

# Retos de la ingeniería industrial en el desarrollo de procesos

Oscar Fernando Castellanos\*  
Julio César Ramírez\*\*  
María Angélica Rueda\*\*

## RESUMEN

En las diferentes especialidades de la ingeniería, tales como: ambiental, química, sanitaria, mecánica, de alimentos, etc., ha estado presente el diseño de procesos. En la actualidad, la ingeniería de procesos ha tenido que complementarse con conceptos aparentemente ajenos a su visión tradicional, donde se consideraba principalmente la productividad, el rendimiento y la rentabilidad, entre otros; es decir, eran muy importantes los objetivos de la empresa. Sin embargo, con el surgimiento de nuevas tecnologías, como las telecomunicaciones, la ingeniería de nuevos materiales, la biotecnología, entre otras, se hace indispensable considerar enfoques novedosos en el diseño de procesos, tales como reingeniería, ingeniería inversa e ingeniería concurrente, los cuales están llamados a complementar el enfoque tradicional. Adicionalmente, las exigencias de un mercado fuertemente cambiante por las megatendencias de la globalización, la alta competitividad y la normatividad en cuanto al impacto social y ambiental principalmente (ejemplo: BPM - Buenas Prácticas de Manufactura, Normas ISO), plantean nuevos retos en el diseño de los procesos.

## INTRODUCCIÓN

**E**l proceso es un sistema conformado por elementos (equipos) y sus relaciones físicas controlantes, que interactúa sobre el medio externo recibiendo de él impulsos en forma de materias primas y energía, devolviendo productos útiles. Por otra parte, la ingeniería de procesos ha sido definida como aquella que tiene la responsabilidad de crear sistemas de procesamiento de la materia que en forma económica segura y sin alteración perjudicial del ambiente, transforme materias primas, energía y conocimientos en productos de utilidad. Su labor se centra en el análisis y la síntesis de procesos, para lo cual desarrolla labores de descomposición, modelación y simulación (análisis), optimización y control (síntesis), según se trate de uno ya creado o de su gestación<sup>1</sup>.

Teniendo en cuenta la definición anterior, se puede decir que la ingeniería de procesos está directamente implicada en la mayoría de las actividades productivas, y que ha tenido un desarrollo paralelo a las tendencias del mercado. Por ejemplo, en un comienzo su principal preocupación era la obtención de un producto o servicio, sin prestar mucha atención a otros factores ajenos a la etapa básica de producción. Hace ya algún tiempo esta tendencia ha cambiado, encaminándose a la satisfacción de las necesidades del cliente, esto es, cumplir –y algunas veces superar– las expectativas que tenga hacia un producto. Su interés actual apunta hacia la búsqueda de un beneficio social, en el cual se intenta que la etapa productiva tenga un desempeño armónico con el ambiente que la rodea.

En los últimos años, en la ingeniería de procesos ha sido necesario incluir factores que se creían independientes y ajenos a ella, como la relación

\* Docente, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: ocasta@ing.unal.edu.co

\*\* Ingenieros químicos, Universidad Nacional de Colombia.

1 Alfonso Conde, "La ingeniería de procesos químicos: una visión alternativa", *Revista Ingeniería e Investigación*, No. 33, Bogotá, 1996.

que existe entre la industria, la sociedad y el hombre. Por lo anterior, actualmente se considera como meta principal de un sistema productivo la satisfacción del consumidor, para lo cual se han introducido conceptos como el de calidad total y las buenas prácticas de manufactura; incluso se han generado normas internacionales que garanticen una calidad mínima aceptada a nivel mundial como las ISO. Sin embargo, el cliente como único objetivo ha comenzado a perder fuerza frente a la necesidad de un beneficio integral, que incluye a la sociedad, a los trabajadores de la empresa y, en general, a todo lo relacionado con el entorno, lo que quiere decir que no es suficiente fabricar un producto de calidad, sino que es indispensable que en su elaboración, consumo y eliminación no se afecte el medio ambiente. Esta tendencia ha dado origen al surgimiento de conceptos como desarrollo sostenible, producción limpia, cero emisiones, etc., que están empezando a cambiar la forma de pensar del consumidor al momento de elegir un artículo. Por ejemplo, en Europa la aparición de certificaciones como los Sellos verdes en productos agrícolas principalmente, como garantía de no haber sido tratados con sustancias químicas, ha hecho que se prefieran frente a otros, a pesar de tener un valor comercial superior. Así, además de su beneficio ecológico, se está respaldando en una nueva forma de generar valor agregado.

La ingeniería de procesos no es estática; por el contrario, evoluciona e interactúa con diferentes áreas del conocimiento relacionadas con la industria (administración, economía, ingeniería química, ingeniería ambiental, ingeniería industrial, biotecnología etc.), de las que se enriquece y a la vez complementa. El presente artículo analiza el enfoque tradicional en el diseño de procesos, así como las nuevas alternativas desarrolladas para este fin. Adicionalmente, haciendo énfasis en la necesidad de nuevas tecnologías en este campo, se describen algunas de las exigencias que actualmente deben cumplir los procesos para ser competitivos.

## MÉTODOS TRADICIONALES PARA EL DISEÑO DE PROCESOS

Algunos de los métodos que se exponen a continuación, considerados como tradicionales, han sido la base principal para efectuar el diseño de los sistemas pro-

ductivos. Por ejemplo, el concepto de operaciones unitarias tiene cerca de un siglo de haber sido desarrollado; a pesar de ello, su empleo es frecuente y de gran utilidad cuando el ingeniero se ve abocado a aplicar la ingeniería de procesos para el mejoramiento y desarrollo de procesos.

### Procesos y operaciones unitarias

Este método es conveniente para diseñar y analizar sistemas productivos en ingeniería, y está basado en dos premisas. La primera propone que aunque el número de procesos individuales pueda ser muy grande, cada uno de ellos puede dividirse en una serie de etapas, denominadas operaciones, que se repiten a lo largo de distintos procesos; la segunda, asume que las operaciones individuales poseen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos<sup>2</sup>.

La formalización del concepto de operaciones unitarias como disciplina de la ingeniería de procesos permitió dar un gran paso en la productividad de la industria al estimular la formación de expertos dedicados a optimizar cada operación, mediante el estudio a fondo de sus mecanismos, de las variables de las cuales depende y de los mejores equipos para llevarla a cabo. La interacción de los científicos, concedores de los productos, metabolitos, reacciones, sistemas, etc., con los ingenieros, concedores de cada operación unitaria y su tecnología, ha permitido optimizar procesos, aumentar la capacidad de producción, disminuir los costos y mejorar la confiabilidad de los equipos, así como normatizar las características de los sistemas productivos, mejorar y encontrar nuevos materiales de construcción, estandarizar la seguridad en los procesos y avanzar hacia más y mejores opciones tecnológicas.

La utilidad de la teoría de operaciones unitarias encuentra una grave limitante: conduce al ingeniero que está transfiriendo tecnología a pensar sólo en las operaciones utilizadas en el proceso original. Así, por ejemplo, en la transferencia de un proceso con etapas conocidas y estudiadas, su escalado a un nivel inferior de volumen (*scale down*) siguiendo el método de las operaciones unitarias tendrá las mismas etapas involucradas en el diseño anterior, y la única diferencia se podría

2 Warren McCabe, *Operaciones unitarias en ingeniería química*, 4a. ed., McGraw-Hill, 1991.

hallar en el tamaño del equipo. Es poco probable que siguiendo esta metodología de transferencia, el ingeniero de procesos decida cambiar radicalmente las etapas involucradas en la producción o tan sólo la manera en que se lleva a cabo la reacción<sup>3</sup>.

