- Unidad o consola de programación: que permite introducir, modificar y supervisar el programa de usuario.
- Dispositivos periféricos: como nuevas unidades de Entrada/Salida (E/S), memoria adicional, unidades de comunicación en red, entre otros.

A su vez dentro del CPU, se tiene el área de memoria, la cual se emplea para diversas funciones:

- Memoria de programa. Donde se introduce el programa que el controlador ejecutará cíclicamente.
- Memoria de la tabla de datos. Se suele subdividir en zonas según el tipo de datos que contenga (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, y otros).
- Memoria del sistema. En ésta se encuentra el programa en código máquina que monitorea el sistema (programa del sistema o *firmware*). Este programa es ejecutado directamente por el procesador del PLC.
- Memoria de almacenamiento. Es la memoria que se emplea para almacenar el programa del usuario, y en ciertos casos forma parte de la memoria de la tabla de datos. Suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH ⁶¹.

⁶¹ *EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory*, o memoria de sólo lectura programable borrrable): Un EPROM es un tipo especial de memoria inalterable que sin embargo, puede ser borrada exponiéndola a la luz ultravioleta.

EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory, o memoria de sólo lectura programable eléctricamente borrrable): Es un tipo especial de memoria inalterable que puede ser borrada exponiéndola a una corriente eléctrica.

La Memoria *FLASH* es una forma evolucionada de la memoria EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos, en contraste con las anteriores que sólo permitían escribir o borrar una única celda cada vez. Entre los aparatos que usan este tipo de memoria se encuentran los teléfonos móviles, pequeños electrodomésticos y cámaras digitales, entre otros.



Finalmente, los controladores a prueba de fallas, FSC, se utilizan en las secuencias de arranque - paro. Su función es parecida a la del PLC, (si bien se encuentran con mucha menor frecuencia que los PLCs, en la planta), y se encargan de mantener la seguridad de la planta en condiciones de emergencia.

➤ **Sistemas PAC.**

Hace unos años se creía que el control basado en las computadoras pondría fin a los sistemas de control basados en los controladores lógicos programables (PLCs). Sin embargo, en la actualidad los PLC continúan dominando la mayor parte de las aplicaciones de control de procesos y máquinas. Aunque se ha avanzado mucho en el uso de la computadora para funciones avanzadas, como simulación, conectividad con base de datos, aplicaciones basadas en redes, y comunicación con dispositivos externos, la computadora no ha podido desplazar al PLC para aplicaciones de control industrial. Las computadoras con sistemas operativos estándar y “hardware” genérico, son en general, muy frágiles e inestables como para satisfacer la confiabilidad requerida en el control industrial.

De este modo, el ingeniero se ve con frecuencia obligado a escoger entre un PLC que ofrezca robustez industrial y confiabilidad, y una computadora efectiva en funciones de control avanzado y comunicaciones en redes. Debido a esta situación, en muchas fábricas, los PLC están siendo utilizados en conjunto con las computadoras para acumular datos, conectarse a detectores de código de barras, incorporar información a las bases de datos, y publicar datos a través de redes. Este arreglo presenta grandes problemas debido a la dificultad que existe para construir y mantener estos sistemas.

Los sistemas PAC han surgido recientemente como una tercera opción. El ingeniero pueden utilizar un sistema que ofrece una hibridación de la computadora y del PLC. A este tipo de sistemas se les denomina Controladores de Automatización Programables (*Programmable Automation Controller, PAC*). Los PAC combinan las mejores características de la computadora, incluyendo el procesador, la memoria RAM, y la capacidad de programar usando “software” avanzado, con la confiabilidad, dureza, y facilidad de manejo del PLC.



Los PACs y PLCs tienen varias cosas en común. Internamente, ambos incluyen una fuente de potencia, un CPU, un plano trasero o dispositivo de Entrada/Salida, y módulos. Las características principales de los PAC son:

- Funcionalidad de dominio múltiple, para resolver funciones lógicas, de control PD, PI, PID, y otros, en una sola plataforma.
- Plataformas de programación que incorporan etiquetas comunes y bases de datos sencillas para tener acceso a todos los parámetros y funciones al programar.
- Herramientas de “software” que permiten diseñar el flujo del proceso a través de varias unidades de proceso, para controlar eficientemente la administración de datos.
- Uso de estándares de la industria para interfaces en red, lenguajes de programación y protocolos, tales como búsquedas TCP/IP (protocolos de Internet), entre otros.

➤ **Sistemas SCADA.**

SCADA proviene de las siglas de "*Supervisory Control And Data Acquisition*", es decir, Adquisición de Datos y Control de Supervisión. Se trata de una aplicación de “software” especialmente diseñada para llevar a cabo tareas complejas de control en las plantas industriales, procesando los datos que recibe de los dispositivos de campo (sensores, transmisores, PLCs y otros) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla de una computadora. Además, puede administrar la información que se genera en prácticamente todas las áreas operativas de la planta: producción, control de calidad, supervisión y mantenimiento, entre otras.

En este tipo de sistemas, la información usualmente se centraliza alrededor de una computadora que funciona como el “cerebro” del sistema de control, y que efectúa, entre otras variadas tareas, el tratamiento de los datos, el control de las variables del proceso y la supervisión y gestión de alarmas. La ejecución de estas tareas normalmente se lleva a cabo en *tiempo real*, y están diseñados para dar al operador de la planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.



La comunicación entre la computadora y los dispositivos de campo se realiza mediante *buses* especiales ⁶² o redes LAN ⁶³.

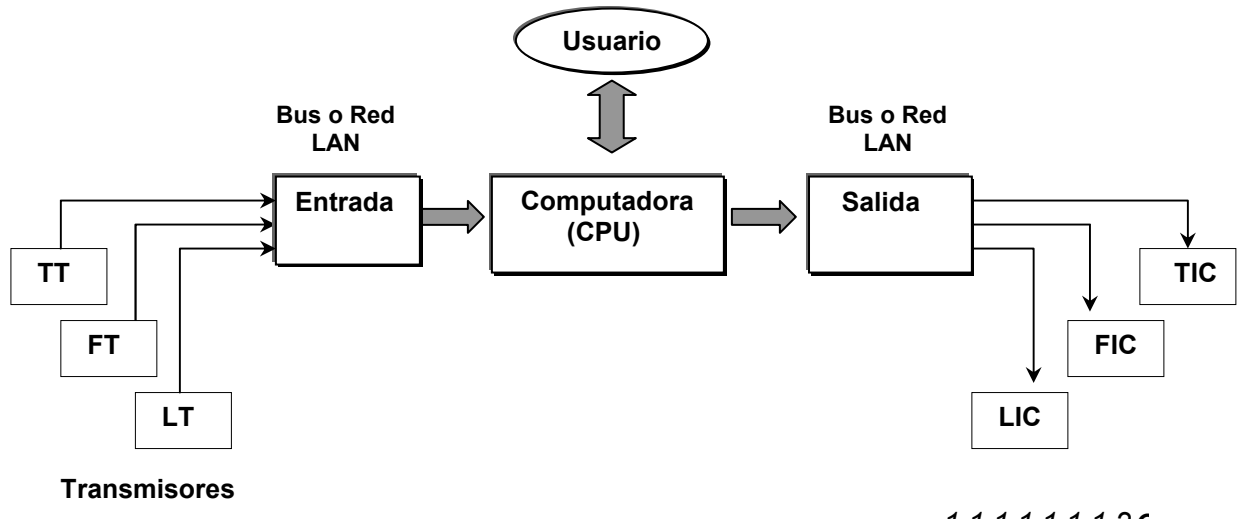


Figura 3.9 Esquema simplificado de la red de un Sistema SCADA.
(Fuente: Szklanny & Behrends, "Sistemas Digitales de Control de Procesos".
2ª ed, Control S.V.S., 1995).

Algunas de las ventajas de utilizar un sistema de control SCADA son:

- Posibilidad de disponer y almacenar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de los instrumentos en campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas y otros.
- Generación de registros históricos de señales de planta e incidentes, que pueden ser usados para crear de bases de datos, o para procesarlos en hojas de cálculo.

⁶² Un bus es una estructura de interconexión de un sistema computacional, constituido esencialmente por una serie de cables, mediante los cuales pueden cargarse datos en una memoria externa al CPU y desde allí transportarse al mismo. Es una especie de "autopista" de datos dentro de la computadora, pues comunica todos los componentes del sistema con el procesador. El bus se controla y maneja desde el CPU.

⁶³ Una red LAN (abreviatura de *Local Area Network*, o Red de Área Local), es un segmento de red que tiene conectadas estaciones de trabajo mediante una tarjeta de interfaz de red, a un servidor (cada estación posee su propia dirección de red), generalmente dentro de la misma zona (por ejemplo, un edificio).



- Ejecución de programas capaces de modificar la lógica del control, e incluso anular las tareas de los controladores, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de efectuar programación numérica, que permite realizar cálculos matemáticos complejos en el CPU del ordenador, lo que facilita la implementación de modelos de control avanzado. Dicha programación puede efectuarse en lenguajes de uso común (como C, Pascal, o Basic). Algunos sistemas SCADA ofrecen bibliotecas de funciones para la programación, que permiten personalizar de manera rápida y sencilla las aplicaciones requeridas por el usuario.

Los módulos o bloques de “software” que hacen posible las actividades de supervisión y control de un proceso son los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su sistema SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz gráfica del operador: proporciona al ingeniero u operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante gráficos sinópticos almacenados en el procesador y generados desde el editor incorporado en el sistema SCADA, o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando programadas, a partir de los valores de las variables de entrada.
- Gestión y archivo de datos: se encarga de almacenar y procesar los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura informática (“hardware”) que soporta el sistema SCADA, así como entre el resto de los elementos informáticos que lo integran.

Para evaluar si se requiere un sistema SCADA para controlar un proceso en particular, este último debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables que se necesita monitorear es grande.



- El proceso está distribuido en varias zonas o puntos geográficos. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un sistema SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios o variaciones se producen, en otras palabras, la información se requiere en *tiempo real*.
- La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, como un Sistema de Control Distribuido (DCS), de Control Lógico Programable (PLC), de Controladores a Lazo Cerrado, o una combinación de ellos.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA, tales como el aumento de la eficiencia de la producción, de los niveles de seguridad, y otros.

➤ **Sistemas DCS.**

Los sistemas DCS (*Distributed Control System*), o Sistemas de Control Distribuido, proporcionan una trayectoria de comunicación individual entre cada controlador y la estación con el operador, por lo que se mantiene un alto grado de autonomía y facilidad de sustitución entre los componentes. Todas las órdenes o instrucciones emitidas desde la estación de control son devueltas al mismo operador para permitirle la actualización del estado de las mismas. No es necesario contar con destinos programados y códigos de fuentes, dado que las direcciones se determinan mediante la conexión directa a través de cables. La Figura 3.10 representa el arreglo de un sistema de control DCS.

A diferencia de los Sistemas de Control SCADA, en los que el lazo de control es generalmente cerrado por el operador, los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. En la Tabla 3.2 se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los sistemas de Control Distribuido (DCS). Estas características, sin embargo, no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, sino típicas.

