

Estudios de fundamentación y análisis del mercado profesional. En esta ocasión, una interesante contribución de compañeros del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, de La Habana.

# El paradigma técnico económico actual y la ingeniería química en Cuba y en el mundo

*Elina Fernández-Santana y José María Ameneiros-Martínez\**

## Abstract

Technical sciences are strongly related to a nation's social and economic development. The role played particularly by chemical engineering in some industries, related to the priorities that have been defined by the Cuban state is notable: The food program, The tourist industry, and The medical pharmaceutical industry.

The computer era has pointed out the routes to industrial chemistry for new channels, among which biotechnology, modeling and simulation of processes, and the use of computers for direct control of processes or the carrying out of design tasks and others, stand out.

This paper analyses the happening of the specialty throughout history, and which have been the fundamental lines for development that professionals have used since the third wave.

The current situation of this specialty in Cuba has been compared with that of many other nations of the world; and it also finds expression in the formative field of the new specialists in the way the educational system of the country has known how to look for the right answers that allow graduates with ample knowledge and skills to give the adequate solutions within the technical economic paradigm of the age in which they live.

## Resumen

Las ciencias técnicas tienen una fuerte relación con el desarrollo económico y social de las naciones. La ingeniería química, especialmente, juega un papel preponderante en varias de las industrias relacionadas con las prioridades que ha definido el Estado cubano: el Programa Alimentario, la Industria Turística y la Industria Médico-Farmacéutica.

La era de la computación ha marcado los derroteros de la química industrial por nuevas vías, entre las que se destacan la biotecnología, la modelación y simulación de procesos, y la aplicación de la computación al control directo de procesos o a la realización de tareas de diseño y otros.

En el presente trabajo se hace un análisis del devenir de

la especialidad a lo largo de la historia y de cuáles han sido las líneas fundamentales de desarrollo que los profesionales han asumido desde el advenimiento de la tercera ola.

Se compara la situación de la especialidad en Cuba con el resto del mundo en los años que corren y se expresa cómo también en el campo formativo de los nuevos especialistas el sistema educacional del país ha sabido encontrar las respuestas adecuadas que permiten un egresado con habilidades y conocimientos suficientes para dar soluciones acertadas en el contexto del paradigma técnico-económico de su época.

## Introducción

El desarrollo del hombre desde la niñez hasta su plenitud está signado por múltiples factores internos que dependen de su subjetividad, y externos, que responden al entorno que le rodea, interactuando ambos sobre el ser humano para condicionar sus formas de pensamiento y de abordar su papel en la sociedad.

La condición humana, por tanto, es marcada por su medio, al que se ha dado en llamar paradigma. El paradigma es entonces el modelo, el ejemplo, el elemento que traza las pautas de comportamiento del individuo en la sociedad. Está compuesto por un sinnúmero de factores que de manera consciente o inconsciente establecen las líneas a seguir. Se encuentran en él aspectos educativos, familiares, tradicionales, políticos, económicos y sociales entre otros, que establecen el contexto en el cual el hombre se apropia de todos sus conocimientos.

Esto explica, por ejemplo, cómo es posible que entre las mujeres y los hombres, teniendo idénticas capacidades intelectuales, haya una preferencia antinatural de ellas en muchos países por las carreras no técnicas (Tello, 1994).

El advenimiento de la llamada tercera ola es un hecho que sin dudas ha propiciado enfocar el perfil del ingeniero químico desde aristas diferentes a las que instauraban los puntos de mira una década atrás.

Este trabajo se propone abordar la relación entre el paradigma actual y la Ingeniería Química, analizando los cambios fundamentales que se han registrado en el perfil de este especialista a lo largo del tiempo, y en particular, en la enseñanza de esta especialidad en Cuba, sin hacer énfasis en los aspectos tradicionalistas de la educación familiar, sino

\* Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.

Recibido: 3 de abril de 1996; Aceptado: 7 de enero de 1997.

tomando como base la situación técnico económica nacional e internacional y su influencia en la carrera.