### Módulos básicos

La limitación de los procesos y operaciones unitarias mencionada anteriormente, dio lugar a la concepción de la metodología de módulos básicos, que permite al ingeniero de procesos hacer transferencia y adaptación de tecnología usando un nivel de abstracción mayor que el de la teoría de operaciones unitarias, lo que a su vez abre las puertas a una mayor creatividad, recurriendo a ideas de distintas fuentes o aun a ideas originales, que permitan simultáneamente asegurar la confiabilidad del proceso. La metodología de módulos básicos pretende dividir el proceso en estructuras amplias que contengan muchas operaciones de transformación en su interior, con lo cual se tiene una visión global del proceso y no se centra la atención en pequeños problemas de escalado.

La metodología de módulos básicos tiene las siguientes características: proporciona un punto de partida para el diseño del proceso y de la planta, haciendo énfasis en las condiciones particulares de cada componente del sistema productivo y retoma su concepción global; además, permite ir definiendo las posibles opciones para analizar los procesos con miras a resolver problemas de manera apropiada a los recursos y necesidades.

### Síntesis y análisis de procesos

La síntesis significa combinar las partes o elementos de un objeto (proceso) en un conjunto complejo, mientras que el análisis significa separar el conjunto en sus elementos constitutivos. En el diseño de procesos, estas actividades están totalmente interrelacionadas y continuamente en progreso<sup>4</sup>. Durante los últimos años, en el área de síntesis de procesos se han efectuado avances que han conducido al desarrollo de una gama considerable de herramientas y técnicas de diseño, que permiten la generación y evaluación de las alternativas más prometedoras para la configuración de un proceso. Si bien estas técnicas de síntesis y análisis no sustituyen la experiencia de un buen ingeniero, sí hacen mucho más fácil y sencilla la adquisición de dicha experiencia.

**1. Síntesis sistemática de procesos.** Cuando un ingeniero se enfrenta al problema de desarrollar un nuevo proceso, a menudo debe jerarquizar las distintas fases del diseño, es decir, ciertos elementos deben ser diseñados antes que otros<sup>5</sup>, e interpretar cada etapa del sistema productivo como componente de un todo. Cuando a finales del siglo XIX surgió en la ingeniería la noción de sistema, ésta fue relacionada inicialmente con la sistematización, la cual no incluía aspectos trascendentales. El término de sistema se usaba comúnmente para referirse a cualquier método de ordenar ideas, prácticas o procesos en ingeniería<sup>6</sup>. Más tarde, el sistema fue interpretado más ampliamente, con aportes de diferentes disciplinas. Es así como a mediados del siglo XX Bertalanffy desde la biología y Boulding desde la administración mostraron cómo la teoría general de sistemas no sólo es el esqueleto moderno de las ciencias, sino también una base para el entendimiento y la integración de los diferentes campos del conocimiento. Los procesos entendidos como sistemas abiertos deben involucrar las interacciones con el entorno. El enfoque sistémico actualmente interpreta la importancia del todo como el resultante de la sumatoria de sus componentes y las relaciones surgidas entre ellos, que origina la sinergia. Lo sistémico en producción involucra no sólo los aspectos técnicos, sino los organizacionales y sociales de la empresa, los cuales han de ser tenidos en cuenta por el ingeniero en el momento de hacer diseño de procesos.

**2. Descomposición de problemas - Análisis morfológico.** Consiste básicamente en la subdivisión de un problema grande y complejo en un número relativamente pequeño de problemas simples que pueden ser resueltos directamente con la tecnología disponible o bien pueden ser a su vez subdivididos en forma recurrente utilizando la misma técnica en problemas más simples cuya solución se conozca. Uno de los métodos más eficaces dentro de esta categoría

3 J. Giral, F. Barnes y A. Ramírez, *Manual para el diseño de procesos químicos apropiados para países en desarrollo*, Universidad Nacional Autónoma de México, 1977.

4 Atila Ertas y Jesse Jones, *The Engineering Design Process*, Singapur, John Wiley de Sons, 1993.

5 J. Giral, *op. cit.*

6 Yehouda Shenhav, "Del caos a los sistemas: los fundamentos de ingeniería en la teoría de la organización", *Innovar*, No. 9, 1997.

es el análisis morfológico, técnica desarrollada para el estudio sistemático de las posibles alternativas que ofrece la estructura y la forma de un mecanismo o de un proceso dado. Posteriormente este método ha sido utilizado para el estudio y desarrollo de procesos, teniendo en cuenta las particularidades de cada uno de sus componentes<sup>7</sup>.

**3. Diseño heurístico.** Este concepto es usado para describir lo que podría llamarse sentido común o mínimos costos de modelado físico. La palabra heurístico significa descubrir o aprender y, por implicación, envuelve la comprensión del problema total. Esta interpretación implica que se hace énfasis en el valor de lo sencillo, en modelos no costosos que ayudan a entender el tamaño relativo y en la función de los elementos individuales en un proceso<sup>8</sup>. El diseño heurístico es un método que se basa en el análisis de las alternativas desarrolladas en experiencias anteriores para situaciones similares y que permite la deducción de una serie de observaciones y reglas empíricas o construidas a partir del proceso mismo de diseñar que, de ser seguidas, conducirán a la selección de la mejor alternativa en todos o en la mayoría de los casos. Dichas reglas son empleadas durante la toma de decisiones cuando se enfrenta una nueva situación, suponiendo, aunque sin demostrarlo, que las reglas siguen siendo válidas en las nuevas condiciones de diseño. De esta forma puede eliminarse, sin necesidad de ser evaluada, una gran cantidad de posibles alternativas, aunque nunca se tiene la certeza de que entre ellas no se encuentre alguna que pudiera resultar más ventajosa según las nuevas condiciones de diseño<sup>9</sup>. El uso de reglas heurísticas se encuentra muy extendido en el diseño de equipo. Reglas heurísticas muy conocidas son las que se han seguido al diseñar una columna de destilación con un reflujo entre 1.2 y 1.5 veces el reflujo mínimo, o en el diseño de un fermentador agitado en el cual se acostumbra que la relación Altura/Diámetro sea de 2.5. A pesar de conocerse excepciones que van claramente en contra de dichos criterios, es indiscutible que estas reglas siguen siendo útiles y ahorrarán una gran cantidad de esfuerzo y dinero, sobre todo en las etapas del diseño de un proceso, donde resultaría incosteable optimizar la condición de diseño de cada una de las alternativas consideradas.

**4. Diseño evolutivo.** Esta técnica tiene como meta la adquisición sistemática de la experiencia que permita proponer modificaciones al diseño base de un proceso,

tendientes a mejorar la economía de implementación a escala comercial de cada una de las etapas intermedias. El diseño evolutivo consiste en generar, empíricamente o a través de cualquiera de los otros métodos sistemáticos de diseño, una configuración base, de preferencia la más simple que sea posible, que satisfaga las restricciones impuestas al proceso y las especificaciones deseadas de los productos. Esta configuración es evaluada técnica y económicamente para determinar cuáles son los elementos que más contribuyen al costo del proceso o que pueden ser fuente de problemas serios durante la puesta en marcha y la operación. Una vez identificados dichos elementos, se procede a seleccionar una modificación al proceso base que tienda a reducir la función objetivo seleccionada (costo global, confiabilidad, etc.) y se evalúa esta nueva configuración. Si la modificación no tuvo éxito y la función objetivo no mejora, se rechaza la modificación introducida y se selecciona otra, incorporándola al mismo proceso base. En cambio, si la modificación tuvo éxito, la nueva configuración se convierte en parte del proceso base y se repite el mismo procedimiento en forma iterativa hasta que no sea posible encontrar una modificación a la última configuración propuesta que logre mejorar la función objetivo seleccionada. Esto implica procesos adecuados de transferencia de tecnología y su asimilación.