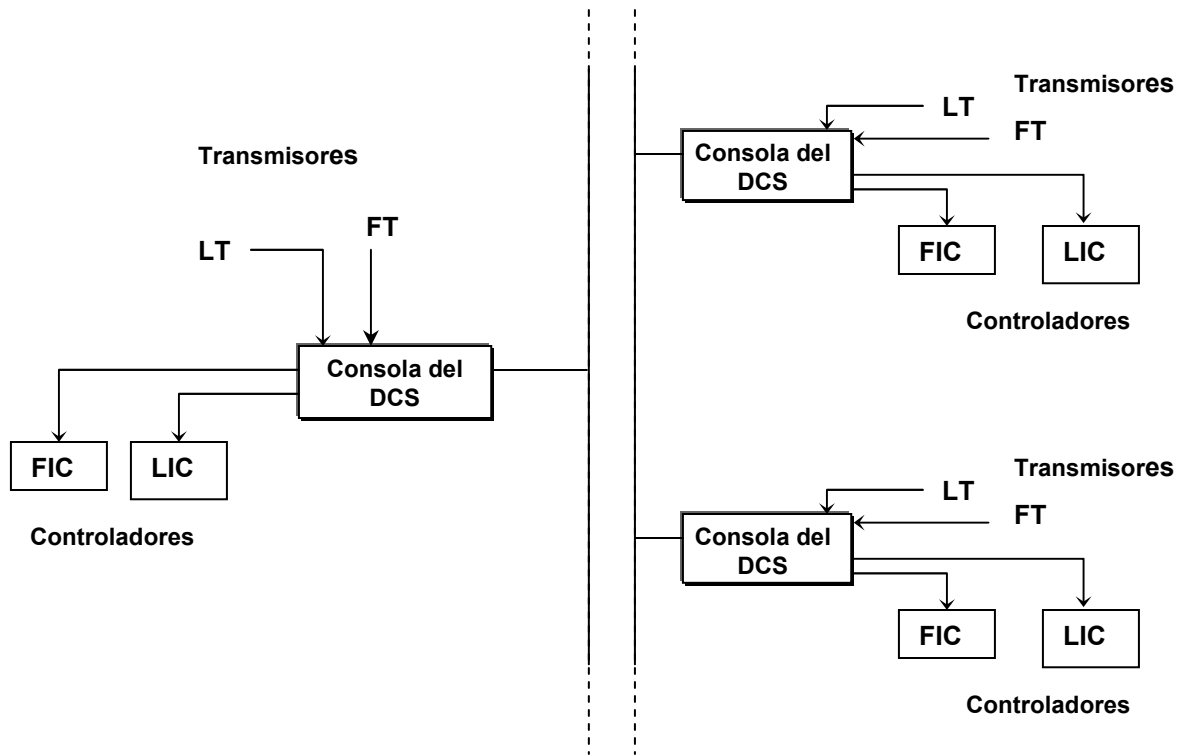


Figura 3.10 Esquema simplificado de la red de un Sistema DCS.
(Fuente: Szklanny & Behrends, "Sistemas Digitales de Control de Procesos".
2ª ed, Control S.V.S., 1995).

Las estaciones de trabajo de los sistemas DCS reciben las señales del proceso de manera independiente, por lo que cada controlador puede enviar una respuesta, también independiente, hacia el elemento final de control que corresponda. Las actividades se realizan, de este modo, en una comunicación individual entre los transmisores y la estación de trabajo, que, al ser autónoma respecto a las demás estaciones, no produce efectos generalizados sobre el sistema de control cuando falla, a diferencia de lo que ocurre con los sistemas SCADA.



Aspecto \ Sistema	SCADA	DCS
Tipo de arquitectura	Centralizada	Distribuida
Tipo de control predominante	Supervisor: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulador.	Regulador: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, intermitente, algoritmos avanzados, y otros.
Tipos de variables	Desacopladas	Acopladas
Área de acción	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
Unidades de adquisición de datos y control	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs.
Medios de comunicación	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, redes LAN.	Redes de área local, conexión directa.
Base de datos	Centralizada	Distribuida

Tabla 3.2 Algunas diferencias típicas entre los Sistemas SCADA y DCS.
(Fuente: Szklanny & Behrends, "Sistemas Digitales de Control de Procesos".
2ª ed, Control S.V.S., 1995).

➤ **Redes integradas de control.**

Una red está formada por un conjunto de dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de comunicarse entre ellos, utilizando un medio físico y un idioma común. El vínculo o medio físico está generalmente compuesto por cables coaxiales, fibra óptica y enlaces satelitales o de radiofrecuencia. El idioma está constituido por protocolos, que representan el "lenguaje" o instrucciones que utilizan dos o más dispositivos electrónicos para "entenderse" y comunicarse entre sí. Un protocolo define cómo se identifican los dispositivos entre sí dentro de la red, el formato que debe tomar la información en tránsito y cómo debe procesarse dicha información una vez que llega a su destino. Los protocolos también definen procedimientos para manejar transmisiones perdidas o erróneas.



La combinación de múltiples y variados dispositivos de control (como los acoplamientos de controladores PAC y PLC, con sistemas DCS o SCADA) en redes, hace posible la realización de cualquier tarea de control, por compleja que parezca. La información sobre los procesos, que se genera empleando este tipo de herramientas de la informática, puede a su vez integrarse dentro de paquetes administrativos, para monitorear la eficiencia de los procesos de producción de una empresa, planta o proyecto.

Un ejemplo de la capacidad de comunicación que se puede conseguir con las redes integradas de control, se hizo patente en 1999, cuando se puso en marcha el Proyecto de Ampliación de las minas *Olympic Dam*, en Australia. En este lugar se implementó el mayor sistema de redes integradas de control, instalado hasta entonces en el mundo. El sistema SCADA de 74 estaciones, mediante el cual se gobernaron los procesos, controlaba casi 500,000 variables en tiempo real, e incorporaba más de 20,000 curvas de registro, 60,000 alarmas y 150 PLCs. El tiempo de actualización de las variables en pantalla en cualquier terminal SCADA era, en cualquier momento, menor de 1 segundo, y la carga completa de una página de registros históricos se demoraba menos de 4 segundos ⁶⁴.

D) Mejoramiento de la Producción. Planeación y Control de Costos.

La administración de la producción en las industrias es otra de las áreas en las que el ingeniero químico se desempeña con frecuencia en México. Esta práctica no es ajena al conocimiento propio de la disciplina, pues conceptos como *reducción de costos* y *optimización de recursos*, forman parte del bagaje técnico que adquiere en las aulas el estudiante de ingeniería química, y que como profesional, lo caracterizan por su capacidad para resolver problemas, tomando siempre en consideración los principios de la Economía. En este contexto, no es raro encontrar en México, ingenieros químicos fungiendo como gerentes de plantas industriales (sobre todo de la industria química).

⁶⁴ Nota informativa: "Medium Depth Down Under. Exploration Drilling in Australia". **Mining & Construction Magazine**. USA. May-Ago 2005.



Uno de los problemas que las industrias modernas enfrentan es el de la optimización de sus procesos productivos. Dicha optimización comprende al menos dos puntos fundamentales: a) disminución de los costos de producción, y b) aumento de la productividad.

Todas las empresas de la actualidad operan en un ambiente competitivo, y a veces hostil; un ambiente que requiere de administradores bien informados. Los gerentes deben saber qué acciones tomar y cómo desarrollarlas para adaptarse a los cambios que el entorno exige; deben tener acceso a la información interna y externa a la organización, para poder prever las amenazas y los riesgos e identificar con rapidez, tanto las nuevas oportunidades como los esfuerzos inútiles.

La adecuada gestión y manejo de la información se ha convertido de este modo, en el instrumento principal del administrador para sobrevivir en el mundo empresarial de la actualidad. Los gerentes siempre han usado la información para desempeñar sus labores, analizar problemas y tomar decisiones. Así pues, el tema de la información gerencial nada tiene de nuevo; lo que es novedoso es la facilidad y rapidez con que el administrador puede disponer de información exacta y actualizada: esto es hoy posible gracias al desarrollo de la Informática.

La **Tecnología de la Información (TI)** representa, en este panorama, una herramienta insustituible para las organizaciones que pretenden alcanzar mayores niveles de productividad. Dentro de pocos años, en cualquier rama de la industria, únicamente las empresas que puedan administrar la información de manera eficiente serán capaces de competir con ventaja; en tanto que aquellas que no puedan mejorar la calidad de sus flujos de información, quedarán a la zaga.

Entre las múltiples aplicaciones de que hoy se dispone para la administración de la producción, destacan dos categorías: a) de Planeación de Recursos de la Empresa (ERP), y b) de Control Estadístico de Procesos (SPC).

➤ **Planeación de Recursos de la Empresa (ERP).**

ERP (siglas de Enterprise Resource Planning), es un término generalizado en el mundo de los programas informáticos, bajo el que se engloban una gran variedad de



paquetes de “software” que ofrecen soluciones integrales diseñadas para dar soporte a múltiples procesos de administración de las empresas. Un ERP puede contener “software” para gestión de producción, manejo de clientes, contabilidad general, inventarios, recursos humanos y muchas otras funciones administrativas de la empresa.

Algunos de los beneficios que un ERP puede proporcionar a una empresa son:

- Optimización de los procesos administrativos. Incremento en la productividad.
- Acceso a información confiable, precisa y oportuna para la toma de decisiones.
- Posibilidad de compartir información entre todos los componentes de la organización. Integración de la información entre las diferentes áreas.
- Eliminación de datos y operaciones innecesarias.
- Reducción de tiempos y costos de los procesos.
- Mejoramiento de los tiempos de respuesta.
- Apoyo para descentralizar la administración de la empresa, permitiendo al personal directivo concentrarse en los temas estratégicos.

No obstante, una debilidad de los paquetes ERP es la dificultad para integrar datos externos al sistema una vez que éste se ha establecido, así como la escasa operabilidad del mismo en empresas geográficamente distribuidas. Entre los ejemplos más notorios de fracasos durante la implementación de sistemas ERP, se encuentra el de la empresa *Dell Computer Inc.*, donde se canceló el contrato después de haber invertido 115 MM \$USD en el proyecto (el costo original del mismo se había estimado en 150 MM \$USD), pues el sistema no pudo adecuarse al modelo descentralizado de negocios de la compañía. En México, sólo el 40% de las empresas medianas logran instalar con éxito un ERP ⁶⁵.

Previo a la implantación de un sistema ERP, debe iniciarse dentro de la empresa una serie de ajustes o cambios en la cultura organizacional, que le permitan obtener el máximo provecho de esta tecnología. De hecho, uno de los motivos más frecuentes del

⁶⁵ GARCÍA VELASCO, Pablo. **ERP: ¿realmente una fórmula del éxito?**. Revista electrónica *ESTR@TEGIA* (Artículo 27, 2003), <http://www.estrategiamagazine.com.ar/ediciones/edicion0027/tecnologia.asp>, consultada el 23 de Octubre de 2005.



fracaso de los ERPs es la resistencia al cambio por parte de las personas responsables de su funcionamiento. Dicho de otro modo, la implantación de un ERP excede al ámbito tecnológico: no sólo comprende reemplazar docenas de sistemas por un único sistema integrado para el manejo de todas las operaciones; significa redefinir el modo de hacer las cosas dentro de una organización, lo que representa un gran desafío para cualquier empresa. Las personas directamente involucradas con la operación del sistema no sólo deberán estar perfectamente capacitadas para operarlo, sino plenamente convencidas de la nueva manera forma de hacer su trabajo y de la importancia de su participación.

Generalmente, un paquete ERP se compra junto con herramientas de desarrollo específicas, que pueden ser usadas por el cliente para alterar el software y adaptarlo a cada necesidad particular. Algunas incluso permiten el uso de lenguajes de programación comunes para realizar estas modificaciones. Del mismo modo, los distintos módulos que componen la ERP generalmente pueden interactuar con el resto del “software” usado por las empresas.

Es importante, sin embargo, hacer notar que cuando se adquiere un sistema ERP, su puesta en funcionamiento requiere de parámetros y modificaciones precedentes a su utilización. Esto significa que cuando una empresa compra un ERP debe, por lo general, contratar también a un consultor en este tipo de sistemas, que lo ponga en marcha. El tiempo requerido para la implementación está en función del tipo de ERP, de la complejidad de sus módulos y del tamaño de la empresa. No obstante, si la empresa es grande y las necesidades de proceso complejas, implementar un sistema ERP será usualmente menos costoso que desarrollar una aplicación a la medida.

Existen seis fabricantes principales de ERP, que se reparten el 64% del total de este mercado: *SAP, Oracle, PeopleSoft, JD Edwards, Baan y Siebel* ⁶⁶. Las funciones administrativas básicas que cubren estos paquetes comprenden:

- Aplicaciones Financieras (contabilidad general y otras).
- Gestión de recursos humanos y nóminas.

⁶⁶ **Ídem**



- Aplicaciones para la administración de la producción.
- Soluciones para cadenas de suministro.
- Apoyo para el manejo de relaciones con los clientes.
- Servicios para efectuar compras por Internet.
- Herramientas para análisis del rendimiento y de las rentabilidades de la empresa.

➤ **Control Estadístico de Procesos (SPC).**

Algunas de las estrategias que los administradores industriales pueden poner en marcha para mejorar la productividad de sus procesos, implican cambios de tecnología o diseño, lo que generalmente significa llevar a cabo grandes inversiones. Ésta, desde luego, no es una opción viable para las pequeñas y medianas empresas.