### Desarrollo histórico de la ingeniería química en el mundo y en Cuba

El progreso material de la civilización es exponente del dominio del hombre sobre los cambios químicos, por lo que la sucesión de paradigmas tecnoeconómicos se refleja con particular detalle en el desarrollo histórico de esta ciencia y sus aplicaciones.

El surgimiento de la alquimia (Deming, 1957) constituye el primer precedente de lo que conocemos por Ingeniería Química. Su establecimiento definitivo como especialidad ingenieril empieza a gestarse en el marco del segundo paradigma (Freeman, 1992) y al finalizar esta época, en los albores de 1880, recibe el nombre que hasta hoy mantiene (Hartley, 1958).

En una primera etapa que se extiende hasta 1940 (Hougen, 1977) la formación del especialista era fundamentalmente tecnológica. A partir de este año, en que se abre el camino al cuarto paradigma al comenzar la explotación de la energía barata obtenida del petróleo, la creación de nuevas producciones y perfeccionamiento de las ya existentes hacen imposible la formación del especialista sobre la base de la descripción tecnológica, entrando a la palestra internacional la tendencia americana revolucionaria de la inclusión de las Operaciones Unitarias, que permitió la formación de un ingeniero capaz de adaptarse luego de un lógico adiestramiento a las diversas tecnologías existentes. Este enfoque surgió en 1923 con la publicación de *Principles of Chemical Engineering*, de Walker, Lewis y Mc Adams no se enfrenta al análisis integral de procesos, pues se hace racionalmente compatible cuando tras la fragmentación de la realidad viene la síntesis necesaria (Polinzky, 1978).

Esta segunda etapa sienta las bases para la asimilación, con el advenimiento de los años 80, de la tercera ola o quinto paradigma. Aparecen dentro del currículo de estudios nuevas materias (Cinética Aplicada, Instrumentación y Control de Procesos, Catálisis, etcétera) enfocándose el interés de la enseñanza hacia el por qué actuar de una u otra forma ante una situación particular. Se multiplican las Ciencias de la Ingeniería con la introducción de los Fenómenos de Transporte, la Modelación Matemática y el Análisis de Sistemas o Procesos catapulteados a planos superiores por el auge y desarrollo de la Computación y las Matemáticas aplicadas a la Ingeniería.

En Cuba, esta situación tiene caracteres particulares. No es hasta 1926 en que los jesuitas franceses inician en la ciudad de Cienfuegos la formación del perito químico azucarero, antecedente de la especialidad en el país, que se crea definitivamente en 1948 en la Universidad de Oriente (Curbelo,

1944). En la década del 50 hay una extensión de la Ingeniería Química hacia las recién creadas Universidad Central de las Villas y la Universidad Católica de Villanueva.

El cambio de régimen socioeconómico ocurrido en el país en 1959 provoca una situación de crisis al establecerse la necesidad urgente de soluciones a nuevos problemas productivos y surgir explosiones de matrícula.

Si tenemos en cuenta lo que se entiende por un ingeniero químico (Hanesian, 1986) se puede deducir que los cambios de paradigma técnico-económico se ven reflejados en la evolución de los planes de estudio para la formación de ingenieros químicos capaces de asimilar las nuevas técnicas y avances tecnológicos, dando respuesta a las crecientes demandas de la producción y la sociedad (Díaz y Zumalacárrégui, 1986) debido a la interacción enseñanza-investigación-producción, presente desde el propio surgimiento de la especialidad. Este criterio es refrendado por universidades prestigiosas del mundo, como la de Pardue, Canadá, que gradúa ingenieros químicos desde 1902 (Delgass y Peppas, 1986).

En 1976, al crearse el Ministerio de Educación Superior (MES), la red de centros que imparten la especialidad se amplía hacia los centros que hoy la contemplan entre sus carreras.

Los primeros planes de estudio unificados se comienzan a aplicar en el curso 1977-1978 y con ellos se introducen las especialidades en el perfil químico, cada una de ellas con características propias (MES, 1990).