**5. Diseño algorítmico.** Los métodos agrupados bajo esta clasificación están basados en algoritmos matemáticos que permiten generar en forma exhaustiva todas las posibles alternativas y evaluarlas, explícita o implícitamente, para determinar cuál es la más económica de acuerdo con la función objetivo previamente establecida. Estos métodos tienen la ventaja de poder garantizar que la configuración del proceso seleccionado será la óptima, pero están limitados a la resolución de un número reducido de problemas cuyas posibles alternativas de configuración están perfectamente definidas y, por tanto, no se prestan fácilmente para el estudio de problemas abiertos. En algunos casos es posible restringir, mediante reglas heurísticas, las posibles alternativas de un problema abierto permitiendo la aplicación de alguno de estos

7 Karl Ulrich y Steven Eppinger, *Product Design and Development*, USA, McGraw-Hill, 1995.

8 Attila Ertas y Jesse Jones, *op. cit.*

9 J. Giral *et al.*, *op. cit.*

métodos. Las herramientas matemáticas que se emplean más frecuentemente son: la programación dinámica, la programación no lineal, la descomposición de grandes problemas y la teoría de redes.

La aplicación de estos métodos tradicionales debe estar enriquecida con diferentes opciones que le brinden otras disciplinas, por ejemplo, la ingeniería de sistemas, la administración, la economía, la ingeniería ambiental; esto permite lograr que se complemente y mejore el producto final del diseño, haciéndolo moderno, versátil para adaptarse a nuevas demandas en el mercado, criterios de calidad, regulaciones internacionales, etc.

## ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE PROCESOS

Adicional a las formas que ya se han mencionado para el diseño de un proceso, el ingeniero cuenta en la actualidad con diferentes herramientas, las cuales han surgido para dar solución a problemas de producción, optimización, competitividad, contaminación ambiental, entre otras. La aplicación de estas herramientas no se reduce a procesos nuevos, sino que también se pueden emplear en algunos ya existentes. El conocimiento y manejo de estas técnicas se hacen indispensables en la industria actual, y por consiguiente en la formación de un profesional en ingeniería. Por tal motivo se presentan a continuación algunas de las que se han considerado como las técnicas más importantes que se pueden aplicar al desarrollo y mejoramiento de procesos.

### Reingeniería de los procesos

El concepto de reingeniería ha estado presente desde hace cerca de dos décadas, y se llevó a cabo en diferentes empresas, principalmente transnacionales, a nivel organizacional. La reingeniería implica el repensar o reestructurar desde las bases los procesos. Aunque en las industrias se realizaron mejoras significativas durante la década de los ochenta, la búsqueda de la excelencia no siempre se tradujo en resultados superiores y sostenibles. La importancia que tiene la reingeniería en el diseño y desarrollo radica en la posibilidad de efectuar análisis en procesos conocidos (mediante el uso, por ejemplo, de diagramas de flujo de las actividades que realiza cada trabajador), que permitan proponer cambios en las actividades, los tiempos y las funciones

de cada una de las etapas de producción, garantizando un diseño ajustado a las necesidades reales de la empresa, con indicadores de productividad altos, menores tiempos y mayores rentabilidades.

La reingeniería de procesos generalmente conlleva a su rediseño radical, para alcanzar mejoras considerables en puntos críticos tales como costos, calidad, servicio y rapidez. La característica más común y básica de los procesos rediseñados es que desaparece el trabajo en serie. Es decir, muchas tareas que antes eran distintas se integran y comprimen en una sola. Sin embargo, no siempre es posible comprimir todos los pasos de un proceso en un oficio único ejecutado por una sola persona. En otros casos, puede no resultar práctico enseñarle a una sola persona todas las destrezas que necesitaría para ejecutar la totalidad del proceso<sup>10</sup>. Antes de iniciar la reingeniería de un proceso, el equipo de proyecto debe

TABLA 1. Tareas de la etapa de diseño para aplicar el proceso de reingeniería.

Tareas	Objetivos
Modelar las relaciones entre elementos	Puesto que los elementos (equipos) se relacionan con un proceso, los aspectos técnicos del proceso comprenden información sobre los equipos.
Reexaminar conexiones de los procesos	Identifica la relación entre actividades, de actividades entre procesos, o la redistribución de la responsabilidad de los pasos que pueden mejorar el rendimiento.
Instrumentar e informar	Consiste en instalar los instrumentos necesarios para medir las variables de rendimiento del proceso y disponer de la información en forma útil.
Consolidar información	Identifica y elimina duplicación de corrientes de información.
Redefinir alternativas	Busca reemplazar un solo proceso complejo por uno o más procesos simples.
Reubicar y reprogramar controles	Pretende reducir el número de actividades que no agregan valor en el proceso, simplificando la estructura del control de éste, y organizando en paralelo actividades que en la actualidad se ejecutan en serie. Obviamente, esto aumentaría la rapidez del proceso.
Modular	El propósito de esta tarea es definir las partes del proceso rediseñado que se pueden implantar independientemente; permite que el proceso sea distributivo en el espacio o en el tiempo.
Especificar implantación	Esta tarea utiliza módulos definidos en la tarea anterior para evaluar alternativas estructurales y de implementación, analizando la más adecuada para cada módulo en el espacio, el tiempo y la organización.
Aplicar tecnología	La tecnología es uno de los capacitadores de la reingeniería de procesos (los otros son información y potencial humano).
Planificar implementación	Desarrolla planes preliminares para implementar los aspectos técnicos del proceso rediseñado, incluso desarrollo, adquisiciones, instalaciones, prueba, conversión e implementación.

10 Michael Hammer y James Champy, *Reingeniería: olvide lo que usted sabe sobre cómo debe funcionar una empresa – casi todo está errado*, Barcelona: Editorial Norma, 1996.

tener una visión del nuevo proceso. Debe ser comprensible a todos los niveles de la organización, estar claramente vinculado con sus metas e incluir tanto el aspecto técnico como social de la forma como se va a realizar el trabajo. Debe declarar las metas de rendimiento para el nuevo proceso y demostrar que ellas representan un avance definitivo. La etapa de diseño técnico en la aplicación de la reingeniería consta de las tareas mostradas en la tabla 1<sup>11</sup>.

## Ingeniería inversa

¿Cómo hacen los ingenieros para duplicar un producto existente para el cual no existe conocimiento del proceso de desarrollo? Utilizando la ingeniería inversa, generando procesos a partir de la parte física del producto que se necesita fabricar; éste es un procedimiento relativamente antiguo. En muchas situaciones hace que el producto se simplifique, abarate y mejore o extienda su vida útil. La cantidad de artículos a los cuales les ha sido aplicada la ingeniería inversa van de los simples hasta un avión B-29 de la fuerza aérea norteamericana que fue capturado por la URSS en la década de los cuarenta y duplicado por sus ingenieros aeronáuticos<sup>12</sup>. Este tipo de ingeniería consiste en analizar un producto final existente para identificar sus componentes, sus interrelaciones y crear representaciones del sistema de producción y sus respectivos procesos en otra forma o a un nivel más alto de abstracción. Las técnicas de ingeniería inversa son un conjunto de tecnologías y herramientas, que permiten obtener diseños óptimos empezando desde la especificación del producto, buscando reducir tiempo de diseño y la optimización del producto final<sup>13</sup>. Puede emprenderse para rediseñar un proceso o para obtener una copia del producto sin tener acceso al diseño original.