No obstante, las grandes inversiones en tecnología no representan el primer paso que deben tomar las empresas en esa búsqueda; primero deben asegurarse de que sus procesos actuales están siendo aprovechados al máximo. Para lograrlo, se puede implementar un Control Estadístico de Procesos (SPC, siglas de *Statistical Process Control*), que es un conjunto de herramientas estadísticas que permite recopilar, estudiar y analizar la información de procesos repetitivos, para poder tomar decisiones encaminadas a la mejora de los mismos; es aplicable tanto a procesos productivos como de servicios, siempre y cuando cumplan con dos condiciones: 1) que sean mensurables (observables), y 2) que sean repetitivos. El propósito fundamental del SPC es identificar y eliminar las causas de los problemas (desviaciones) de productividad de los procesos, para reducirlos o eliminarlos.

En una empresa, el SPC puede sustituir el Control de Calidad “Correctivo”, ejecutado por inspección y dependiente de una sola área, por un Control de Calidad “Preventivo”, realizado desde la producción y dependiente de las áreas productivas; hasta llegar, finalmente, al Control de Calidad “Predictivo”, que se efectúa por diseño y depende de todas las áreas de la empresa. De este modo, una industria que implementa un Control Estadístico de Procesos, SPC, puede reducir sus costos, asegurándose de que sus procesos internos se desarrollan de manera óptima, de que a sus equipos se les



proporciona un mantenimiento adecuado y de que los recursos suministrados son los apropiados.

Actualmente existen en el mercado diversos programas informáticos que permiten a las empresas implementar el Control Estadístico de Procesos de manera sencilla. A continuación, se mencionan algunos de ellos y sus principales características:

- **Control Estadístico de Calidad, SQC.** SQC (del inglés Statistical Quality Control), es una aplicación que permite a los inspectores y a los auditores de calidad, tener registros completos y precisos de defectos identificados, con el fin de mantener los niveles de calidad adecuados. SQC provee información actualizada en forma clara y jerarquizada, tal como la necesita la gerencia de la planta.

SQC le da al ingeniero u operador de la planta la capacidad de efectuar la incorporación de datos en tiempo real, en las mismas terminales que se usan para registrar la producción. Ha sido desarrollado para funcionar en *computadoras personales* (PCs), o en sistemas AS/400⁶⁷. SQC interactúa con los usuarios en línea a la manera de una conversación. Los usuarios de SQC son dirigidos automáticamente por el sistema a cada uno de los campos de datos. Los datos se verifican inmediatamente y los mensajes con errores se destacan en un lenguaje claro para su fácil comprensión.

- **Future SQC.** Es un sistema que permite realizar, por medio de una PC, todos los análisis, gráficas, cálculos e informes que requiere un administrador para poder conocer, controlar y mejorar la calidad de los productos, procesos y servicios. Es fácil de operar, por lo que puede ser utilizado por cualquier persona sin importar su nivel de conocimiento o escolaridad. Tiene la capacidad de tomar datos de miles de instrumentos, equipos de proceso o de laboratorio, y de forma local o remota.

⁶⁷ El servidor **AS/400** es una minicomputadora de IBM, diseñada para pequeñas empresas y usuarios departamentales. Comercializado por primera vez en 1988, sigue fabricándose actualmente bajo el nombre de *eServer* o *iSeries*. Se trata de un sistema multiusuario, con una interfaz controlada mediante menús, que utiliza terminales y un sistema operativo *OS/400*, basado en bibliotecas de datos. Actualmente, con la denominación *iSeries*, soporta otros sistemas operativos tales como Linux ó AIX.



- **ISOSYSTEM SPC.** Es un sistema que automatiza el control estadístico de procesos de fabricación basándose en los procedimientos de calidad pre-programados, y permite agilizar la evaluación y toma de decisiones. Los conceptos y métodos empleados por el sistema satisfacen los requisitos exigidos por la norma ISO 9000.

ISOSYSTEM SPC utiliza herramientas estadísticas que analizan rápidamente la información suministrada, y emite alertas ante cualquier señal de anomalía en los procesos, reduciendo la ocurrencia de desperdicios de recursos y tiempos improductivos de la empresa. Todos los parámetros del sistema son configurables, lo que permite adecuarlo a las características de cualquier tipo de producto y proceso, incluyendo la producción en lotes. También incorpora herramientas de organización, clasificación y búsqueda, que proporcionan acceso rápido a los datos en forma de planillas y gráficas, lo que hace posible la evaluación del funcionamiento de los procesos, con relación a los objetivos especificados.

- **WIN SPC Empresarial.** Se trata de una herramienta estadística que puede ser ejecutada en tiempo real. Posee hojas de datos, gráficos de control, histogramas, diagramas de Pareto ⁶⁸ y diagramas de dispersión. El programa también posibilita el análisis de la capacidad de los procesos y el uso de índices de capacidad como apoyo a los procedimientos de los programas de calidad total.

La implementación en una industria de un “software” de Control Estadístico de Procesos no es sencilla, principalmente si es la primera vez que se utiliza tecnología informática en la misma, por lo que la capacitación del personal juega papel fundamental. También es importante mencionar que el costo de este tipo de “software” es alto, lo que puede ocasionar cierta renuencia por parte de la alta dirección. Sin embargo, si la aplicación en la empresa resulta exitosa, el costo de la inversión en el sistema se recupera en poco tiempo con la reducción de los costos y gastos que origina. En todo caso, el ingeniero químico, como gerente de planta o como supervisor de operación, requiere familiarizarse, cada vez más, con el uso de este tipo de programas informáticos.

⁶⁸ Un diagrama o análisis de Pareto es una técnica que se utiliza para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema, de los que son triviales.



E) Investigación y Docencia.

Además de diseñar y administrar procesos, el ingeniero químico también puede desempeñarse como un excelente investigador, pues la formación que recibe, siempre en concordancia con los principios del método científico y habituada a relacionar fenómenos y variables mediante el empleo de las matemáticas, le permite desarrollar la forma de pensar analítica y juiciosa que es deseable hallar en cualquier investigador científico. Los campos de acción de un ingeniero químico como investigador pueden abarcar desde la ciencia básica, como el desarrollo de modelos matemáticos aplicables a la disciplina, hasta la investigación avanzada en materiales de ingeniería molecular y biotecnología.

Como se ha venido mencionando desde las primeras páginas, la introducción de la **Tecnología de la Información (TI)** en todos los ámbitos de la vida social, económica, profesional, educativa y doméstica, se ha convertido en uno de los fenómenos más importantes asociados a la revolución tecnológica que se inició con las computadoras, modificando la manera tradicional de pensar y hacer las cosas. Como es de suponerse, la actividad científica no escapa tampoco de esta influencia. “La Tecnología de la Información propicia nuevas formas de gestión del conocimiento, que transforman los modos de pensar y desarrollar la investigación científica.”⁶⁹

Tal como se muestra en la Tabla 3.3, las tecnologías no sólo han transformado los modos de acceso a la información (tecnología como soporte de la cultura científica), sino que además transforman la naturaleza de la propia información (tecnología como cultura científica). Una de las consecuencias de dicha transformación es “... la introducción de nuevas formas de pensamiento y planificación de la actividad científica en relación con los nuevos medios disponibles para su desarrollo.”⁷⁰

⁶⁹ RUBIO ROYO, F. “**La Gestión del Conocimiento, alternativa para la formación superior del siglo XXI: fundamentos y metodología para su desarrollo**”. En *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciencias*, XXIV, 49-64. 2000.

⁷⁰ ADELL, J. “**Tendencias en educación científica en la sociedad de las tecnologías de la información.**” *EDUTECH*, 7. Accesible en <http://nti.uji.es/~jordi>. Fecha de consulta: 06/11/2005



COMO SOPORTE TÉCNICO	COMO HERRAMIENTA DE CULTURA CIENTÍFICA
<ul style="list-style-type: none">• Nuevas formas y posibilidades de actividad científica.• Superación de dificultades espacio-temporales, económicas y otras.• Creación y desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas para la investigación científica.	<ul style="list-style-type: none">• Transformación del pensamiento científico (heterogeneidad).• Nuevos conocimientos, habilidades y actitudes en la formación científica.• Reestructuración de las actividades y el saber científico (el “ser” científico).

Tabla 3.3 Papel de la Tecnología de la Información en la actividad científica.

(Fuente: García-Pérez, Rafael y Rodríguez López, Manuel. “Diseño y Evaluación de un Programa de Informática aplicada a la Investigación Científica”. *Rev. Electrónica CICA*, núm. 3, 2003. Accesible en http://www.cica.es/aliens/revfuentes/num3/Campo_abierto/W_Artic._Garcia_Perez.htm Fecha de consulta: 06/11/2005).

La contribución de la **Tecnología de la Información (TI)** a la investigación científica, principalmente por la asociación actual entre la informática y las telecomunicaciones en red (cuyo ejemplo más significativo es Internet), introduce nuevas formas de actividad científica, de comunicación y divulgación del conocimiento, y proporciona múltiples herramientas tecnológicas que facilitan tareas tradicionales de la investigación (como el tratamiento de datos), pero sobre todo, permiten a los investigadores llevar a cabo actividades que antes eran irrealizables.

Las herramientas informáticas de las que un ingeniero químico puede valerse en su quehacer científico, incluyen tanto aplicaciones de arquitectura informática o “hardware”, como de programas o “software”.

El “hardware” que se ha desarrollado en los últimos años para aplicaciones de investigación en áreas químicas, comprende principalmente la *digitalización* de una gran cantidad de instrumentos y aparatos de laboratorio, entre los que destacan los de aplicación en Química Analítica.



Es así como hoy pueden encontrarse en el mercado todo tipo de instrumentos analíticos digitales, desde balanzas, espectrofotómetros, analizadores de gases, potenciómetros y viscosímetros, hasta complejos equipos de cromatografía, resonancia magnética nuclear y espectrometría de masas, entre otros. La digitalización de estos aparatos no involucra, como es de suponer, al principio físico de análisis o medición, el cual se basa en alguna propiedad física o química mensurable de la sustancia a analizar, sino a todas las demás funciones del instrumento o aparato, como son el despliegue y presentación de datos, la programación de funciones accesorias, y otras. Dado que la señal proveniente del dispositivo de medición o análisis del aparato es de tipo analógica, el instrumento debe contar con un dispositivo convertidor de señal analógica a digital; una vez realizada la conversión, los datos (señales digitales) pueden exhibirse en una pantalla, o enviarse al “cerebro” o procesador del instrumento para ser amplificados, realizar cálculos con ellos, o enviarlos a una red de transmisión, un banco de datos o a otro equipo (por ejemplo, una computadora o una impresora) a través de conexiones por cables o incluso por medio de ondas de radiofrecuencia. La Figura 3.11 representa el esquema del funcionamiento de un instrumento analítico digital. La primera interacción entre el aparato y la sustancia objeto de análisis, es decir, entre la fuente o propiedad física o química mensurable y el dispositivo primario de medición del instrumento, suele darse mediante un estímulo (por ejemplo una radiación electromagnética) proporcionado por el aparato sobre la sustancia de estudio, ante el cual esta última produce una respuesta o variación en sus propiedades físicas o químicas, que puede detectarse y medirse.

Describir todas las posibles funciones de los instrumentos digitales modernos sería suficiente material para un capítulo, por lo que basta con mencionar que buena parte de ellos poseen funciones programables para realizar cálculos estadísticos con los datos obtenidos, conversiones de unidades de manera automática, posibilidad de elegir entre varios formatos de presentación de datos en compatibilidad con “software” comercial (como hojas de cálculo de Excel, por ejemplo), bibliotecas de datos y patrones que hacen posible la identificación automática de sustancias, y una gran variedad de aplicaciones que varían de acuerdo al tipo y complejidad del instrumento.