Es obvio que este primer intento conllevó a un sistema de estudios con deficiencias inherentes al grado de desarrollo del subsistema educacional, las que resumidas son:

- Elevada relación teoría-práctica y, en consecuencia, falta de equilibrio interior en las asignaturas, entre conocimientos y habilidades.
- Plan de estudios completamente rígido.
- Carga docente semanal muy alta.

En el curso 1982-1983 se modifican nuevamente estos planes de estudio, que asumen nuevos rasgos y que en determinada medida superan lo ya hecho. No obstante, si se juzgan los especialistas que culminaron sus estudios en esos años se deben señalar como deficiencias fundamentales:

- Poca capacidad para trabajar con independencia, así como falta de gestión individual.
- Pobre manejo de una lengua extranjera.
- Incompleta formación cultural.
- Escaso dominio de la literatura básica de la profesión.
- Omisión del análisis económico para la toma de decisiones.

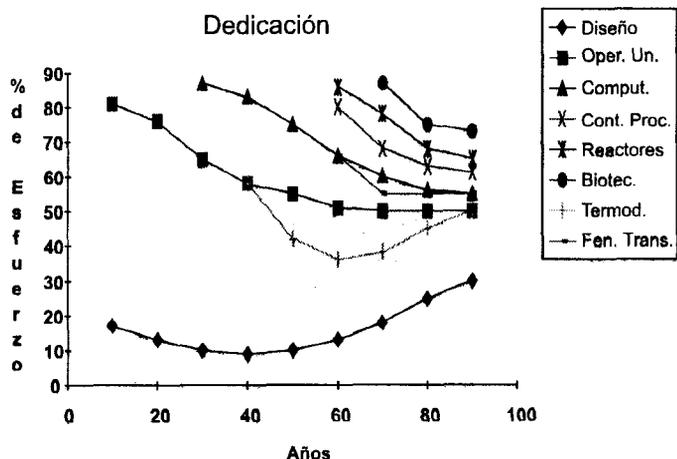


Figura 1.

- Ausencia de visión integral sobre fenómenos y procesos.
- Insuficiente manejo de las técnicas de computación.
- Débil conocimiento sobre teoría de la dirección de la economía.
- Limitada cultura técnica (normas, equipos, materiales, reglas aproximadas, efecto de variables en el comportamiento de operaciones).
- Insuficientes conocimientos de protección en general.
- Falta de hábito para educarse por sí mismo.

De lo anterior se desprende la necesidad de abordar ante una nueva situación una nueva solución.

**Paradigma actual**

El mundo vive inmerso en la tercera ola, llamada por muchos la era de la información y las comunicaciones.

No se sabe hasta cuando, pero se conoce que ahora todo el desarrollo se encuentra en torno a una diminuta pastilla de circuitos integrados. El "chip" pasó de lo desconocido a la cima del intelecto y se ha extendido su influencia hacia otros terrenos. La computadora es un instrumento de trabajo personal. Hay firmas que desarrollan *software*, nuevos materiales se precisan para tareas más complejas, la cooperación internacional es soluble en minutos. Todo hace al ingeniero un ser con cualidades insospechadas 10 años atrás.

Fray Gregorio Mendel dio inicio a la ciencia de la genética. La obtención de nuevas cualidades o variedades llevaba años de esfuerzo y tesón. La biotecnología actual permite lograr en días lo que precisaba desvelos infinitos y por un simple cambio de un gen en un microorganismo ahora es posible lograr comportamientos increíbles, por ejemplo, producción de combustibles alcohólicos a partir de bacterias.

Para estos nuevos campos de desarrollo de la actividad humana se precisan sustancias ultrapuras, materiales con características muy particulares. La industria química precisa requerimientos de calidad de alta especificidad. Se impone la química fina.