## Ingeniería concurrente

Se define como un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de sus correspondientes procesos de fabricación y de servicio. Esta forma de realizar ingeniería de procesos pretende que los desarrolladores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, partiendo del diseño conceptual hasta su disponibilidad en el mercado, incluyendo calidad, costo y necesidades de los usuarios. Así, la ingeniería concurrente persigue un estudio holístico y simultáneo, en el momento del

desarrollo del producto, de las necesidades de mercado que va a cubrir, de los requisitos de calidad y los costos óptimos, de los medios y los métodos de fabricación, de la venta y el servicio necesarios para garantizar la satisfacción del cliente en todo el ciclo de vida del producto. Precisa del trabajo coordinado y simultáneo de los diversos departamentos de la empresa: Marketing, Ingeniería del Producto, Ingeniería del Proceso, Producción, Calidad, Ventas, Mantenimiento, Costos, etc.

La ingeniería concurrente sustituye el clásico entorno de trabajo en el desarrollo y fabricación del producto, basado en un diagrama secuencial de actuación de los distintos departamentos, por un trabajo concurrente, simultáneo y en equipo de todos ellos a partir del mismo momento en que se inicia el proceso. Esta metodología de trabajo recibe otros nombres como: ingeniería simultánea, equipos de diseño, desarrollo integrado de producto o ingeniería total.

La ingeniería concurrente es un enfoque en pleno proceso de desarrollo, que incorpora una gran variedad de nuevas concepciones y metodologías de gestión de proyectos. Algunos de ellos son<sup>14</sup>: DFF - Diseño para la función; DFM - Diseño para la fabricación; DFA - Diseño para el montaje; DFQ - Diseño para la calidad; DFMT -Diseño para el mantenimiento. Las abreviaturas son tomadas de sus correspondientes en inglés. Estas metodologías pueden enmarcarse en dos orientaciones principales: a) ingeniería concurrente en relación con la productividad (fabricación, costo, calidad, comercialización), en la cual el diseño de producto debe tener en cuenta el mercado al que se dirige y los procesos de fabricación; b) ingeniería en relación con el entorno (ergonómica, seguridad, medio ambiente, reciclaje), que busca mejorar el valor agregado económico y social, así como la aceptación del producto.

## Transferencia de tecnología

La transferencia de tecnología es una regularidad universal, inherente a toda organización y país como vía

11 Raymond Manganelli, *Cómo hacer reingeniería*, Barcelona: Editorial Norma, 1995.

12 Simon Raab, "Coordinate Measurements Accelerate Reverse Engineering", *Machin Design*, 1994.

13 Inefor, 1999.

14 Cimenet, *Ingeniería concurrente*, 2000.

de acceso al vertiginoso avance de la ciencia y la tecnología. Es el proceso de transmisión de tecnología y su absorción, adaptación, difusión y reproducción por un aparato productivo distinto al que la ha generado<sup>15</sup>. Por tanto, se constituye en una herramienta valiosa para el ingeniero de procesos, que debe considerarse y realizarse de manera adecuada, de forma que posteriormente se pueda manipular y adaptar, sin permitir que la tecnología adquirida se convierta en una caja negra. Usualmente se entiende como transferencia de tecnología la “entrega” o intercambio de cualquier forma de conocimiento de un agente a otro, ya sea en forma de “paquetes” tecnológicos de información, procesos, productos, equipos y operación, en forma de contratos de prestación de servicios o de investigaciones. En los países más desarrollados, la transferencia de tecnología se aplica a la transferencia de conocimientos técnicos desde los centros de investigación y desarrollo hacia los centros de producción. En cambio, en los países en desarrollo se refiere fundamentalmente a la adquisición de tecnologías de producción provenientes casi siempre de centros productivos y ocasionalmente de centros de investigación y desarrollo tecnológicos de los países del primer mundo<sup>16</sup>.

En general, la transferencia de tecnología se considera o clasifica como proceso, y los elementos de este proceso, entre otros, son: usuarios, tecnologías, comunicación, adopción y estructura u organización. El clasificar la transferencia de tecnología como un proceso significa que ella está compuesta por elementos interrelacionados entre sí, los cuales están orientados, en últimas, a satisfacer las necesidades de los usuarios, con el propósito de mejorar su nivel de vida<sup>17</sup>. La transferencia de tecnología se clasifica también según el tipo en acuerdos<sup>18</sup>: de licencia (patentes, uso de marcas, *know-how*, derechos de autor y franquicias), de inversión extranjera (subsidiarias de propiedad completa, *joint ventures*, concesionales, producción compartida, servicios de riesgo, privatización), de consultoría, de ingeniería, acuerdos comerciales, acuerdos de coproducción industrial (subcontratación, coproducción, especialización), acuerdos de pagos especiales (trueque, contra-comercio, *buy back*, alquiler), y cooperación técnica<sup>19</sup>.

Finalmente, de lo mencionado se hace evidente que el ingeniero industrial de hoy tiene a su alcance otras alternativas diferentes a los métodos tradicionales para

el diseño y desarrollo de procesos. Anteriormente el cliente no era tenido en cuenta, salvo porque se buscaba ofrecerle precios favorables en el producto. Los nuevos requerimientos exigen no sólo precios adecuados y mejores rentabilidades, sino además la satisfacción del cliente; también pretenden lograr parámetros de calidad que hagan que el producto posea una ventaja competitiva frente a los de otras empresas, lo cual implica tiempos acelerados en el desarrollo tecnológico y genera la necesidad de una mayor competitividad, obligando a áreas como el diseño de procesos a ofrecer respuestas rápidas a los nuevos retos de producción. Así por ejemplo, la reingeniería ha sido una opción que han debido aplicar muchas de las empresas concebidas inicialmente con métodos y procesos tradicionales, dado que los cambios en el sistema comercial hicieron obligatoria su modernización para permanecer en el mercado. La ingeniería inversa planteó la salida a la crisis que sufrieron los países asiáticos después de la Segunda Guerra Mundial, llevando a que estas naciones sean consideradas en el momento actual como potencias económicas y tecnológicas.

## REQUERIMIENTOS HACIA LA INGENIERÍA DE PROCESOS DEL SIGLO XXI

El cambio de la forma de pensar los procesos tecnológicos tiene que ver con las nuevas exigencias surgidas en el mercado, relacionadas con la calidad, no sólo del producto o servicio consumido, sino además, con la eficiencia de los procesos productivos, del impacto ambiental y con la eficacia de la responsabilidad social. Por ello, la calidad deja de ser un aspecto formal en el

15 Leonardo de la Rosa Marrero, “Consideraciones sobre la política de transferencia tecnológica”, VII Seminario de Gestión Tecnología, Cuba, 1997.

16 A. Bustamante, Informe del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela a la región técnica regional sobre transferencia de tecnología agrícola a los productores, IICA, Lima, 1977.

17 L. Fierro, *El proceso de la transferencia de tecnología*, Tibaitatá: Corpoica, Subgerencia de transferencia de tecnología, 1994.

18 E. Aguirre, “La innovación tecnológica en la estrategia de desarrollo de las organizaciones”, VII Seminario de Gestión Tecnológica, La Habana, Cuba, 1997.

19 L. Rodríguez y B. Cordero, *La gestión de la tecnología. Elementos fundamentales y la transferencia de tecnología entre la universidad y la empresa*, Santafé de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1998.

cumplimiento de normas y se convierte en una propiedad indispensable para la competitividad en los mercados internacionales. A continuación se realiza una presentación de algunos de los requerimientos surgidos recientemente, que deben cumplir las tecnologías hoy desarrolladas y que a su vez plantean un reto real al momento de diseñar procesos productivos, por cuanto su éxito dependerá en gran medida del cumplimiento de estas exigencias.