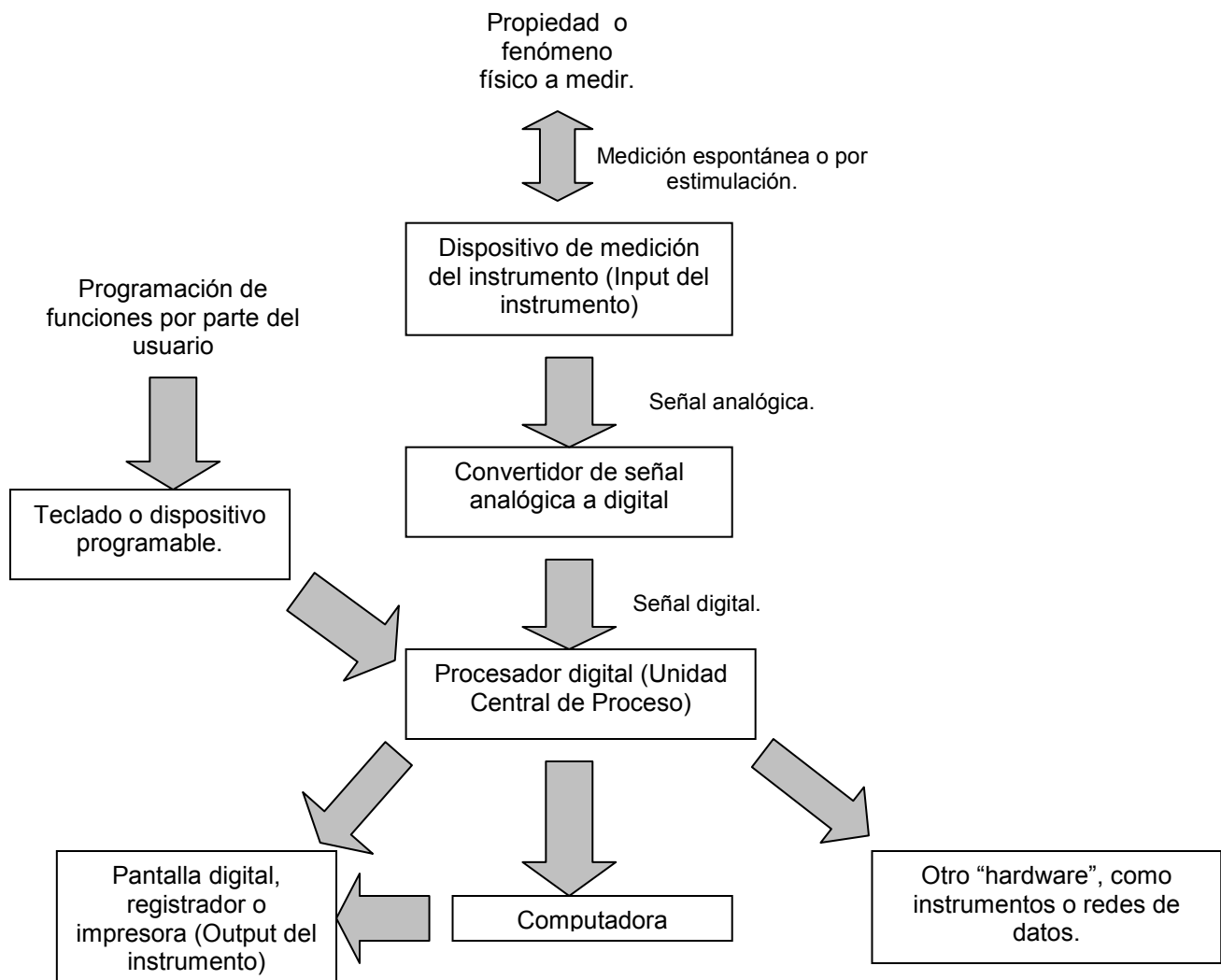


Figura 3.11 Esquema del funcionamiento de un instrumento analítico digital.
(Basado en Skoog, Douglas y Holler, James. "Principios de Análisis Instrumental".
5ª. Ed., McGraw-Hill, 2000).

No obstante, estos instrumentos de análisis no sólo se utilizan en los laboratorios de química analítica, sino en una amplia variedad de áreas de investigación en las que el ingeniero químico participa con mucha frecuencia en México. Dichas áreas de investigación comprenden principalmente: polímeros, catálisis, ingeniería de reacciones, ingeniería electroquímica, fisicoquímica de superficies, ingeniería ambiental y ciencia y



tecnología de materiales, entre varias otras. En todas ellas se han desarrollado por su cuenta avances importantes en instrumentación y equipos diseñados para los respectivos estudios de cada disciplina, con la contribución de la Informática. Así, se pueden encontrar reómetros digitales (con funciones muy semejantes a las ya descritas) para el estudio de los polímeros, reactores para experimentación con control computarizado programable de funciones como tiempo y velocidad de agitación, en función de la cinética de reacción, cromatógrafos de líquido de alta eficiencia (HPLCs) conectados a computadoras, en cuya pantalla puede visualizarse directamente la composición de una muestra de agua contaminada, celdas electroquímicas dotadas con controladores de voltaje-corriente automático, en función de los potenciales sobre los electrodos, y muchos más aparatos con aplicaciones cada vez complejas, que facilitan las actividades experimentales del investigador, permitiéndole concentrarse más en los aspectos de interpretación y análisis de los resultados, o en el diseño de nuevas y más elaboradas hipótesis.

Pero la contribución de la tecnología informática a la investigación científica no se reduce sólo al desarrollo de “hardware” para laboratorio. Existe también un gran número de paquetes o programas informáticos diseñados específicamente para aplicaciones de investigación química. Destacan entre éstos: *Chemlab*, *Q-Geum*, *Alchemy*, *Chemical Calculation*, *Stoichiometry Studio*, *ChemOffice*, *QuimiApp*, y otras. También existen numerosas páginas y portales en Internet que brindan “software” o vínculos a información (como artículos especializados) sobre temas de investigación química. Ejemplos de ellos son: *Cambridge Soft*, *CompuChem*, *SoftShell* y *ChemSW*. Todo lo anterior sin contar con la creciente oferta de “software” gratuito para química, como los programas de diseño de modelos moleculares (*ChemDraw*) y otros.

Del mismo modo, tal como sucede en las demás áreas de desempeño profesional del ingeniero químico, la informática le brinda al investigador otras valiosas herramientas que le permiten procesar datos a gran velocidad y realizar cálculos que antes debían hacerse manualmente. Las hojas de cálculo, las aplicaciones de programación y el empleo de simuladores representan, por lo tanto, herramientas insustituibles para el moderno científico. La revista “*Computers & Chemical Engineering. An International Journal of Computer Applications in Chemical Engineering*”, que se publica en Gran



Bretaña mensualmente (por la casa editora *Elsevier*), contiene tan sólo una muestra de las múltiples investigaciones que se desarrollan en todo el mundo, mediante la aplicación de las computadoras y la tecnología informática a los problemas de Ingeniería Química, como son:

- Análisis y diseño de síntesis de procesos y productos.
- Análisis de la dinámica y control de procesos químicos.
- Métodos de diseño para equipo de ingeniería química, incluyendo reactores, unidades de separación por etapas, separadores cromatográficos o de membrana, y otros.
- Desarrollo de métodos numéricos novedosos y aplicaciones de análisis computacional para problemas de transporte (calor, momentum, masa).
- Aplicaciones de computadora y análisis numérico en modelación e ingeniería molecular.
- Operaciones de procesos (administración de cadenas productivas, planeación y control de costos, sistemas de aseguramiento de la calidad, seguridad y otras).

La investigación en Ingeniería Química, como puede verse, tiene un brillante futuro como una "disciplina interfacial" que servirá de puente entre la ciencia y la ingeniería, en el ámbito multidisciplinario que verá nacer nuevas tecnologías provenientes de disciplinas como la biología molecular, o la ciencia de materiales. Todo lo anterior sobre la base del desarrollo de la **Tecnología de la Información (TI)**.

Por último, es importante mencionar el vínculo que en México existe entre investigación y academia. Por ejemplo, en la UNAM, institución que realiza más del 50% de la investigación científica del país, se requiere que todo investigador dicte al menos una cátedra en licenciatura o posgrado como parte de sus actividades dentro de la institución. La función de la Informática como herramienta de apoyo a la docencia es, en este sentido, indudable. Como ya se mencionó en el punto 3.3, así como el alumno de ingeniería química se vale de la computadora para facilitarse las tareas o los cálculos tediosos y repetitivos de un problema, del mismo modo el profesor puede dedicar mayor atención a enseñar los aspectos relevantes del diseño de equipos o procesos, dejando a las computadoras la resolución de los aspectos numéricos de los problemas.



CAPÍTULO IV.

CONTRIBUCIÓN DE LA INGENIERÍA QUÍMICA A LA INFORMÁTICA EN MÉXICO.

4.1 PRINCIPALES APORTACIONES DEL INGENIERO QUÍMICO AL CAMPO DE LA INFORMÁTICA.

En el capítulo precedente se hizo una breve descripción sobre la manera en que la Informática ha influido en el desarrollo de la Ingeniería Química moderna. Es evidente, por otra parte, que dicha influencia no se circunscribe a las disciplinas de la Ingeniería: en la actualidad prácticamente no existe ciencia o área del conocimiento (incluidas las ciencias sociales y las humanidades) que no haga uso, en mayor o menor grado, de la Tecnología de la Información.

Del mismo modo, la Informática se ha nutrido a su vez de los conocimientos de otras ciencias para su desarrollo, desde la “máquina analítica” de Babbage, hasta las modernas computadoras de bolsillo. Las ingenierías mecánica y eléctrica en sus inicios, y recientemente, la electrónica y la ciencia e ingeniería de materiales, entre otras disciplinas, han contribuido a hacer de la Informática moderna una Ciencia-Tecnología⁷¹ que representa la culminación de varias décadas de investigación aplicada al procesamiento de la información, y que, sin embargo, se muestra hoy totalmente independiente de todas aquellas ciencias y disciplinas que le dieron origen: la Informática no es sólo la física de conductores aplicada en la construcción de complejos microprocesadores, ni solamente la lógica matemática estructurada en forma de programas; no puede ser reducida sólo a elementos de arquitectura electrónica o de álgebra booleana.

En este contexto, la Ingeniería Química ha contribuido también al avance de la Informática en sus dos aspectos esenciales: en el desarrollo de “hardware” y en el de “software”. A continuación, se describen brevemente dichos aspectos desde la perspectiva de la Ingeniería Química, en México.

⁷¹ El significado de esta dualidad presente en la Informática se examina en los puntos 1.1 y 3.1 de esta Tesis.



A) Desarrollo de Materiales para Hardware.

El progreso de la moderna industria informática no hubiera sido posible sin la utilización de ciertos materiales en la fabricación de componentes físicos o “hardware” para las computadoras y demás herramientas informáticas. El descubrimiento y uso de los materiales semiconductores significó un enorme avance en la capacidad de las máquinas para procesar la información, lo que a su vez hizo posible una considerable reducción en el tamaño de los equipos, cuya consecuencia directa fue el inicio de la comercialización masiva de computadoras y un número cada vez mayor de aparatos informáticos.

Un semiconductor es un material que no es un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante. En un conductor la corriente es originada por el movimiento de las cargas negativas (electrones). En los semiconductores se producen corrientes producidas tanto por el movimiento de electrones, como por el de las cargas positivas (huecos), dentro de una estructura cristalina. Los elementos químicos pertenecientes al Grupo IV de la Tabla Periódica (Silicio y Germanio, principalmente) se comportan como semiconductores. Generalmente a estos materiales (cuyo arreglo cristalino es tetraédrico, en virtud de que poseen cuatro electrones de valencia) se les introducen átomos de otros elementos en forma de aleaciones. Dichos átomos dentro del nuevo arreglo, denominados impurezas, (son comunes el galio, y el arsénico, con tres y cinco electrones de valencia, respectivamente) se comportan como donadores o receptores de electrones libres dentro de la estructura molecular, de forma que la corriente se debe primordialmente al flujo de los electrones o los huecos que “sobran” en ella, dependiendo del tipo de impureza introducida.

Desde el punto de vista de su operación, el dispositivo semiconductor más simple es el diodo, un diodo es un componente electrónico que permite el paso de la corriente en un sentido y lo impide en el contrario; está provisto de dos terminales, el ánodo (+) y el cátodo (-) y, por lo general, conduce la corriente en el sentido ánodo-cátodo. Por otra parte, el dispositivo semiconductor más importante desde el punto de vista tecnológico es el transistor. Un transistor es un componente eléctrico que se emplea como interruptor (que bloquea o deja pasar una corriente), o como amplificador. En otros términos, el transistor es un dispositivo utilizado para producir una señal de salida, en respuesta a una



señal de entrada. Una de las formas más simples que puede adoptar un transistor se consigue al unir tres piezas de un material semiconductor.

De este modo, al realizar diferentes combinaciones entre transistores, es posible desarrollar elementos lógicos que ejecuten desde las simples operaciones aritméticas de una calculadora de bolsillo, hasta los complicados cálculos matemáticos involucrados en un vuelo espacial.