Las empresas pequeñas vuelven a tener vigencia. El alto precio de productos biológicos, de la alta pureza, de los nuevos materiales, justifica y hace factible económicamente producciones a niveles de miligramos. Hay, por tanto, una nueva valoración de la cooperación, se transfieren tecnologías, se intercambian informaciones de país a país, de empresa a empresa de individuo a individuo.

Los controles de calidad son cada vez más rigurosos y se requiere su totalización. Es la era del entrenamiento del personal, de la alta capacidad de adaptación y de la versatilidad del hombre, la fábrica y el equipo que controla.

Las empresas dedican fondos considerables a la investigación y al desarrollo. Proliferan los departamentos de diseño, desarrollo o ingeniería de procesos. La ciencia es cada vez más una fuerza productiva directa.

El intercambio comercial es a cada momento la actividad rectora de las tareas sociales; por ello, todo el personal debe tener en mente continuamente la traducción al plano económico de las acciones teórico productivas que acomete. El ingeniero debe dominar aspectos como mercadeo, costos, valores, etcétera. Para ello es preciso comunicar, dirigir y convencer, debe haber un nuevo tratamiento al factor humano.

En resumen, se precisa una nueva visión de la fábrica, ahora como laboratorio de trabajo.

En la proyección de la Ingeniería Química es necesario tener en cuenta que los descubrimientos científicos de mayor relevancia durante los últimos años se encuentran en campos limítrofes a la especialidad. Tal es el caso de la biología, la genética, la física, la matemática, la computación y la electrónica.

Ello hace que los esfuerzos de los especialistas se dirijan a campos diferentes en el transcurrir del tiempo (Levenspiel, 1980) lo que se resume en la figura 1.

Los retos biotecnológicos se han elevado a alturas insospechadas. Tomemos en cuenta sus aplicaciones fundamentales (Humphrey, 1984) hasta el año 1984, muchos de los cuales se mantienen vigentes hoy día.

Ha existido un dramático desarrollo en la habilidad para identificar, sintetizar y manipular material genético, que ha alcanzado niveles sin precedentes en el interés industrial acerca de los usos de las células vivientes. En sólo diez años se avanzó desde la donación del primer gen en 1973 hasta la creación de la primera planta de expresión de genes en ADN recombinante.

Como resultado de este desarrollo, la comunidad cien-

tífica ha comenzado a reconocer el vasto potencial de la conducción de células a través del intercambio genético hacia la producción de nuevas sustancias en una amplia variedad de áreas en las que se incluyen la agricultura, la bioelectrónica, los productos químicos, la energía, el medio ambiente, los alimentos y medicamentos. En este último renglón se incluye la producción de proteínas valiosas tales como insulina, interferón, seroalbúmina humana, hormonas de crecimiento humanas, péptidos neuroactivos, enzimas trombolíticas y fibrinolíticas, reguladores virales, bacterianas y parasitarias, y por último, anticuerpos monoclonales para curación y diagnóstico.

Es necesario también tomar en cuenta la tecnología computacional. Una de las más altas expresiones de desarrollo en este campo lo constituyen los sistemas de redes neurales, en los que la inteligencia artificial y la programación orientada a objetos tienen un peso fundamental (Elrod y Maggiora, 1993). Estas redes son un nuevo paradigma computacional, inspirado por las altamente interconectadas redes de neuronas cerebrales.

Según los registros existentes en los Resúmenes Químicos de la Sociedad Americana entre los años 1967 y 1993 se encontró un fondo, indudablemente incompleto, de 754 artículos relacionados con el tema, los que agrupados según su campo de aplicación en las ciencias químicas se recogen en la tabla 1.

Obsérvese como el más amplio grupo de aplicaciones de las redes neurales en la química se encuentran en el área de la ingeniería y los controles de procesos, donde aparecen 173 artículos. Los ingenieros que trabajan en procesos tanto químicos como bioquímicos, acostumbran describir y comprender aquellos procesos no lineales en términos de modelos matemáticos. En los propios registros se acusa el recibo de trabajos del uso de las redes neurales para

la modelación de procesos, diagnóstico de fallas, estimación de variables y controles automatizados. Se han usado también en la caracterización de biorreactores de fermentación de difíciles mediciones a través de los métodos convencionales.