## Desarrollo sostenible

Desarrollo sostenible es un lema que se hizo popular a finales de los años ochenta con la publicación del Informe Brundtland, documento de la Comisión Mundial para el Desarrollo y el Medio Ambiente, titulado “Nuestro futuro común” (1987). La comisión conformada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 1983 estaba compuesta por 22 personas de todo el mundo, incluida Margarita Marino de Colombia y otros dos miembros de Latinoamérica. Este informe trataba de señalar el camino en el cual las aspiraciones universales de un mejoramiento de los estándares de vida podrían ser armonizadas dentro de la capacidad de sostenimiento de la tierra<sup>20</sup>.

El significado de este lema ha sido muy debatido desde entonces, pero parece haber consenso sobre el hecho de que desarrollo sostenible significa básicamente: a) un tipo de desarrollo económico que mejora el bienestar humano; b) un desarrollo que puede ser practicado en manera duradera, es decir, sin poner en peligro la continuidad de la existencia de la biosfera; c) satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades a nivel global, regional y local. La consecución de dicho objetivo pasa por satisfacer tres principios inherentes al concepto de *sostenibilidad*: uso sostenible de los recursos, Calidad de vida humana y medioambiental, y equidad social. Estos objetivos genéricos se complementan con otros más concretos de ámbito local<sup>21</sup>: reducción del impacto ambiental de los procesos industriales y de consumo locales, fortalecimiento de la base industrial de la zona, reducción de los costos de producción (mayor competitividad) de las industrias locales, generación de empleo neto, e incremento de la calidad y nivel de vida de las comunidades locales.

Inicialmente se buscaban soluciones que se podían realizar con rapidez y sin cambiar todo el proceso de la producción, lo que calificamos hoy como solución al “fin de tubo” o protección adicional del medio ambiente. Las soluciones adicionales generalmente se podrían realizar fácilmente con filtros de tubos o chimeneas, instalaciones de tratamiento de aguas negras, etc., con la gran ventaja de poder implementarse inmediatamente sin cambiar el proceso de producción, logrando fácilmente un mejoramiento en cuestiones ambientales, por lo menos hasta un cierto nivel. Sin embargo, tienen desventajas como costos muy altos, tanto para su instalación como para su funcionamiento. Además, muchas veces significan solamente un traslado del problema de un medio al otro, por ejemplo, del aire al agua o a la tierra.

Hoy día se deben desarrollar soluciones que resuelvan los problemas de fondo, que reduzcan el impacto ambiental de manera significativa, que reintegren los desechos de diversos pasos del proceso de nuevo en el mismo proceso. Estas soluciones se suelen llamar soluciones integrales o también tecnologías limpias<sup>22</sup>. Estas soluciones reducen el impacto ambiental de manera integral, reintegrando los desechos de diversos pasos del proceso en el mismo proceso, y tienen la ventaja de que su impacto ambiental es mucho menor que el de las soluciones adicionales: no se necesitan filtros o instalaciones para el tratamiento de los desechos y las aguas negras, y tampoco implican costos adicionales para la producción. Están caracterizadas por pensar en el proceso completo, en tener en cuenta tanto los pasos anteriores como las fases de la vida futura del producto. La principal desventaja es el hecho de que generalmente no pueden ser aplicadas a procesos ya existentes, sino que hay que replantearlas desde el principio.

Uno de los principales objetivos que se persiguen con la implementación de las *tecnologías limpias* es el

20 Volkman Lauber, “Emergencia del paradigma de la sostenibilidad. Tecnología administrativa”, memorias Congreso Internacional Gerencia Sostenible, Departamento de Ciencias Administrativas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia, 1997.

21 John Urresti, *Ecología industrial: sostenibilidad, rentabilidad económica y generación de empleo*, 1998.

22 Michael Schaller, “Producción limpia: experiencias y tendencias internacionales. Tecnología administrativa”, memorias Congreso Internacional Gerencia Sostenible, Departamento de Ciencias Administrativas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia, 1997.



cambio en la manera como se plantean los flujos tanto de materiales como de energía entre el sistema y su entorno. En la actualidad, el sistema más común es el de flujo lineal, en el cual son descargados al medio desechos provenientes del proceso (véase tipo I en figura 1). Sin embargo, el sistema que se plantea con las tecnologías limpias es una evolución hasta los procesos con un flujo circular, en donde en las etapas siguientes pudiesen utilizar los elementos que son emitidos en etapas anteriores y así generar valor agregado a este tipo de materiales sin ser una carga para el ambiente. En la tabla 2 se proponen algunas herramientas para transformar un sistema productivo lineal en circular.

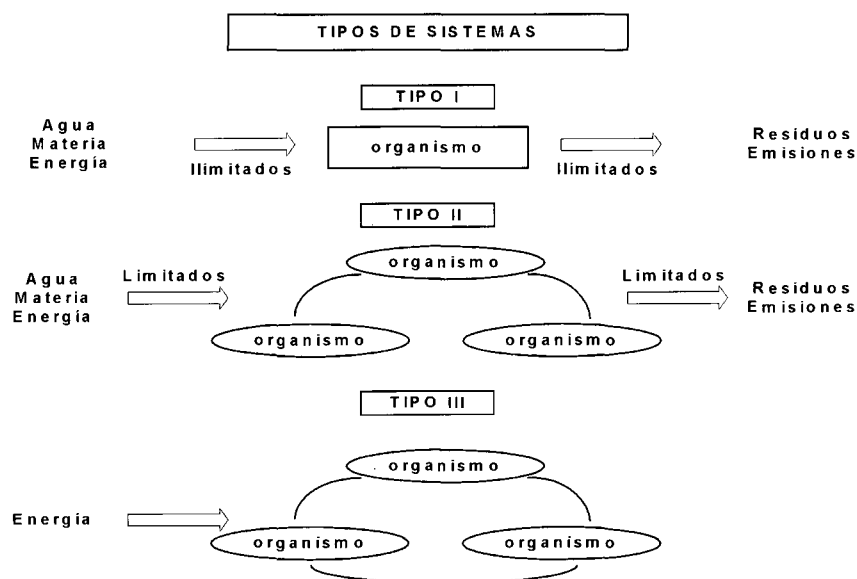
Actualmente, nos hallamos en un punto intermedio entre el tipo I y el tipo II, aunque más cerca del I que del II. Se puede observar que el sistema Tipo III mantiene un flujo de energía bastante amplio; esto se debe a que la eficiencia en el uso energético no es una de las características de los ecosistemas naturales.

## Concepto de cero emisiones

ZERI, *Zero Emissions Research Initiative*, es una investigación práctica que busca satisfacer las necesidades humanas de agua, alimento, energía, empleo y vivienda, procurando un desarrollo sostenible, por medio de la aplicación de la ciencia y la tecnología e involucrando a los gobiernos, los empresarios y las instituciones científicas.

Cero emisiones representa un cambio en el concepto de industria, lejos de los modelos lineales en los cuales las basuras son consideradas la norma, para integrar sistemas en los cuales cada cosa tiene su uso. Según Pauli<sup>23</sup>, esto ejemplariza el inicio de la próxima revolución industrial, en la cual la industria imita los ciclos naturales del medio ambiente y del hombre, cambiando las expectativas de que la tierra produzca mucho más, aprendiendo a hacer más con lo que la tierra produce<sup>24</sup>. Cero emisiones considera que todas las materias primas de la industria deben ser integradas al producto final o convertidas en valor agregado para otras industrias o proce-

FIGURA 1. Tipos de sistemas según el enfoque de las tecnologías limpias.



Fuente: Urresti, *op. cit.*, 1998.

TABLA 2. Herramientas para transformar un sistema productivo lineal en un sistema circular.

