

# Prospectiva de la Ingeniería Industrial hacia el 2020

Domingo González Zúñiga\*

**T**radicionalmente, los ingenieros industriales determinan las maneras más efectivas para usar los factores básicos de producción: gente, máquinas, materiales, información, y energía, para fabricar un producto o para proveer un servicio. Ellos son el puente entre las metas de la dirección y el cumplimiento operacional. Ellos se interesan más en la productividad creciente mediante la dirección de gente, los métodos de organización de negocio, y tecnología.

El aspecto más distintivo de la Ingeniería Industrial es la flexibilidad que ofrece. Ya sea en una línea de producción, modernizando una sala de operaciones, distribuyendo productos en el ámbito mundial, o en fabricación de automóviles superiores, todos comparten la meta común de ahorrar el dinero de la empresa y aumentar su eficiencia. Los ingenieros industriales saben cómo hacer mejor las cosas. Diseñan procesos y sistemas que mejoran calidad y productividad. Trabajan para eliminar desperdicio de tiempo, dinero, materiales, energía, y otras mercancías. "El Ingeniero Industrial es sinónimo de integrador de sistemas, en otras palabras, es un pensador de imagen amplia. Es quien toma lo que existe hoy y conceptúa lo que debe existir en el futuro. Los IEs dedican la mayoría de su tiempo en el ambiente operativo real, obteniendo soluciones con enfoques científicos a los problemas.", dice John

Samuels, vicepresidente de Norfolk Sur.

Las tendencias de las economías emergentes, las transiciones políticas y sociales y las nuevas maneras de hacer negocios están cambiando al mundo dramáticamente. Estas tendencias sugieren que el ambiente competitivo para la práctica de la Ingeniería Industrial en el futuro cercano será significativamente diferente a como es hoy. La profesión de la Ingeniería Industrial y su función han cambiado significativamente en los últimos 20 años; el surgimiento de nuevas tecnologías exigido por la intensa competencia continuará dirigiéndose al desarrollo de nuevos procesos y productos tanto en servicios como en manufactura.

Surgirán también nuevas prácticas de administración y trabajo, estructuras organizativas y métodos de decisión como complemento a estos nuevos procesos y productos. Los ingenieros industriales requerirán mejorar significativamente sus capacidades para tener éxito en este ambiente competitivo. El desarrollo de esas capacidades representa uno de los retos principales que enfrentan los ingenieros industriales. A continuación se describen varias áreas en las que está involucrado el ingeniero industrial indicando los avances que se esperan en cada una obtenidos de diversas fuentes que han hecho sus proyecciones hacia el futuro.

## **Ingeniería de manufactura<sup>(1)</sup>**

Las tendencias en el desarrollo de tecnología a grandes rasgos se pueden clasificar en:

1. Manufactura determinística o basada en matemáticas. Abarca:

algoritmos, procesos modelos, métodos analíticos, y las que han llegado a ser críticas en la habilitación de máquinas-herramienta superiores, procesos más eficientes, capacidades de fabricación avanzadas, y mejores sistemas de decisión.

2. Integración de la gente y la tecnología. Proporciona ventajas decisivas, mejora en las ganancias que se buscan en las inversiones de capital.
3. Tecnología de la información (IT). Creando y expandiendo las oportunidades de negocios que sólo se ha comenzado a desarrollar y que es el catalizador que posibilita los cambios en la manera en que las compañías se organizan, operan, colaboran y compiten; dos ejemplos son las cadenas de abastecimiento y las empresas virtuales.

Los grandes retos o metas fundamentales que determinó la Comisión sobre Retos Visionarios en Manufactura para 2020, establecida por la Junta del Consejo Nacional de Investigación sobre Ingeniería y Manufactura de USA, son:

- Lograr la concurrencia en todas las operaciones.
- Integrar recursos humanos y técnicos para mejorar la satisfacción y el cumplimiento de la fuerza de trabajo.
- Transformar instantáneamente la información reunida desde un conjunto extenso de fuentes en conocimiento útil para hacer decisiones efectivas.

\*Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Industrial por la UPIICSA. Profesor-Investigador de las Academias de Ingeniería Industrial de la UPIICSA. e-mail: maestrodomingo@hotmail.com

(1) Jackson, Richard H.F., *Perspectives On The Future Of Manufacturing Engineering*, Remarks to the Fall Meeting of the Council on Engineering and Technology, Manufacturers Alliance, Gaithersburg, Md. September 18, 1997.

- Reducir el impacto ambiental del producto y el desperdicio de producción a cerca de cero.
- Reconfigurar las empresas de fabricación rápidamente con respecto a oportunidades y necesidades cambiantes.
- Desarrollar procesos de fabricación innovadores y productos con un enfoque en escala dimensional decreciente.

### **Manufactura concurrente**

Concurrencia significa que la planificación, el desarrollo, y la implementación se harán en paralelo, más que secuencialmente. La meta es que la conceptualización, el diseño, y la producción de productos y los servicios sean tan concurrentes como sea posible para reducir tiempo de entrada al mercado, fomentar la innovación, y mejorar la calidad. Las empresas concurrentes considerarán, durante las fases de diseño y producción, el soporte del producto, incluyendo la entrega, el servicio y, al término de vida, la disposición (reciclando, reusando, o desechando). Todos los aspectos de la fabricación están en red para que las decisiones en lo que concierne a una actividad puedan tomarse con base en la información del conocimiento y la experiencia desde todos los aspectos de la empresa. La retroalimentación durante la vida de los productos y los servicios será continua.