### La respuesta cubana

En atención a todos estos factores la formación del ingeniero químico en Cuba debió variar para dar solución al nuevo momento que se vive, en medio del estallido de la Revolución Científico Técnica a nivel mundial. Ello originó un nuevo plan de estudios (MES, 1990) sobre la base de los siguientes lineamientos de trabajo:

- Utilizar desde los primeros años y en todas las disciplinas con condiciones para ello, el empleo de los conocimientos de idioma inglés, economía, uso y generación de la información científico-técnica, computación y otros.
- Incrementar el desarrollo de actividades que propicien una visión integral de procesos y fenómenos tal y como se presentan en la realidad.
- Desarrollar capacidad para educarse por sí mismos a través de trabajos que exijan contenidos no impartidos en clases.
- Reducir la carga docente convencional para elevar el trabajo independiente.
- Equilibrar los contenidos de las asignaturas para garantizar el dominio de habilidades definidas como objetivos.
- Incrementar la cultura técnica con el empleo desde los primeros años de normas, conocimientos de métodos y sistemas de protección, descripción de equipos y procesos, manejos de tablas, etcétera.
- Fortalecer las posibilidades de expresión oral y escrita con el uso de informes en ambas modalidades desde los primeros años.
- Utilizar el razonamiento y la repetición como método para dominar toda habilidad priorizada.
- Garantizar una base científica amplia y sólida para entender los fenómenos más comunes en el ámbito de la profesión.
- Hacer énfasis, en las asignaturas de aplicación, en el empleo de los principios básicos y métodos de trabajo, con vistas a desarrollar en el estudiante la capacidad para generar ante el análisis de situaciones nuevas.
- Desarrollar una ética profesional consciente, mediante el análisis de situaciones propias de la profesión y sus implicaciones sociales, económicas y legales, destacando su responsabilidad ante las mismas.

Llevar a cabo estos criterios o lineamientos se tradujo en modificaciones esenciales en la estructura del Plan y el

Tabla 1. Categorías de aplicación de las redes neurales en las Ciencias Químicas.

Categoría de aplicación	Número de artículos
Estudios teóricos y misceláneos	107
Ingeniería Química y Control de Procesos	173
Química Analítica	139
Estructura de proteínas y polímeros	52
Informática biomolecular	35
Reconocimiento de patrones	54
Correlaciones estructura-espectro	67
Predicción de propiedades y parámetros	26
Reacciones químicas	1
Química y energética nuclear	90

contenido y carácter de la enseñanza.

El nuevo plan posibilita el logro de un profesional de perfil amplio, con versatilidad suficiente para asumir responsabilidades en diferentes perfiles de la profesión. Existe la necesaria flexibilidad para perfeccionar de modo permanente, sin necesidad de hacer planes nuevos, lo ya estatuido. En el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE, centro que nutre el Polo Científico del Oeste de La Habana), se han introducido contenidos que permiten dar respuesta a los requerimientos de nuestra industria biotecnológica de más desarrollo.

Las disciplinas de carácter esencialmente integrador posibilitan el análisis de situaciones reales sin reducirlas a los patrones de interés de las disciplinas convencionales. La Ingeniería de Procesos es el núcleo central de la enseñanza de la profesión y su carácter es el que cumple este requerimiento. La fragmentación de la realidad, que por razones didácticas se introduce en el estudio de los fenómenos, debe ir acompañada de un proceso de integración en el que el cuerpo de conocimientos se aplique a tareas propias del ejercicio de la profesión. Éste es el objetivo principal de esta disciplina.

En relación con los contenidos resulta de suma importancia retener como fijos los más básicos y propiciar a través de una fuerte carga de trabajo independiente la extensión de los mismos por medio del estudio de situaciones de igual naturaleza, pero con características diferentes.