Herramientas	Descripción
Metabolismo industrial	Análisis de flujos materiales desde su extracción hasta su destino final. Permite reutilización de materiales.
Análisis de ciclo de vida	Evalúa los efectos ambientales de la actividad, proceso o producto en cuestión, desde la extracción de las materias primas, hasta que son devueltas a la naturaleza en forma de residuos o emisiones.
Simbiosis industrial	Conectar físicamente a empresas vecinas (vía tuberías, etc.) para intercambio prolongado de agua, materiales (residuos) y energía con el fin de reducir costos de producción y de tratamiento de residuos.
Diseño medioambiental	Analizar todas las implicaciones medioambientales del objeto o plan bajo estudio: energía y materiales, producción y embalaje, transporte, uso por los consumidores, capacidad para ser reutilizado o reciclado, etc.

23 Pauli, 1998.

24 Universidad Regiomontana, Universidad de las Naciones Unidas, *Iniciativa de investigación de cero emisiones*, 1997.

De esta manera, los sistemas productivos se reorganizarán en “grupos”, en los cuales las basuras de unos sean utilizadas como materia prima para los productos de otros, creando una fuerza de demanda que permite la utilización total de las materias primas con una integración tan amplia que no concibe ninguna clase de desechos. Esta forma de plantear la ingeniería de procesos integralmente puede realizarse en apariencia sin mayores traumatismos para las industrias ya existentes, mediante metodologías como la propuesta en la tabla 3.

Desde las perspectivas medioambientales, la eliminación de basuras representa la óptima solución para los problemas de polución que amenazan el ecosistema, tanto a nivel local como global. Además, el uso completo de las materias primas acompañado por un cambio hacia la utilización de fuentes renovables significa que los recursos de la tierra vuelven a ser manejados con el criterio sostenible. Para la industria, cero emisiones constituye un mejoramiento de la competitividad y representa una continuación del inevitable proceso hacia la búsqueda de la eficiencia. Primero fue la productividad de la tierra y del capital, y ahora es el uso total de las materias primas, buscando producir más con menos. Por tal razón esta iniciativa puede ser vista como el nuevo parámetro para la eficiencia, o el paso siguiente después de la Gerencia de la Calidad Total (cero defectos) y Justo a Tiempo (cero inventarios). Para los gobiernos, el uso total de materia prima permite la creación de nuevas industrias, y por tanto generar nuevos empleos así como el mejoramiento de la productividad. Además, permite la producción de más alimentos, más vestido y más vivienda para la población sin disminuir las posibilidades de las futuras generaciones para hacer lo mismo.

### Conducta responsable

El *Responsible Care*, –conocido como conducta responsable o responsabilidad compartida–, nació en 1986 en Canadá como una serie de medidas o acuerdos voluntarios a los que se someten las industrias químicas de todo el globo. El propósito es maximizar la protección de los trabajadores, la salud de las personas y el cuidado del entorno, impulsados por el apoyo de la International Council of Chemical Associations, ICCA. Su éxito ha sido abrumador: más de 30 países lo han adoptado, y la comunicación con la ciudadanía se ha tornado mucho más

estrecha. Los avances logrados en esta área se deben en gran medida a que la industria química internacional tomó conciencia del daño que podía ocasionar el manejo descuidado de sus procesos. Este tipo de compromiso puede hacerse extensivo a otros campos de aplicación de la ingeniería, como los sectores alimentario, farmacéutico, biotecnológico, metalmecánico, sanitario, etc.

El periodista David Weir bautizó como “Síndrome Bhopal” a todas aquellas experiencias en que una planta química era la causante de algún desastre ecológico o de salud. Esto debido justamente al caso ocurrido en la localidad india de Bhopal, donde la empresa Union Carbide sufrió un accidente por el cual dejó escapar una nube tóxica de 40 toneladas de metil isocianato. El saldo trágico fue de cuatro mil muertos y 180 mil lesionados. Casos similares ocurrieron durante los años setenta y ochenta en países como Indonesia, Brasil, Taiwan, Egipto y Zimbabue, entre otros.

### Concepto de la calidad del producto y proceso

La aceptación de un producto por parte de un consumidor está condicionada por la satisfacción que le genere el bien que ha adquirido. Una de las maneras en que dicha satisfacción se puede lograr es brindando al consumidor un respaldo por parte de la industria que ha sido la encargada de generar el bien o producto. Esta garantía involucra

TABLA 3. Etapas consecutivas para el desarrollo de la metodología ZERI.

Etapas metodología ZERI	Objetivos
Análisis del rendimiento total	Revisión del proceso para minimizar materias primas y maximizar productos. Utilización de todas las entradas.
Modelos de producción	Inventario de todas las “basuras” (producción no incorporada en el producto final o en su proceso de manufactura). Identificar industrias en las cuales se puedan usar estos excedentes de producción, como materia prima.
Grupos industriales	Los modelos de producción determinan los candidatos potenciales para crear agrupaciones industriales. Luego se identifican las agrupaciones óptimas en términos de capacidad y número de industrias participantes.
Desarrollo de nuevas tecnologías	Cuando se requieran tecnologías de producto o de proceso que aún no estén disponibles, para asegurar su efectividad y su viabilidad económica se diseñan las investigaciones para desarrollar estas nuevas tecnologías.
Políticas industriales	La identificación de los grupos industriales y la determinación de las necesidades de desarrollo de nuevas tecnologías deben estar acompañadas del diseño de apropiadas políticas gubernamentales. Aquí hay sectores que no tienen experiencias previas ni tradición de trabajar juntos, que deben combinar sus esfuerzos y colaborar mutuamente como son los representantes de la industria, los gobiernos y los científicos.

el término calidad, que cubre todos los procesos, desde la materia prima hasta su aplicación final. El concepto de calidad también se aplica a los procesos representados en disminución de tiempo de fabricación, disminución de materias primas y mayor satisfacción de las expectativas tanto del consumidor como del fabricante.

La definición de calidad es relativa al cliente, por cuanto un producto puede presentar esta propiedad o no en función de la percepción del consumidor respecto al bien o servicio. Muchos empresarios relacionan la calidad con el cumplimiento de normas y especificaciones nacionales e internacionales, las cuales son revisadas y actualizadas cuidadosamente, ya que por razones científicas, tecnológicas, económicas, sociales y psicológicas, las necesidades cambian y es indispensable interpretar la calidad en forma dinámica o se corre el peligro de desaparecer del mercado<sup>25</sup>. En este contexto, el control de calidad puede entenderse como “una estructura de administración que asegura la continuidad de la excelencia”. El control de calidad implica comprobar que las diferentes etapas del proceso o servicio han sido desarrolladas correctamente y que se han eliminado los errores identificados. El aseguramiento de la calidad significa que el proceso de comprobación, corrección y control se desarrolla de tal manera que el proveedor de manufacturas y servicios está consciente de que todas las etapas del proceso se llevan a cabo correctamente (aplicando los estándares de calidad), y que lo planeado es el resultado esperado en términos de productividad. En otras palabras, contiene todas las acciones planeadas y sistemáticas requeridas para alcanzar el nivel de confianza que asegure que un producto o servicio satisfará los requerimientos de calidad esperados (ISO 8402, 1986) (ANSI/ASQC A3, 1977). A continuación, se proponen algunos de los mecanismos existentes en el mundo y que cada vez gozan de mayor aceptación, lo cual implica que deben ser tomados en cuenta por los ingenieros que desarrollen procesos productivos en la década que se inicia.

## 1. NORMAS ISO

El estándar preferido para la administración de la calidad es el ISO (*International Organization Standard*), que ha llegado a ser el más determinante en el éxito de las empresas en cuanto a aspectos técnicos. La Organización Internacional para la Estandarización,

conformada por representantes de los cuerpos normalizadores de aproximadamente cien países, fue establecida oficialmente el 23 de febrero de 1947 con el objeto de promover la estandarización internacional, de tal manera que se facilitara el intercambio internacional de bienes y servicios, así como el desarrollo científico y tecnológico. Como ejemplos se puede mencionar la existencia de normas ISO que abarcan desde las abreviaturas de los sistemas de medición hasta la especificación de protocolos de desarrollo, control y transferencia de procesos<sup>26</sup>.