Históricamente, a partir de la década de 1950, los dispositivos semiconductores, conocidos también como dispositivos de estado sólido, reemplazaron a los tubos de vacío en la industria electrónica. La significativa reducción del tamaño de los circuitos, el menor consumo de energía y la disminución de los costos de producción, así como la mayor durabilidad y confiabilidad de los dispositivos semiconductores, representaron, de este modo, un cambio revolucionario para la industria de la informática y las telecomunicaciones.

El ritmo al que se ha desarrollado la miniaturización de los circuitos electrónicos desde entonces, es sorprendente, tal como puede deducirse de los datos siguientes: para 1960, la línea más estrecha que podía trazarse en un circuito electrónico era de 30 micrómetros, es decir, la tercera parte del grosor de un cabello humano promedio. Para 1985 fue posible trazar un ancho de sólo 0.5 micrómetros; lo que permitió en ese tiempo, la construcción de microprocesadores o “chips” que contenían más de 100 000 transistores en una superficie menor a los 30 mm². Actualmente, se fabrican microprocesadores que incorporan más de 40 millones de transistores, además de otros componentes como resistencias, diodos, condensadores y conexiones, en una superficie de tamaño comparable al de un sello postal. *Intel*, la compañía que fabrica casi el 90% de los procesadores que se venden en todo el mundo, afirma que para el año 2011 podrá ofrecer un “chip” con más de mil millones de transistores y una velocidad superior a los 10 Gigahertz.^{72, 73}

⁷² Nota informativa: “*Intel presenta nuevos procesadores*”, publicada en, *DiarioTI. Diario Tecnologías de la Información*. Fecha de publicación: 02-07-2005. Disponible en: <http://www.diarioti.com/gate/n.php?id=3696>.

⁷³ La “velocidad” de un procesador se mide en Hertz (en realidad, en sus múltiplos Mega y Gigahertz), e indica la frecuencia con la que se llevan a cabo las operaciones en el bus de la computadora. Así, un procesador con una velocidad de 1 Gigahertz (GHz), es capaz de ejecutar mil millones de operaciones discretas por segundo.



Otra clase de materiales, que si bien no se utilizan para fabricar elementos tan esenciales del “hardware” como los microprocesadores, pero que son ideales, por sus propiedades, para constituir la estructura de soporte o armazón de los aparatos de tecnología informática y de telecomunicaciones, son los polímeros o plásticos. Su importancia para el desarrollo de la tecnología de la información ha sido tal que, actualmente, no existe computadora, ni aparato informático o electrónico, que no esté construido con este tipo de materiales.

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia / densidad alta, propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico ⁷⁴ y una buena resistencia a los ácidos, bases y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Los polímeros de moléculas lineales y ramificadas son termoplásticos (se ablandan con el calor), mientras que los de moléculas entrecruzadas son termofijos (no se reblandecen con el calor).

Un polímero (de las raíces griegas poly: muchos; meros: parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular se denomina monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso y estructura molecular, su grado de polimerización se indica por un prefijo numérico griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímero, trímero, tetrámero, pentámero y así sucesivamente. El término polímero, sin embargo, se usa para designar una combinación de un número no especificado de unidades, que suele ser muy grande. Un polímero no necesariamente está compuesto de moléculas individuales del mismo peso y estructura molecular. Hay polímeros naturales como ciertas proteínas globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales tienen todas el mismo peso y estructura molecular; sin embargo, la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son mezclas de componentes monoméricos heterogéneos.

⁷⁴ Hay excepciones de polímeros sintetizados desde 1977, que se ha logrado que funcionen como conductores, tal es el caso del poliacetileno dopado (contaminado) con yodo. Además del poliacetileno, se han descubierto desde entonces otros polímeros capaces de conducir la corriente eléctrica cuando son dopados: polipirrol, politiofeno y polianilina.



Una clasificación común para los polímeros, según su aplicación, distingue dos categorías:

- a) Plásticos de uso general o “*comodities*”. Son polímeros muy versátiles, utilizables en las más variadas aplicaciones. El polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), el polimetacrilato de metilo (PMMA), y el policloruro de vinilo (PVC), son los ejemplos más comunes de este tipo de plásticos.
- b) Plásticos de ingeniería o de especialidad. Son polímeros que pueden ser empleados en sustitución de materiales tradicionalmente utilizados en la ingeniería, como la madera, algunos metales, o el vidrio, por lo que en general, son considerablemente más costosos que los de uso general y se fabrican en pequeña escala. Ejemplos de éstos son el policarbonato y el poliacetato.

Para la industria informática, sin duda es el poliestireno el polímero de mayor importancia. Con este plástico, barato y fácil de moldear a través de sencillos procesos de inyección, extrusión, soplado y termoformado, y en especial con el poliestireno de alto impacto (una variante con trazas de polibutadieno que le confieren alta resistencia al impacto), se fabrican las armazones y soportes para todo tipo computadoras (incluyendo sus dispositivos periféricos), calculadoras, teléfonos y aparatos electrónicos, entre otros.

El poliestireno es un polímero termoplástico lineal. A temperatura ambiente es un plástico quebradizo, vítreo. Es inflamable y sensible a los disolventes. Las ventajas del poliestireno lo ubican como uno de los plásticos mas utilizados en todo el mundo, y de hecho, fue el primer plástico que se comercializó en México en 1945, aunque no fue sino hasta 1951 cuando se inició su producción nacional con la primera planta construida por Monsanto Mexicana en Lechería, Edo. de México, principalmente para la elaboración de productos de embalaje, armazones de electrodomésticos, envases térmicos y otras aplicaciones.

Los fluoroplásticos son otro tipo de polímeros que han comenzado a ser empleados por los fabricantes de computadoras. Hay muchas clases de estos plásticos, siendo el más importante el Poli-tetrafluoroetileno, PTFE, debido a sus propiedades eléctricas y su resistencia a la temperatura; se usa también en la industria alimentaria y en



la fabricación de empaques. Es estable hasta 260°C, duro, rígido, no inflamable y con gran resistencia a los ataques químicos.

Algunos plásticos de ingeniería también pueden ser utilizados para fabricar piezas de “hardware” debido a sus propiedades como aislantes y su gran resistencia térmica. Tal es el caso del polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE); los polímeros termofijos fenólicos como la “*Micarta*”, un material dieléctrico (aislante) que no genera chispas por fricción, y que sirve como soporte de circuitos y unidades de discos; así como las resinas termoplásticas de poliéster, “*Crastin*” y “*Rynite*” patentadas por *Dupont*, que se usan en circuitos electrónicos de carga estática. Sin embargo, el uso generalizado de los plásticos de especialidad en la industria informática y electrónica se ve todavía lejano, pues su costo es aún muy elevado, y sus aplicaciones un tanto limitadas.

El papel de la ingeniería química en el desarrollo de los materiales que hasta aquí se han descrito, es indiscutible. Por un lado, si bien la investigación y fabricación de materiales semiconductores se ha realizado fundamentalmente fuera de México, actualmente existen centros de investigación de primer nivel en ciencia e ingeniería de materiales en el país, que ofrecen al ingeniero químico una excelente oportunidad para posicionarse como el profesional idóneo para destacarse en estas áreas científico-tecnológicas, en virtud de que posee conocimientos acerca de la estructura molecular de las sustancias y sus complejas transformaciones (conocimientos que comparte con los profesionales de la química teórica, y de la física de materiales), pero al mismo tiempo domina los fundamentos de las operaciones a escala industrial y de la producción, en términos de rendimiento y economía (aspecto en el que aventaja a los profesionales teóricos). En otras palabras, el ingeniero químico puede relacionarse con la investigación y desarrollo de materiales en los niveles de microescala (materiales como moléculas) y de macroescala (materiales como productos industriales).

Entre los institutos de investigación que realizan desarrollo de materiales semiconductores, destacan el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), de la UNAM, y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), Especialidad en Materiales, del IPN.



En el aspecto industrial, lamentablemente no existen hoy fábricas de semiconductores en México (en China se concentra el 60% de las fábricas de microprocesadores del mundo), pues las pocas plantas de la industria informática y electrónica que se ubican en territorio nacional corresponden a ensambladoras de empresas como *Motorola* (que, por cierto, hace años cerró su fábrica de semiconductores, situada en Jalisco), que tiene plantas en Chihuahua, Baja California Sur y Sonora.

La industria electrónica en México inició su crecimiento en la década de 1960 cuando se fundó el “Valle del Silicio” mexicano, en Jalisco (en alusión al *Silicon Valley* original, ubicado en California, USA). De 1994 a 2000 vivió su mayor desarrollo: en 1999 participó con casi 30 por ciento de las inversiones totales en el país. Pero, a partir de la desaceleración económica que se produjo hacia el inicio de la actual década, la inversión disminuyó notablemente. Las empresas comenzaron a buscar dónde producir con menores costos, y se inició, de este modo, la salida de líneas de producción y plantas completas rumbo a China. Es por ello que, en los últimos tres años, importantes empresas, como *Sumida*, *NEC*, *VTech*, *On Semiconductor*, *NatSteel*, *Celestica* y *Multek*, cerraron sus operaciones en Jalisco, para migrar a zonas de producción más económicas. *Hewlett Packard* está por cerrar también su *Centro Mundial de Diseño de Copiadoras Digitales Multifuncionales*, del que salen todos los modelos de estos aparatos, que la compañía vende en todo el mundo ⁷⁵.

Todo lo anterior sucede pese a la pretensión del gobierno mexicano por estimular la inversión mediante incentivos fiscales: hace pocos meses se anunció que se ofrecerán 10 años libres de impuestos a las compañías fabricantes de semiconductores, nacionales y extranjeras, interesadas en invertir en el país. No obstante, la falta de infraestructura adecuada para este tipo de plantas origina un mayor costo de operación, que en el caso de la logística se eleva hasta un 15% de los costos de producción, a lo cual se suma la inseguridad en las carreteras para el transporte de los productos y el alto costo de los energéticos. Las dificultades para el registro de patentes son otro escollo, pues se trata, por lo general, de trámites largos y complejos.

⁷⁵ Fuente: Reportaje “*Qué verde era mi valle*”, de Juliana Fregoso, publicado en *La Jornada*, el 6 de junio de 2005.



Respecto al desarrollo y producción del otro tipo de materiales para la industria informática, los plásticos, la participación del ingeniero químico no puede ser más evidente. La Ingeniería Química es una disciplina central en lo que se refiere al estudio y producción de los derivados del petróleo, y precisamente la industria de los plásticos depende casi exclusivamente de la industria petroquímica. Así, desde la producción de etileno (que es una materia prima clave para la producción de otros compuestos base para los polímeros), hasta el moldeado de piezas de plástico para consumo final mediante los distintos métodos de extrusión, inyección y otros, el ingeniero químico cumple un papel fundamental como diseñador y administrador de los procesos industriales. La investigación aplicada a estas áreas es otro campo de acción, que abarca desde el desarrollo de nuevos catalizadores para los procesos de refinación, petroquímica y polimerización, hasta el estudio de nuevos materiales poliméricos con propiedades mejoradas.

De este modo, no resulta erróneo suponer que las plantas de poliestireno (el plástico más importante para la industria informática) que hay en el país, cuentan con un grupo de ingenieros químicos realizando tareas de control, supervisión y administración de procesos; y que seguramente en el diseño y construcción de las mismas, participaron como profesionales esenciales en las etapas de ingeniería conceptual, básica y de detalle, principalmente.

De acuerdo con lo anterior, la contribución que la Ingeniería Química ha proporcionado al desarrollo de la Informática, en México y en el mundo entero, si bien parece circunstancial, es notoria y no menos importante que la de otras disciplinas o ciencias. En todo caso, ambas disciplinas funcionan complementariamente para el avance tecnológico en beneficio de la sociedad moderna: en el ámbito de la ciencia de materiales, se afirma con frecuencia que se vive actualmente la Era de los Plásticos, ¿Pero no se afirmaba al inicio de esta Tesis, que el mundo vive en la Era de la Información? ¿Cuál es entonces la aseveración correcta?. La respuesta es, desde luego, que ambas lo son, y esta reflexión sobre la relación entre la Informática y la Ingeniería Química (como punta de lanza tecnológica de las Ciencias Químicas), revela que el mundo moderno es, en gran medida, el resultado del progreso de estos dos campos del conocimiento.



B) Diseño y desarrollo de Software y Sistemas para Ingeniería.