Se mantienen en el plan disciplinas asociadas directamente a las condiciones que impone el nuevo paradigma, destacando:

- *Ingeniería de los materiales*: Se presentan los conocimientos relativos a los materiales desde su estructura hasta la utilización de los mismos en diferentes equipos y sistemas de trabajo, desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas como de su resistencia a la corrosión.
- *Fundamentos de Automatización*: Nociones de electrotecnia, electrónica, instrumentos de medición y controles para procesos.
- *Análisis de Procesos*: Estudio y empleo de las técnicas de computación combinando métodos numéricos y estadísticos, así como la simulación y modelación matemática de los fenómenos y su optimización.
- *Operaciones Unitarias*: Además de los contenidos tradicionales, se incluyen los fundamentos necesarios para el cálculo y análisis de la operación de reactores químicos y bioquímicos. Toma en consideración también elementos de tratamiento de agua y residuales que contribuyen al enfoque sistémico en torno a la protección del hábitat humano.
- *Fundamentos Químicos y Biológicos*: Se introducen la Bioquí-

mica y la Microbiología para completar los fundamentos básicos en torno a los posibles perfiles ocupacionales del egresado.

- *Ciencias Sociales*: La modificación sufrida por esta disciplina permite acercar al ingeniero a su medio técnico, económico y social, lo ubica en el paradigma de su época, y busca en el estudiante dar sentido a su vida profesional en el marco de la opción socialista de desarrollo del Estado.

Se aborda un modelo de profesional de nuevo tipo capaz de responder al presente y al porvenir considerando las actuales y perspectivas líneas de desarrollo de la industria química en el país y en el mundo, fomentando en el nuevo egresado la capacidad de lograr mediante autosuperación e independencia la posibilidad de adaptarse a las condiciones de la tercera ola.

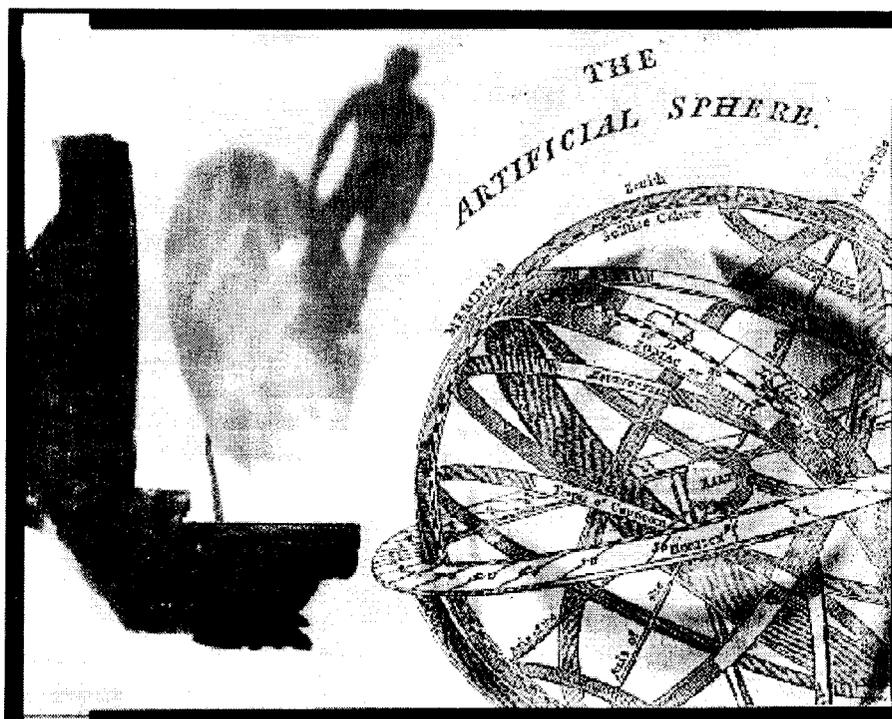
Los criterios estudiantiles acerca de este plan (Ameneiros y Cruz, 1993) consideran positivo:

- El uso de bibliografía en idioma extranjero.
- El alto trabajo independiente que se les exige.
- El conocimiento amplio de la Ingeniería Química y no circunscrito a perfiles estrechos desde el primer año de la carrera.
- La presencia de la disciplina Ingeniería de Procesos como vehículo para sistematizar e integrar habilidades recibidas fragmentariamente.
- Amplitud del vínculo docencia-producción-investigación.