Cuando el comité técnico, –encargado de la normalización de Aseguramiento y Administración de Calidad– inició sus trabajos en 1980, se enfrentó al gran reto de alcanzar un consenso entre las diferentes filosofías y conceptos de calidad existentes. Dentro de sus objetivos estaba el desarrollar un código mínimo de prácticas de aseguramiento y administración de calidad, aplicable a todo tipo de empresa. Esta lista de prácticas debía representar lo que una empresa estaba obligada a hacer como mínimo para responder a los requerimientos de un mercado competitivo. Desde este punto de vista, también significaba una base que permitía establecer acuerdos sobre las responsabilidades de proveedores y compradores respecto a la calidad de los bienes o servicios intercambiados<sup>27</sup>.

El lenguaje y adopciones de ISO 9000 están encaminados a los objetivos del fabricante. No obstante, ISO 9000 se comienza a aplicar a sistemas de calidad de muchas organizaciones, sean o no fabricantes<sup>28</sup>. El término ISO 9000 usualmente se refiere a un conjunto de estándares íntimamente relacionados, que incluyen ISO 9000, 9001, 9002, 9003 y 9004. Esos estándares cubren calidad de diseño, calidad de manejo y calidad de seguridad para diferentes clases de compañías industriales.

25 Liliam Guevara, “Estudio de la incidencia de la tecnología blanda y la tecnología dura en empresas con procesos biotecnológicos, biopesticidas y bebidas alcohólicas”, trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Bogotá, 1999.

26 Eduardo Cadena, “ISO 9000, una visión general”, *Soluciones Avanzadas*, No. 32, 1996.

27 *Ibid.*

28 Roy Rada, “ISO 9000 Reflects the best in standards”, *Communications of the ACM*, vol. 39, No. 3, marzo de 1996.

Los ISO 14000 son normas internacionales que significarán una ventaja competitiva al comerciar internacionalmente. Es un conjunto de estándares para el manejo ambiental, que ayuda a eliminar los registros múltiples, inspecciones, certificaciones, etiquetas y requerimientos conflictivos, y suministra un sistema para las multinacionales, quienes pueden implementarlo donde quiera que operen. Se prevé que pueden llegar a tomar el lugar de estándares ambientales tanto nacionales como internacionales. Los componentes de la ISO 14000 incluyen la categoría general de sistemas de manejo ambiental, auditoría ambiental, etiquetas medioambientales, evaluación de la actuación ambiental y evaluación del ciclo de vida de un producto<sup>29</sup>.

Las normas ISO 18000 fueron propuestas para evaluar la capacidad de la empresa de realizar procesos competitivos en los cuales la seguridad industrial y social de los empleados hacen parte de los parámetros sujetos a ser evaluados y permanentemente monito-reados. Existe otro tipo de propuestas para desarrollar normas ISO que consideran un beneficio social equitativo, como es el caso de la ISO 21000 que es una sugerencia hecha por una ONG suiza llamada "Pan para todos", en la cual se propone reglamentar un manejo social integrado, tanto dentro de las organizaciones como en su relación con el entorno.

## 2. SELLOS VERDES

Los sellos verdes de aprobación son etiquetas medioambientales otorgadas por una organización global sin ánimo de lucro que asocia a 21 países, como reconocimiento a productos que prácticamente no causan daños ambientales. Antes que un producto posea el sello verde, debe pasar pruebas rigurosas y reunir exigentes normas ambientales. El objeto del programa de sellos verdes es ayudar a los consumidores a identificar los productos que causan menos daños ambientales. El sello verde, un globo azul con una verificación verde, es un reconocimiento que no se compra, sino que tiene que ser ganado.

Los estándares establecidos por sellos verdes incorporan el ciclo completo de vida de un producto, y cubren las siguientes áreas: facilidad de fabricación, materias primas usadas, eficiencia energética, seguridad

del producto, proceso de producción, niveles de ruido, capacidad de reciclaje, entre otras.

## 3. BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA

Como instrumento esencial para hacer prevalecer los criterios de calidad, es importante considerar el documento de la OMS, cuyo empleo se recomienda a todas las naciones miembro de la organización. Éste lleva como título "Good Manufacturing Practices" (GMP) y es conocido internacionalmente como reglas GMP. El objetivo de estas acreditadas normas, admitidas universalmente, es la extensa vigilancia y garantía de la calidad de todas las fases del proceso de fabricación. Las demandas esenciales señaladas en las reglas GMP son<sup>30</sup>:

- Extremo cuidado en todos los pasos de la producción, lo que debe ser garantizado por un personal bien cualificado y consciente de su responsabilidad.
- Existencia de los edificios o departamentos adecuados que permitan independientemente la fabricación, elaboración, etiquetado y ensayo de medicamentos.
- Garantía de que no habrá equivocaciones imputables a la separación o alejamiento de las cadenas de fabricación y envasado, cuidando así mismo de la rotulación inequívoca que designe el contenido de todos los recipientes utilizados en las diversas fases de la fabricación y su paso por las máquinas.
- La documentación de todos los procesos de fabricación y control ha de permitir que se pueda examinar y vigilar el proceso *total*.

La elaboración de productos biológicos debe estar en concordancia con los principios básicos de las "Buenas prácticas de manufactura"<sup>31</sup>. Los puntos que cubren estas guías pueden ser considerados como un conjunto de suplementos para el sector farmacéutico. En Colombia las BPM se han convertido en normas de cumplimiento obligatorio para las empresas farmacéuticas (Decreto 1792 de 1998) y de alimentos (Decreto 1375 de 1997).

29 Laura Struebing, *9000 Standards. Quality Progress*, 1996.

30 Rudolf Voigt, *Tratado de tecnología farmacéutica*, Zaragoza: Editorial Acribia, 1982.

31 Organización Mundial de la Salud, "Good Manufacturing Practices for Biological Products", *Technical report series*, No. 822, 1992.

#### 4. HACCP (*HAZARD ANALYSIS CRITICAL CONTROL POINT*)

En cumplimiento de sus funciones ética y social básicas, la industria de alimentos se ocupa de asegurar la inocuidad y el alto valor nutritivo de los productos que suministra al consumidor. Por otra parte, la competencia con éxito a nivel nacional e internacional, abriendo y sosteniendo mercados cada vez más dominados por compañías altamente diferenciadas por la calidad y el servicio, exige de las productoras de alimentos centrar sus esfuerzos en crear nuevas ventajas competitivas con base en la garantía de la satisfacción del cliente a través de la calidad, la productividad y el servicio.

Con el fin de satisfacer esta necesidad empresarial, en los últimos años se han venido diseñando diversos tipos de sistemas administrativos, de calidad y de certificación internacional, a los cuales es posible acogerse en forma voluntaria u obligados por ciertas condiciones legislativas o contractuales. En el sector de productos alimenticios, el método de garantía de calidad que mayor desarrollo ha tenido en los últimos años es el llamado Sistema de análisis de peligros y control en puntos críticos, conocido en el ámbito internacional como Sistema HACCP por las iniciales de su nombre en inglés.

El HACCP es un sistema moderno de calidad, que involucra no sólo el control al producto final sino a los procesos que lo generan. Fue desarrollado a finales de los sesenta en la Pillsbury Co., compañía altamente automatizada, fabricante de los alimentos para las misiones espaciales. En el transcurso de estos años, el sistema ha mostrado su adaptabilidad a las más diversas condiciones socioeconómicas de producción y a distintas mentalidades e ideologías (en la tabla 4 se pueden observar diversas aplicaciones de este sistema de calidad). Ha sido usado tanto por la industria más moderna para garantizar la calidad de sus productos, como por organismos como la FAO, la OMS y las autoridades nacionales de salud de múltiples países, en los planes de mejoramiento sanitario de las ventas callejeras de alimentos y de la producción artesanal de alimentos en el tercer mundo<sup>32</sup>.