En el Capítulo II se mostraron datos que revelaban que el 60% de los profesores que imparten asignaturas en las carreras con orientación informática, son profesionales con formación no informática, de los cuales, a su vez, alrededor de un 40% son ingenieros (Ver Tablas 2.12 y 2.13, pág. 39).

En este contexto, no es de extrañar que una buena parte de las herramientas informáticas de “software” que se producen en México, se deba a la contribución que los ingenieros (incluidos entre ellos los químicos, por supuesto) han aportado dentro esta área de desarrollo profesional. La creación de paquetes o programas para aplicaciones de ingeniería es una actividad común entre los ingenieros químicos, incluso desde antes de graduarse. Como antes se mencionó, la utilización de los métodos numéricos, en combinación con los lenguajes de programación, constituyen un valioso recurso para la resolución de la parte numérica de múltiples problemas de ingeniería.

Debido a lo anterior, es común encontrarse en las aulas con estudiantes que intercambian programas para calculadora o computadora, que incluyen métodos de solución numérica conocidos (por ejemplo, Newton-Raphson o Runge-Kutta), elaborados por ellos mismos, para facilitarse los cálculos de las tareas o problemas analizados en las clases. Este tipo de manejo de la información forja en el futuro ingeniero una visión de agente informático activo, es decir, una persona que no sólo se limita a usar las herramientas tecnológicas de manera pasiva, sino que busca acrecentar sus potencialidades.

Ya como profesional, este ingeniero químico puede ser capaz de crear, en un trabajo conjunto con otros profesionales, complejos sistemas informáticos para una gran variedad de aplicaciones en ingeniería.

Existe una tendencia a identificar el proceso de creación de un programa informático con la programación, lo que resulta cierto cuando se trata de programas pequeños para uso personal, y que dista de la realidad cuando se trata de grandes proyectos.



El proceso de creación de “software” desde el punto de vista de la Ingeniería comprende los siguientes pasos:

- Reconocer la necesidad de un programa para resolver un problema ó identificar la posibilidad de automatizar una tarea.
- Recoger los requisitos del programa. Debe quedar claro qué es lo que debe hacer el programa y para qué se necesita.
- Realizar el análisis de los requisitos del programa. En esta etapa se especifica cómo debe proceder el programa para realizar las tareas que debe hacer. Las pruebas que comprueben la validez del programa se pueden especificar en esta fase.
- Diseñar la arquitectura del programa. Se debe descomponer el programa en partes de complejidad abordable.
- Implementar el programa. Consiste en realizar un diseño detallado, especificando completamente todo el funcionamiento del programa, tras lo cual la codificación debería poder hacerse de modo inmediato.
- Implantar (instalar) el programa. Consiste en poner el programa en funcionamiento junto con los componentes que pueda necesitar (bases de datos, redes de comunicaciones, y otros).

La Ingeniería del “software” actual se centra en los pasos de planificación y diseño del programa, en contraste con la forma tradicional de elaborarlos (programación artesanal), en la que la realización de un programa consistía únicamente en escribir el código, para después corregirlo mediante la técnica de prueba y error. La Ingeniería del “software” aplica, de este modo, los principios de la Ingeniería para la realización de programas informáticos, teniendo en cuenta factores como el costo, la fiabilidad del sistema y un funcionamiento eficiente que satisfaga las necesidades del usuario.

Debido a estas condiciones, la realización de un “software” se trata como cualquier proyecto de ingeniería, siéndole aplicables los principios de la administración de proyectos, descritos en el punto 3.4 de esta Tesis (págs. 88-97).



Los objetivos ideales de un proyecto de desarrollo de sistemas pueden resumirse en la estrategia de “*Las Cinco C*”: ⁷⁶

➤ **Competitividad.**

Los sistemas de información computacionales son un arma estratégica, capaz de cambiar la forma en que la compañía compite en el mercado. En consecuencia, estos sistemas mejoran la organización y la ayudan a ganar "ventaja competitiva", sin embargo, si los competidores de la compañía tienen capacidades más avanzadas para el procesamiento de información, entonces los sistemas de información pueden convertirse en una "desventaja competitiva".

➤ **Capacidad.**

La eficiencia de las actividades de la organización está influida por la capacidad de ésta para procesar la información con rapidez y eficiencia. Los sistemas de información mejoran esta capacidad en tres formas.

- Aumento de la velocidad de procesamiento. Los sistemas basados en computadoras pueden ser de ayuda para eliminar la necesidad de cálculos tediosos y comparaciones repetitivas.
- Aumento en el volumen. La incapacidad para mantener el ritmo de procesamiento no significa el abandono de los procedimientos existentes. Quizá éstos resulten inadecuados para satisfacer las demandas actuales. El tiempo de procesamiento por operación aumenta si se considera la cantidad de actividades de la empresa junto con su patrón de crecimiento.
- Recuperación más rápida de la información. Las organizaciones almacenan grandes cantidades de datos, por eso, debe tenerse en cuenta dónde almacenarlos y cómo recuperarlos cuando se los necesita.

⁷⁶ Tomado de: SOMMERVILLE, Ian. “**Ingeniería de Software**” . 6^a. Ed. Addison-Wesley, 2004.



➤ **Costo.**

Para determinar si la compañía evoluciona en la forma esperada, de acuerdo con el presupuesto, se debe llevar a cabo el seguimiento de los costos de mano de obra, bienes y gastos generales. La creciente competitividad del mercado crea la necesidad de mejorar los métodos para dar seguimiento a los costos y relacionarlos con la productividad individual y organizacional. Del mismo modo, los diseños de sistemas ayudan a disminuir los costos, ya que toman ventaja de la capacidad de las computadoras, para realizar tareas de manera más rápida y eficiente, reduciendo los tiempos y elevando la productividad del personal.

➤ **Comunicación.**

La falta de comunicación es una fuente común de dificultades que afectan tanto a los clientes como a la organización. Sin embargo, los sistemas de información bien desarrollados facilitan la comunicación y la integración de funciones individuales. Muchas empresas aumentan sus vías de comunicación por medio del desarrollo de redes para este fin, dichas herramientas les permiten acelerar el flujo de información dentro de sus oficinas y otras instalaciones que no se encuentran en la misma localidad.

➤ **Control.**

Para aumentar la seguridad de la información, generalmente se desarrollan sistemas automatizados. El acceso a la información puede estar controlado por un complejo sistemas de contraseñas, limitado a ciertas áreas o personal.

Estos sistemas permiten hacer un seguimiento de aquellas variables que pueden ser causa de conflictos o perturbaciones en la producción. Con lo que es posible tener un menor margen de error (mejora de la consistencia y la exactitud de los procedimientos).



En este panorama, el diseño e implementación de sistemas de información para la industria química es, en principio, el área de desempeño ideal para el ingeniero químico especializado en informática. Un ejemplo ilustrativo de este tipo de actividades desarrolladas por ingenieros químicos, se encuentra en la Facultad de Química de la UNAM, en donde un grupo de trabajo, bajo la coordinación del Dr. M. Javier Cruz Gómez, ha diseñado y se encuentra implementando actualmente, un Sistema Inteligente de Información para PEMEX Refinación, en toda la Refinería “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, en Salina Cruz, Oax.

Finalmente, es cierto que en la búsqueda de la autodeterminación tecnológica en materia informática, sin duda será necesario contar con una mayor cantidad de profesionales especializados (al nivel de posgrado) en Informática, para poder revertir la cifra del 60% de profesores no informáticos que ya se mencionaba antes. Sin embargo, se debe hacer notar el hecho de que, aun cuando sean los ingenieros quienes conduzcan en buena proporción el desarrollo de la Informática del país, no significa necesariamente, que su desempeño sea trivial o mediocre; por el contrario, la carencia de profesionales altamente especializados en Informática, ha hecho posible la formación de ingenieros suficientemente capacitados en la materia. El ingeniero químico ha debido, por fuerza, adaptarse a esta necesidad, respondiendo de la misma manera: formándose como un profesional habituado a tratar activamente con la Tecnología de la Información (TI), tal y como se describirá en el siguiente punto.

4.2 ÁREAS DE PARTICIPACIÓN PROFESIONAL DEL INGENIERO QUÍMICO EN INFORMÁTICA.

La Informática como disciplina científico-tecnológica ha creado, a través de su desarrollo, estrechos y complejos vínculos con otras áreas del conocimiento humano, que en ocasiones hacen imposible la distinción entre las aplicaciones informáticas diseñadas para el estudio de aspectos específicos de una ciencia o disciplina, y los aspectos o problemas de éstas, que se diseñan “a la medida” de las herramientas informáticas.



Por esta razón, la frontera entre las áreas de actividad de carácter informático y las de otro tipo, dentro del quehacer profesional del ingeniero químico, no siempre es clara. Así por ejemplo, es muy difícil saber si un ingeniero que se especializa en la implementación de sistemas informáticos para control de procesos industriales realiza una labor más informática que ingenieril, o viceversa. Es por ello que resultaría muy complicado determinar el porcentaje de ingenieros químicos que se desarrollan en áreas informáticas en México, aún cuando existiera información disponible y suficiente sobre sus áreas de desempeño profesional, en todo el país. Para recabar tal información, dicho sea de paso, se requeriría, como mínimo, de un estudio estadístico muestral aplicado sobre la población de ingenieros químicos, a escala nacional, cuya realización excede el alcance de esta Tesis.

Basta con decir, en este contexto, que un buen número de ingenieros químicos mexicanos trabaja actualmente en el gobierno, en las empresas, o de manera independiente, como expertos en Informática. Las funciones u ocupaciones típicas que éstos pueden ejercer, en ocasiones en franca competencia con profesionales provenientes de carreras informáticas, comprenden, desde las de servicio y mantenimiento de “hardware” y “software” de sistemas informáticos, hasta las de investigación avanzada en Ciencias de la Computación.

De este modo, la lista de puestos de trabajo que un ingeniero químico “informático” puede desempeñar comprende: técnico y jefe de sistemas, analista programador, ingeniero de mantenimiento de infraestructura, analista de bases de datos y comunicaciones, investigador y docente en ciencias informáticas, analista de aplicaciones, especialista en hardware y software, consultor técnico en informática, especialista en diseño, selección y evaluación de infraestructura de computación, y promotor -e incluso empresario- de comercialización y servicios de equipo y sistemas informáticos para uso doméstico y para empresas, entre otros.

Cualquier empresa, de cualquier sector productivo, es por lo tanto, susceptible de emplear ingenieros especializados en Informática. Las que muestran mayor requerimiento de profesionales informáticos son: empresas e instituciones con centros de cálculo y



manejo estadístico de datos, empresas de hardware y software, empresas financieras, compañías de telecomunicaciones y de alta tecnología, empresas de seguridad, y consultoras informáticas, compañías de seguros, consultoras en estudios de mercado, imagen y publicidad, entre muchas otras. En particular, las áreas o departamentos de Informática de las empresas de la industria química representan el sitio ideal para el ingeniero químico especializado en el manejo de la Tecnología de la Información (TI). Otro campo de desarrollo está representado por las propias Universidades, con sus departamentos o institutos de Informática (como en el caso de los laboratorios de Simulación de Procesos), que ofrecen la posibilidad de estudiar posgrados y desarrollarse dentro de la investigación científica y tecnológica en el área.

Existe, sin duda, una considerable cantidad de situaciones o escenarios posibles de desarrollo profesional para el ingeniero químico “informático”, de la que no se ha hecho mención aquí. Lo más importante, sin embargo, es tener presente el hecho de que el dominio de las herramientas informáticas ha pasado, tan sólo en la última década, de ser una habilidad que para el ingeniero químico se consideraba como auxiliar o “accesoria” (a lo más, deseable), a convertirse en un requisito indispensable para el recién egresado, e incluso para el ingeniero experimentado, que con frecuencia debe capacitarse para incorporar esta nueva tecnología en sus tareas cotidianas.

Esta necesidad de conocimiento de la Informática, sumada a la gran adaptabilidad y capacidad del ingeniero químico para realizar las más diversas tareas (originada quizá, por la costumbre de resolver problemas con gran número de variables y con suposiciones no siempre obvias: la suma una mol + una mol no necesariamente resulta en dos moles), le confiere a éste la posibilidad de competir con los profesionales informáticos en sus propios campos de acción, tal como lo hace con ingenieros de otras áreas, administradores, químicos, matemáticos, físicos, pedagogos, músicos, y una larga lista de profesiones más.