### Conclusiones

Los autores opinan que el nuevo plan de estudios es perfectible, considerando que es una respuesta digna al paradigma técnico-económico que deben enfrentar los egresados dentro y fuera del país. Basados en esto, parece pertinente señalar como conclusiones:

- El desarrollo histórico de la ingeniería química refleja consistentemente la relación profesión-paradigma.
- El mundo de hoy está marcado por características muy particulares que delimitan un nuevo modelo de comportamiento humano.
- El devenir de la especialidad en el país está estrechamente ligado al reflejo de nuestra realidad social, económica y política.
- El plan de estudios actualmente vigente es capaz de crear las posibilidades necesarias para formar un ingeniero químico versátil y adaptable a su paradigma tecnoeconómico, con sus modificaciones futuras.



La principal limitante se encuentra en ocasiones dentro del individuo. Ser creativo, moverse en torno a los límites, se traduce en correr riesgos. Asumir estos riesgos es vivir y por tanto esa profesión establece ese reto. Comprender el paradigma técnico-económico actual es necesario no sólo para enmarcarse entre sus rejas sino también para abrir las puertas que conducirán al próximo.

### Referencias

- Ameneiros, J., Cruz L., *Nuevo plan de estudios de Ingeniería Química: valoración estudiantil*, Conferencia Nacional de la UNAIACC, Curbelo, La Habana, Marzo, 1993.
- Curbelo, T., Comunicación personal, ISPJAE, junio, 1994.
- Delgass, W.N., Peppas, N., "Purdue University seventy five years of Chemical Engineering", *Chem. Eng. Ed.*, **20**, 60-65 (1986).
- Deming, H., *Química General*, UTEHA, México, 1957.
- Díaz, R., Zumalacárregui, L., *Algunas consideraciones para el perfeccionamiento de los planes de estudio de las especialidades del perfil químico*, MES, Ciudad de La Habana, octubre, 1986.
- Elrod, D. and Maggiora, G., "Neural networks: a new computational paradigm with applications in chemistry", *Proceedings of the Montreaux 1993 International Chemical Information Conference*, p. 138-162, Annecy, Francia, 1993.
- Freeman, C., *El reto de la innovación: la experiencia de Japón*, Editorial Galac, Caracas, Venezuela, 1992.
- Fuller, H.L., "Chemical Engineers: Agent of change in a changing world", *Chem. Eng. Progress*, **82** [2] 9-12 (1986).
- Hanesian, D., "International cooperation in Chemical Engineering education between capitalistic and socialistic countries", *III World Congress of Chemical Engineering*, Japón, septiembre, 1986.
- Hartley, H., *Chemical Engineering around the world*, AICHE, p. 483, New York, 1958.
- Hougen, O., "Seven decades of Chemical Engineering", *Chem. Eng. Progress*, **73** [1] 89-104 (1977).
- Humphrey, A., *Comercializing biotechnology: Challenge to the Chemical Engineer*, CEP, p. 7-12, diciembre, 1984.
- Levenspiel, O., "The Coming-on-age of Chemical Reaction Engineering", *Chem. Eng. Science*, **35**, 1821-1839 (1980).
- MES, *Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería Química*, Comisión Nacional de Carrera, Ciudad de La Habana, enero, 1990.
- Polinszky, K., "Etapas de la formación universitaria de los químicos", *Educación Superior Contemporánea* **3**, 97-108 (1978).
- Tello, S., "Ingeniero ¡uy qué miedo!", *Revista Cambio (Madrid)*, [1174] 42-44 (1994). ■