Finalmente, puede concluirse que, si bien el cumplimiento de estas exigencias a los procesos no es obligatorio aún en nuestro medio en la mayoría de

casos, ni garantiza necesariamente la competitividad de las empresas, los ingenieros del naciente siglo están comprometidos a asimilar este tipo de tecnologías y a diseñar procesos que se ajusten o sobrepasen las expectativas de estas tendencias. Sólo así podrá pensarse en un sistema productivo que compita con materias primas o productos, y además con procesos, en un ambiente cada vez más globalizado, que será en un futuro próximo regido por este tipo de exigencias.

Tabla 4. Diversas aplicaciones del HACCP

Aplicaciones del HACCP	Objetivos
<b>Montaje de un sistema de calidad</b>	Garantizar la calidad sanitaria de los productos alimenticios, interviniendo sobre todos los componentes del sistema de calidad de las fábricas de alimentos.
<b>Control e inspección oficial</b>	Cambiar las metodologías centradas en las BPM, haciendo mayor énfasis en los puntos críticos de control, produciendo modelos HACCP oficiales que serán revisados por las respectivas autoridades sanitarias.
<b>Comercio internacional</b>	Los importadores de alimentos requieren el HACCP cada vez con mayor frecuencia, para garantizar la calidad de los productos que compran.
<b>Epidemiología</b>	El HACCP ha venido siendo incorporado en las metodologías de la OMS, como herramienta auxiliar en la investigación de brotes de enfermedades transmisibles por alimentos, tanto como en el montaje de sistemas nacionales e internacionales de vigilancia de tales enfermedades.
<b>Protección del medio ambiente</b>	El HACCP ha demostrado ser eficiente en la identificación de puntos críticos de control de la contaminación ambiental producida por fábricas de alimentos.
<b>Normalización de laboratorios</b>	Extensible a casi cualquier proceso químico o biológico, el sistema HACCP puede emplearse también para el montaje de un sistema de aseguramiento de la calidad de la operación de un laboratorio de análisis de alimentos.
<b>Procesos complejos</b>	El HACCP puede aplicarse también a procesos como los que se llevan a cabo en hogares, restaurantes o supermercados. Suele asumirse el proceso en forma global, por módulos, para resumir la operación completa en uno o dos diagramas de flujo y, a partir de ellos, desarrollar los planes HACCP en la misma forma que para los demás casos.

32 Jairo Romero, *Puntos críticos. El sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control aplicado paso a paso al aseguramiento de la calidad de productos alimenticios*, Bogotá: Corporación Colombia Internacional, 1996.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, E., "La innovación tecnológica en la estrategia de desarrollo de las organizaciones". VII Seminario de Gestión Tecnológica, La Habana, Cuba, 1997.
- Bustamante, A., Informe del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela a la región técnica regional sobre transferencia de tecnología agrícola a los productores, IICA, Lima, Perú, 1977.
- Cadena, Eduardo. "ISO 9000, una visión general". *Soluciones Avanzadas*, No. 32, Dirección electrónica: <http://www.fciencias.unam.mx/revista/soluciones/30s/No32/iso-9000.html> 1996.
- Cimenté. *Ingeniería concurrente*. <http://diana.cps.unizar.es/cimemet/ingconcu.html> 2000.
- Conde Cotes, Alfonso, "La ingeniería de procesos químicos: una visión alternativa", *Revista Ingeniería e Investigación*, No. 33, Bogotá, Colombia, 1996.
- De la Rosa Marrero, Leonardo, "Consideraciones sobre la política de transferencia tecnológica", VII Seminario de Gestión Tecnológica, Cuba, 1997.
- El Espectador*. "Hechos nacionales: más plazo a laboratorios para BPM. Colombia", marzo 14 de 2000.
- Ertas, Atilla y Jesse Jones, *The Engineering Design Process*, Singapur: John Wiley & Sons, 1993.
- Fierro, L., *El proceso de la transferencia de tecnología*. Tibaitatá, Corpoica, Subgerencia de transferencia de tecnología, 1994.
- Giral, J., F. Barnes y A. Ramírez, *Manual para el diseño de procesos químicos apropiados para países en desarrollo*. Universidad Nacional Autónoma de México, 1977.
- Guevara, Liliam, "Estudio de la incidencia de la tecnología blanda y la tecnología dura en empresas con procesos biotecnológicos, biopesticidas y bebidas alcohólicas", trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Santafé de Bogotá, 1999.
- Hammer, Michael y James Champy, *Reingeniería: olvide lo que usted sabe sobre cómo debe funcionar una empresa - casi todo está errado*, Barcelona: Editorial Norma, 1996.
- Inefor, Dirección electrónica: [http://www.labein.es/labein\\_ing/projects/inefor/inefor.html](http://www.labein.es/labein_ing/projects/inefor/inefor.html) 1999.
- Lauber, Volkman, "Emergencia del paradigma de la sostenibilidad. Tecnología Administrativa". Memorias Congreso Internacional Gerencia Sostenible, Departamento de Ciencias Administrativas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia, Edición Especial, Medellín, Colombia, 1997.
- Manganelli, Raymond, *Cómo hacer reingeniería*. Barcelona: Editorial Norma, 1995.
- McCabe, Warren, *Operaciones unitarias en ingeniería química*, 4a. ed., Editorial McGraw-Hill, 1991.
- OMS (Organización Mundial de la Salud), "Good Manufacturing Practices for Biological Products", *Technical report series*, No. 822, 1992.
- Raab, Simon, "Coordinate Measurements Accelerate Reverse Engineering", *Machine Design*, 1994.
- Rada, Roy, "ISO 9000 Reflects the best in standards", *Communications of the ACM*, volumen 39, No. 3, marzo de 1996.
- Rodríguez, L. y B. Cordero, *La gestión de la tecnología. Elementos fundamentales y la transferencia de tecnología entre la universidad y la empresa*, Santafé de Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1998.
- Romero, Jairo, *Puntos críticos. El sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control aplicado paso a paso a aseguramiento de la calidad de productos alimenticios*, Santafé de Bogotá: Corporación Colombia Internacional, 1996.
- Schaller, Michael, "Producción limpia: experiencias y tendencias internacionales. Tecnología Administrativa", Memorias Congreso Internacional Gerencia Sostenible, Departamento de Ciencias Administrativas, C.I.C.A., Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Antioquia, Edición Especial, Medellín, Colombia, 1997.
- Shenhav, Yehouda, "Del caos a los sistemas: los fundamentos de ingeniería en la teoría de la organización", *Innovar*, 9, 1997.
- Shreve, Norris, *The Chemical Process Industries*, Nueva York: McGraw-Hill, 1956.
- Struebing, Laura, *9000 Standards. Quality Progress*, 1996.
- Ulrich, Karl y Steven Eppinger, *Product Design and Development*, United States of America: McGraw-Hill, 1995.
- Universidad Regiomontana, Universidad de las Naciones Unidas, *Iniciativa de investigación de cero emisiones*, 1997. <http://www.ur.mx/zeri/liga2-1.html>.
- Urresti, John, *Ecología industrial: sostenibilidad, rentabilidad económica y generación de empleo*, 1998. Dirección electrónica: [www.syase-ma.com/ie.htm](http://www.syase-ma.com/ie.htm).
- Voigt, Rudolf, *Tratado de tecnología farmacéutica*, Zaragoza, España: Editorial Acribia, 1982.