Así pues, ante la carencia de datos exactos y confiables acerca de la porción o número de ingenieros químicos dedicados a la Informática en el país, se incluye a continuación, y con un fin puramente ilustrativo, una breve lista de ingenieros mexicanos destacados en dicha disciplina (con una breve reseña biográfica), lo que constituye tan sólo una muestra del grado de vinculación que puede llegar a desarrollarse entre ambas disciplinas, lo que representa el objetivo que persigue esta Tesis.



➤ **Ignacio de Jesús Ania Briseño.**⁷⁷

El Dr. Ignacio Ania es Ingeniero Químico egresado de la UNAM. Realizó sus estudios de posgrado en la Escuela Nacional Superior de Informática y Matemáticas Aplicadas de Grenoble, Francia, donde en 1988 obtuvo el grado de Doctor en Informática. De 1990 a 2000, como socio de *Softtek, Inc.*, fue miembro del Consejo de Administración y desempeñó diversas funciones de alta dirección, incluyendo la vicepresidencia de las regiones Andina y del Caribe. Es autor de varios artículos presentados en congresos nacionales e internacionales, y ha sido conferencista en múltiples foros universitarios y centros de investigación de México y de otros países. En 1990 fue Presidente del Segundo Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial.

Actualmente es Profesor de Tiempo Completo del Departamento Académico de Computación del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM), donde coordina el *Proyecto para el Diagnóstico de la Industria del Software en México*, realizado por el Centro de Estudios de Competitividad, y patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Desde 2002 es miembro de la Academia Mexicana de Informática A.C. (AMIAC).

➤ **Mario Esteva Maraboto.**⁷⁸

Ingeniero Químico graduado en la Universidad Nacional Autónoma de México en 1963. Ha trabajado en el área de informática desde 1966, teniendo diferentes cargos en empresas públicas y privadas. Fue director de áreas operativas y de “staff” en IBM de México, donde laboró por 20 años. Posteriormente fue Director de Microcomputadoras en Grupo ESE, Director General de Apoyo Informático Empresarial, y actualmente está a cargo del proyecto *Government Resource Planning (GRP)* en la Comisión Nacional del Agua.

⁷⁷ Tomado de la página de Internet: “*Planilla para integrar el Consejo Directivo de la AMIAC 2003-2006*”, disponible en: <http://amiac.org.org.mx/planilla.htm>, fecha de consulta: 11-01-2006.

⁷⁸ Tomado de la página de Internet: “*TIDAP. Currículum. Mario Esteva Maraboto*”, disponible en: www.tidap.gob.mx/Curriculums/Encuentros/CVMarioEsteva.pdf, fecha de consulta: 11-01-2006.



El Ing. Esteva ha sido Presidente de la Asociación Mexicana de Ejecutivos en Informática, Vicepresidente de la Academia Mexicana de Informática, miembro fundador del Consejo Internacional de Distribuidores IBM, Miembro Honorario de la Asociación Mexicana de Usuarios de Sistemas Interactivos de Cómputo, y Presidente del Consejo Permanente de Informática del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ).

➤ **Enzo Molino Ravetto.**⁷⁹

Ingeniero Químico por la Facultad de Química de la UNAM, 1961-1965, con estudios de Posgrado en Economía e Informática (Milán, Italia, 1969-1970), Economía Educativa (Lima, Perú, 1972) y Administración (UNAM, México, D.F., 1971-1974).

Ha colaborado como técnico y directivo en informática en diversas dependencias del sector público y privado, incluyendo el cargo de Gerente de Informática y Telecomunicaciones de la Comisión Federal de Electricidad, y Director de Servicios Informáticos de CONACyT. Ha sido consultor para la UNESCO y la ONU, así como profesor en diversas Universidades, Presidente de la Academia Mexicana de Informática, Presidente de la Asociación Mexicana de Ejecutivos en Informática, y Presidente de la Federación de Asociaciones Mexicanas de Informática. En 1996, la Academia Mexicana de Informática le otorgó el Premio al Mérito Informático. Actualmente es responsable de Informática del Consejo Nacional de Fomento Educativo.

➤ **Antonio Sánchez Aguilar.**⁸⁰

El Dr. Sánchez Aguilar es Ingeniero Químico de la Universidad Iberoamericana, y tiene una maestría y un doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad George Washington, en Washington D.C.

⁷⁹ Tomado de la página de Internet: "TIDAP. Currículum. Enzo Molino Ravetto", disponible en: www.tidap.gob.mx/Curriculums/Conferencias%20y%20Paneles/curriculumIngEnzoMolino.pdf, fecha de consulta: 11-01-2006.

⁸⁰ Tomado de la página de Internet del *Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA)*, disponible en: <http://www.lania.mx/~asanchez/vita/vitaeCorto.doc>, fecha de consulta: 11-01-2006.



Cuenta con más de 50 artículos publicados en congresos y revistas nacionales e internacionales en el área de inteligencia artificial, bases de datos, interoperabilidad y computación en general. Fue presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), y de la Sociedad Mexicana de Ciencias de la Computación (SMCC).

De 1979 al 2004, Antonio Sánchez Aguilar fue profesor de la Universidad de las Américas Puebla en el Departamento de Sistemas Computacionales y en el Departamento de Administración. De 1988 a 1995 fungió como Coordinador de Apoyo Académico y Director General de Sistemas de Información. Ha elaborado proyectos de consultoría en sistemas para diversas dependencias de gobierno, como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y para PEMEX. Actualmente, el Dr. Sánchez Aguilar es Presidente del Consejo del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA), con sede en Xalapa, Veracruz.

➤ **Carlos Zozaya Gorostiza.**⁸¹

El Dr. Carlos Zozaya Gorostiza es actualmente Director General de la División Académica de Ingeniería del ITAM, cargo que ocupa desde Marzo de 1992. Obtuvo la licenciatura en Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, y una Maestría y Doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad de Carnegie Mellon, en USA, trabajando en el área de Sistemas Expertos. Sus áreas de interés son: Inteligencia Artificial y Optimización e impacto de las Tecnologías de la Información en las organizaciones.

Es autor del libro *Knowledge Based Process Planning for Construction and Manufacturing* (Academic Press, 1989), además de 25 artículos publicados en revistas y congresos internacionales con arbitraje.

En 1981 recibió el Premio Nacional de la Juventud. Desde 1993 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, y desde 1997 es Vicepresidente de la Academia Mexicana de Informática. Actualmente también es Vicepresidente de la Sociedad Mexicana de Ciencias de la Computación.

⁸¹ Tomado de la página de Internet: "Planilla para integrar el Consejo Directivo de la AMIAC 2003-2006", disponible en: <http://amiac.org.org.mx/planilla.htm>, fecha de consulta: 11-01-2006.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La Ingeniería Química tiene un rico pasado y un brillante futuro. En poco más de un siglo sus practicantes han erigido una gran parte de la infraestructura tecnológica de la sociedad moderna, En los 10 ó 15 años venideros, la Ingeniería Química evolucionará para afrontar desafíos que abarcan una amplia gama de disciplinas intelectuales y escalas físicas (desde la escala molecular, hasta la escala global), y los ingenieros químicos, en virtud de sus fuertes vínculos con las ciencias moleculares, serán los "investigadores interfaciales" que unirán la ciencia con la ingeniería en los ámbitos multidisciplinarios donde surgirá una generación de nuevas tecnologías.

Dos importantes novedades formarán parte de esta transformación de la disciplina: 1) Los ingenieros químicos tendrán mayor intervención en el diseño de productos como complemento del diseño de procesos; dado que las propiedades de un producto dependen cada vez más del proceso de producción, la distinción tradicional entre diseño de proceso y de producto tenderá a borrarse; y 2) los ingenieros químicos serán, con frecuencia, participantes en esfuerzos multidisciplinarios de investigación. La posición de la Ingeniería Química como la disciplina de la Ingeniería más fuertemente vinculada a las ciencias moleculares, constituye una ventaja, dado que dichas ciencias son las que plantan las semillas de las tecnologías del mañana.

Pero la Ingeniería Química no ha crecido sola en los últimos años. Para desarrollarse, se ha apoyado en una nueva disciplina científico-tecnológica que ha nacido hace menos de un siglo en el mundo, y ha modificado ya, de raíz, muchas de las concepciones del pensamiento científico moderno: la Informática. Sin ella, no serían posibles los avances antes mencionados, y de hecho, ninguno de los sorprendentes avances de la ciencia y la ingeniería de la actualidad existiría sin la ayuda de la Tecnología de la Información.

A lo largo de esta Tesis se ha demostrado la estrecha vinculación entre dos áreas del quehacer humano que han sido fundamentales para la sociedad moderna: de un lado una rama de la Ingeniería, creadora por excelencia, que convierte materias primas en una



variedad tan extensa de productos o satisfactores, que resulta difícil imaginar cómo sería la vida sin ellos; y por otro lado, la tecnología que ha permitido a la humanidad dar un verdadero salto cualitativo en su evolución, a partir de su aparición.

Se ha determinado que la Informática es hoy una ciencia-tecnología no sólo necesaria, sino indispensable para el aprendizaje y desempeño eficiente del ingeniero químico. Se han analizado las distintas formas y usos de la Tecnología de la Información en el ejercicio de la profesión, y la implicación inmediata que surge de esta utilización: un cambio profundo en la concepción de la propia disciplina.

Se han estudiado también las aportaciones a la Informática que han surgido desde la Ingeniería Química, reconociendo con ello una relación de reciprocidad en el enriquecimiento de ambas áreas del conocimiento. En este punto, es necesario reconocer que la industria mexicana de los plásticos (específicamente del poliestireno, principal materia prima de la armazón de las computadoras), hace varios años que se encuentra en franco retroceso, al grado de que prácticamente no existen, en la actualidad, empresas en México que fabriquen plásticos para las industrias informáticas. El reconocimiento de esta situación es fundamental para formular estrategias para abatir esta desventaja frente a otros países. El papel que el ingeniero químico mexicano juega en este asunto puede hacer la diferencia, como potencial emprendedor en este sector industrial.

Finalmente, se ha hecho un repaso acerca de las múltiples ocupaciones de carácter informático que un ingeniero químico puede desempeñar, y se han incluido algunos ejemplos de profesionistas destacados en el campo de la Informática. Si bien no fue posible evaluar con estadísticas la proporción de ingenieros químicos “informáticos” que hay en México, se puede afirmar, con toda certeza, que independientemente de su cargo o puesto profesional, todo ingeniero químico en el país mantiene relación, en mayor o menor grado, con la Tecnología de la Información, para poder desempeñar sus actividades.

Por otra parte, en el segundo capítulo se mostró un panorama más o menos general sobre la situación de la informática en México. La realidad mexicana en esta materia, de acuerdo con ello, no es muy alentadora. Si la investigación científica es fundamental para la formación de recursos humanos en un país, lo es de manera más



crítica en aquellas disciplinas que evolucionan con rapidez, y ninguna otra disciplina ha evolucionado con mayor velocidad que las ciencias de la información y la computación.

Por esta razón, para que México pueda crecer, generar riqueza y distribuirla, uno de los factores fundamentales es la autodeterminación tecnológica, esto es, la capacidad de decidir qué tecnología se debe importar, y qué tecnología se debe generar para poder intercambiarla por aquella que se compra. El costo de la tecnología es tan alto, que sólo se puede financiar con la generación de tecnología equiparable. A manera de ejemplo burdo, puede decirse que no es posible producir indefinidamente millones de barriles de petróleo para comprar computadoras. Sólo con la autodeterminación tecnológica se podrá distinguir la tecnología útil de la tecnología en desuso. Naturalmente, ningún país controla todos los aspectos de una rama de la ciencia o la tecnología, y el horizonte es tan amplio, que cada país puede encontrar nichos en los cuales alcanzar niveles de excelencia mundial. Esa debe ser la obligación de México, para avanzar hacia su autodeterminación.

En este contexto, el ingeniero químico mexicano no puede permanecer ajeno a estas actividades en la búsqueda de un mejor desarrollo informático del país. Como se mostró en el Capítulo III, el uso de herramientas de simulación de procesos se ha convertido en una práctica común entre estudiantes y profesionales de la disciplina, pero de poco servirá la utilización pasiva e indefinida de este tipo de “software” para avanzar hacia la mencionada autodeterminación; lo mismo sucede en el caso de los programas comerciales para administración de proyectos, o de la amplia variedad de herramientas tecnológicas para control de procesos. Una propuesta para pasar de ser entes pasivos a agentes activos de la tecnología en este sentido, consiste en la adaptación de estos sistemas informáticos al entorno tecnológico y a las necesidades específicas que conciernen al país, lo que contribuiría a la creación, en un corto plazo, de una base firme para construir una cultura informática difundida entre la comunidad de ingenieros mexicanos. No se trataría, por ejemplo, de fabricar nuevos PLC's, sino de adaptar la programación de los que se compran al extranjero, para generar sistemas de control a la medida de la industria mexicana (no tan dependientes de la lógica de programación norteamericana, por ejemplo), los cuales puedan ser compartidos en bases o protocolos de programación generalizados y fácilmente accesibles a cualquier ingeniero químico, de cualquier empresa en el país.



Otra opción, que si bien parece menos viable, pero no por ello menos importante, es la de la generación de sistemas informáticos propios. Como ya se sugería en el punto 3.3 D, se pueden impulsar -desde las Universidades, como punta de lanza tecnológica- proyectos para la creación de simuladores de procesos propios, en un intento de dejar de ser consumidores pasivos de empresas como Aspen Technology. Este tipo de proyectos requeriría de la colaboración de un buen número de profesionales e investigadores de áreas ingenieriles e informáticas, e incluso de la colaboración interinstitucional de universidades, gobierno y empresas privadas, pero ¿no sería acaso un esfuerzo valioso en la búsqueda de la citada autodeterminación en materia de Informática?.

Ante esta situación, México debería reconocer a la Informática como un área de desarrollo estratégico para alcanzar la autodeterminación tecnológica. Es necesario definir una política creativa de apoyo sistemático a las Ciencias de la Computación, encaminada a corregir las deficiencias existentes con acciones que impulsen:

- La formación de recursos humanos calificados en el área.
- El fortalecimiento de los programas de posgrado.
- La elevación del nivel de los programas de licenciatura.
- La vinculación de los grupos de investigación y desarrollo con los posgrados.
- El crecimiento sistemático de los grupos de investigación y desarrollo tecnológico.
- La consolidación de los grupos de investigación y desarrollo ya existentes.
- La vinculación de los grupos de investigación y desarrollo con los distintos sectores económicos del país.
- La creación de mecanismos ágiles para el financiamiento de las acciones anteriores.

Como se mencionó anteriormente, es imprescindible contar con un mayor número de profesionales expertos en Informática en México. Echar a andar la industria nacional en este renglón, se antoja muy difícil en estos momentos en el que el desarrollo de la misma en otros países, como China y sus vecinos, se encuentra muy avanzado. A estas alturas del desarrollo informático mundial, probablemente México obtendría mayores beneficios sociales y económicos de la utilización amplia y adecuada de la Informática como



herramienta de competitividad, productividad y eficiencia, que si se fomenta únicamente la creación de una industria microelectrónica o informática nacional.

Sin embargo, para alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso de la tecnología, se requiere hacer un esfuerzo sistemático para crear una cultura de usuarios sagaces de la Informática, lo que a su vez supone una adecuada proporción de los distintos grupos de actores imbuidos en la Tecnología Informática. Lo ideal sería contar con un grupo de excelentes innovadores, otro de especialistas competentes e interlocutores técnico-aplicativos; y muchos usuarios educados dentro de una Cultura Informática básica muy difundida. El ingeniero químico mexicano se constituye hoy, como un ejemplo fehaciente de este tipo de usuarios.

El papel de las Universidades en este contexto, es fundamental, no sólo como formadoras de recursos humanos para el sector, sino como las instituciones donde, de manera natural, se puede realizar investigación avanzada en estas áreas tecnológicas.

Probablemente, para el caso específico de carreras no informáticas como la Ingeniería Química, no sea necesario incluir más asignaturas informáticas, sino estimular con mayor empeño la difusión de una cultura informática entre sus estudiantes, que genere mejores índices de productividad y eficiencia en el futuro profesional. Para ello, sería necesario invertir en infraestructura tecnológica en las aulas, equipar más y mejores laboratorios de cómputo que mantengan acceso abierto y sin restricciones a cualquier estudiante, así como promover programas de participación que incentiven al alumno a desarrollarse en el dominio de estas tecnologías, a través de cursos, seminarios, concursos y otras actividades.

Los académicos, por su parte, se encuentran obligados, en este sentido, a capacitarse, tanto o más que los alumnos, para no quedarse rezagados en sus propios métodos de enseñanza, pero sobre todo para mantener un aceptable nivel de interacción con sus alumnos en el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información (TI).



BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS:

1. BELL, Daniel. **Las Contradicciones Culturales del Capitalismo.** Alianza Editorial, Madrid, 1977.
2. BELL, Daniel. **The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting.** Basic Books, New York, 1973.
3. BRUNER, J. **Hacia una teoría de la instrucción.** UTHEA, México, 1972.
4. BURBULES N. y Thomas Callister. **Educación: Riesgos y promesas de la nuevas tecnologías de la información.** Editorial Granica, Madrid, 2001.
5. DOUGLAS, James M. **Conceptual Design of Chemical Processes.** Mc Graw Hill, USA, 1988.
6. FOUREZ, Gerard. **La Construcción del Conocimiento Científico. Filosofía y ética de la ciencia.** Nacea Ediciones, España, 1994.
7. KERZNER, Harold. **Project Management.** 6ª ed., John Wiley & Sons, New York, 2000.
8. KRICK, E.V. **Introducción a la Ingeniería y al diseño en la ingeniería.** Editorial Limusa, México, 1997.
9. MARTÍNEZ, Silvio, y otros. **Dinámica de Sistemas.** Alianza Editorial, España, 1986.
10. PETERS M. S. & K. D.Timmerhaus. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers.** Mc Graw Hill, USA, 1968.
11. **PMBOK**, 3ª ed., Project Management Institute, 2004.
12. SEIDER, Waren D. & J. D Seader. **Process Design Principles.** John Wiley & Sons, USA, 1998.



13. SKOOG, Douglas & James Holler. **Principios de Análisis Instrumental**. 5ª. ed., McGraw-Hill, México, 2000.
14. SOMMERVILLE, Ian. **Ingeniería de Software**. 6ª. ed., Addison-Wesley, USA, 2004.
15. SZKLANNY K. & S. Behrends. **Sistemas Digitales de Control de Procesos**. 2ª ed., Control S.V.S., USA, 1995.
16. VILBRANDT, Frank & Charles Dryden. **Ingeniería química del diseño de plantas industriales**. Grijalbo, México, 1963.
17. ZAMORANO, Héctor. **Seminario sobre objetivos, metodología y pedagogía de la enseñanza de la informática**. Publicaciones UNAM, México, 1993.

ARTÍCULOS:

1. BUCAY FARADJI, Benito. **“Pirólisis Homogénea de Propano: Tecnología Pobre, Didáctica Rica”**. *Revista del IMIQ*, Año XXXIX, Vol. 9-10, Septiembre-October, 1998.
2. FERNÁNDEZ ZAYAS, José Luis. **“La Informática Avanzada y la Ingeniería Moderna”**. Artículo elaborado para el 8o Congreso Nacional de Agronomía, Chapingo, Méx., Octubre de 1998.
3. GUERRA ORTIZ, Víctor, **“El uso de la tecnología en la educación”**. Artículo presentado en el *Seminario de Tecnologías de la Información del Centro Universitario de Investigaciones Bibliotecológicas*, México, UNAM, 2000.
4. HARB, John. N., Angelica Jones, et. al. **“Use of Computational Tools in Engineering Education. A Case Study on the Use of Mathcad”**. *Chemical Engineering Education*, Summer, 1997, p.180-188.
5. LIIKANEN, Erkki. **“La Unión Europea ante la Sociedad de la Información”**. *Revista Novática*, No. 145, May-Jun 2000, pág. 9.



6. **“Medium Depth Down Under. Exploration Drilling in Australia”**. *Mining & Construction Magazine*. USA, May-Ago, 2005.
7. MIT (ed). **“Made in America. Regaining the Productive Edge”**. MIT Press, New York, 1989.
8. RUBIO ROYO, F. **“La Gestión del Conocimiento, alternativa para la formación superior del siglo XXI: fundamentos y metodología para su desarrollo”**. *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciencias*, XXIV, p. 49-64, Argentina, 2000.
9. RUGARCIA, A. **“Los retos de la formación de Ingenieros Químicos”**. *Educación Química*, p. 319 – 330, No. 3, Vol. 11, México, 2000.
10. STEPHANOPOULOS, G., G. Henning & H. Leone. **“MODEL.LA. A Modeling Language for Process Engineering-I. The Formal Framework”**. *Computers and Chemical Engineering*, 1990, Vol. 14-8, p. 813-846.
11. TAPIAS GARCIA, H. **“Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos Paradigmas”**. *Revista Ingeniería Química*, p. 179 - 186, julio-agosto, 1999.
12. WEI, J., **“A century of changing paradigms in chemical engineering”**. *Rev. Chemtech*, Mayo, 1996.

PÁGINAS WEB:

1. ADELL, J. **“Tendencias en educación científica en la sociedad de las tecnologías de la información”** Revista EDUTEC, 7. Accesible en <http://nti.uji.es/~jordi>. Fecha de consulta: 06/11/2005.
2. Artículo electrónico: **“Acceso gratuito a 2000 cursos del MIT en Internet: gran oportunidad para las Universidades de los países en desarrollo”**. Portal de la UNESCO, disponible en <http://portal.unesco.org/es/>. Fecha de publicación: 17-01-2005.
3. Artículo electrónico: **“El cómputo y las telecomunicaciones en la UNAM”**. UNAM-DGSCA, México, 1996, disponible en



- http://www.dgsca.unam.mx/organización/computo_unam.html. Fecha de consulta: 24-08-2005.
4. Artículo electrónico: "Historia del cómputo en México". UNAM-DGSCA, México, 2000, disponible en <http://www.dgsca.unam.mx/organización/historia.html>. Fecha de consulta: 26-08-2005.
 5. Censo económico, 2000. Página del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de consulta: 06/11/2005.
 6. Encuesta sobre Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y Comunicaciones, 2003. Página del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en: www.inegi.gob.mx. Fecha de consulta: 06/11/2005.
 7. GARCÍA VELASCO, Pablo. "ERP: ¿realmente una fórmula del éxito?". Revista electrónica Estr@tegia (Artículo 27, 2003), disponible en <http://www.estrategiamagazine.com.ar/ediciones/edicion0027/tecnologia.asp>. Fecha de consulta: 23-10-2005.
 8. GARCÍA-PÉREZ, Rafael & Manuel Rodríguez López. "Diseño y Evaluación de un Programa de Informática aplicada a la Investigación Científica". *Rev. Electrónica CICA*, No. 3, 2003. Accesible en: http://www.cica.es/aliens/revfuentes/num3/Campo_abierto/W_Artic._Garcia_Perez.htm. Fecha de consulta: 09/09/2005.
 9. Nota informativa: "Intel presenta nuevos procesadores", publicada en, *Diario TI. Diario Tecnologías de la Información*. Disponible en: <http://www.diarioti.com/gate/n.php?id=3696>. Fecha de publicación: 02-07-2005.
 10. UNAM. Página electrónica de la Oficina de Colaboración Interinstitucional. Coordinación de Investigación Científica, disponible en <http://www.intercambio.unam.mx/unamxxi/html/pagina44.htm>. Fecha de consulta: 15-10-2005.

**OTROS DOCUMENTOS:**

1. ALBA, A. "El curriculum universitario ante los retos del siglo XXI: la paradoja entre posmodernismo, ausencia de utopías y determinación curricular". Estudio: *El curriculum universitario de cara al nuevo milenio*, coordinado por Alicia de Alba, Centro de Estudios sobre la Universidad, México, 1993.
2. ESCOTET, Miguel Ángel. "¿Revolución en la educación o revolución en el aprendizaje?". Discurso inaugural en el XX Simposio Internacional de Computación en la Educación, Puebla, Méx., Octubre de 2004.
3. ESTEVA, J. "La dimensión tecnológica en la formación universitaria". Estudio: *El curriculum universitario de cara al nuevo milenio*, coordinado por Alicia de Alba, Centro de Estudios sobre la Universidad, México, 1993.
4. MERAZ RODRÍGUEZ, Rosa Fernanda. "Viabilidad de una relación comercial igualitaria de servicios informáticos entre México y Estados Unidos". Tesis de licenciatura en relaciones internacionales, UNAM, México, 1995.