La fabricación concurrente revolucionará las maneras de actuar de la gente reciprocamente a todos los niveles de una organización. *Teamwork* (trabajo en equipo) es la palabra usada para describir estas interacciones, pero no puede describir precisamente las relaciones del futuro. Las redes interactivas de computadora vincularán a los trabajadores en todos los aspectos del negocio. Serán necesarias nuevas relaciones sociales y habilidades de comunicación, así como también una nueva cultura incorporada en que

el éxito requerirá no solamente de pericia y experiencia, sino también de la capacidad para usar conocimiento rápidamente y efectivamente.

La concurrencia acortará drásticamente el tiempo entre la concepción de un producto y su realización. Por ejemplo:

- Productos de consumo, cuyo diseño toma ahora de seis a nueve meses para alcanzar el mercado, se entregarán a los clientes en semanas.
- Los productos grandes que son las combinaciones de electrónica y estructuras mecánicas, que ahora tardan años en desarrollarse, se pondrán en servicio en meses.
- El diseño de microprocesadores se reducirá de un ciclo de dos meses a uno de un mes apoyado por instalaciones flexibles de fabricación que pueden producir nuevos diseños.
- Los materiales compuestos y sintéticos estarán disponibles casi inmediatamente después de haber especificado sus propiedades para aplicaciones del producto.

En manufactura se tienen que considerar una variedad de tópicos tales como:

#### **Mejores prácticas de manufactura**

Se refieren a cómo la innovación y la medición, el control y la reducción de costos influyen en mantener la ventaja competitiva, incluyen técnicas como:

- Costos basados en actividades (ABC).
- Costos basados en manufactura ágil (*LEAN Accounting*).
- Uso innovativo de recursos o procesos.
- Grupos efectivos de trabajo en alta tecnología de manufactura.
- *Benchmarking* de procesos de manufactura (MPB).
- Diseño para el ambiente (DFE).
- Ecoeficiencia.

- Teoría del análisis del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA).
- Principios del cambio sostenible.
- El ciclo PHVA del desarrollo sistemático.

#### **Administración de operaciones**

Se enfoca a conceptos como:

- Planeación, desarrollo e implementación en paralelo.
- Redes interactivas de computadoras.
- Una nueva cultura organizacional en que el éxito requerirá no solamente de pericia y experiencia, sino también de la capacidad de usar el conocimiento rápidamente y efectivamente.<sup>(2)</sup>
- Estándar para el intercambio de datos del producto, STEP (*Standard for the Exchange of Product-Model Data*).<sup>(3)</sup>
- Modelado de capacidad de sistemas.
- Metodologías de diseño flexible y modular; procesos de fabricación y equipamiento flexible; y materiales y procesos adaptables.
- Manufactura: ágil, sincrónica, flexible, celular, justo a tiempo, etc.
- Análisis: AMEF (del modo y efecto de falla), RCA (de causa raíz), HAZOP (de operabilidad y riesgo).
- Conceptos de conservación y confiabilidad como Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).
- Teoría de Restricciones (TOC).
- Sistema Tambor, reserva, cuerda (DBR).
- Sistemas de planeación avanzada (SAP).
- Sistemas de administración de mantenimiento computarizados (CMS).

(2) Computing Canada. *Virtual development in practice*. Computing Canada 23(26): 36. 1997.

(3) [www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm]

- Procesos de producción complejos.
- Instalaciones extensas de líneas de producción que desarrollan sus propios sistemas de dirección de fabricación y operación, y que generalmente consisten de 20 a 30 elementos que pueden auditarse. Millares de componentes, innumerables subcomponentes que necesitan ser planificados y pronosticados para asegurar una operación óptima.
- La Confiabilidad y la Conservación son áreas clave donde los conceptos están cambiando rápidamente para mantener costos bajos y mejorar operaciones.

### Conceptos y sistemas de administración de calidad total

En el ámbito global, la alta calidad es el requisito para competir en el mercado mundial. La Administración de Calidad Total ha creado grandes expectativas en el mercado global. Esto ha elevado los estándares de rendimiento organizacional y ha aumentado la demanda para más mejoras en productos, servicios y procesos.

La calidad en el negocio no es una cosa o la otra, *es el todo*.<sup>(4)</sup>

En el escenario global, los fabricantes japoneses han demostrado varios conceptos efectivos en la Administración de Calidad Total como el Costo de Calidad Pobre (COPQ), Kaizen (mejora continua), Justo a Tiempo (JIT), sistemas de control de producción basados en tarjetas (KANBAN), Seis sigma, y el sistema a prueba de fallas (Poka-Yoke).

Es necesario incluir en estos conceptos los siguientes:

- (Hoshin Kanri) El sistema para la administración del cambio, la planificación, la implementación y la revisión que, además, es una estructura de despliegue de la política para la calidad exitosa.

- Sistemas colaborativos de calidad.
- Sistemas computarizados de calidad.
- Certificación de productos y procesos.
- La Organización Internacional de Estandarización (ISO).
- ISO 9000.
- ISO 14000
- Las 5S en la práctica.
- El despliegue de la función de calidad (QFD).
- Análisis de riesgos de puntos críticos de control (HACCP).
- Costos de calidad.

### Administración de la cadena de abastecimientos

Es importante considerar cómo el Desarrollo de Proveedores y las Asociaciones, la Logística y la Administración de Inventarios, El Manejo de Almacenes y el Desarrollo Rápido de Tecnología de Información (IT), han ayudado a las empresas a reducir sus ciclos de órdenes y a incrementar su eficiencia en la entrega de los productos.

La Cadena de Abastecimiento es un proceso del negocio que vincula proveedores, fabricantes, minoristas y clientes para desarrollar y entregar productos como una sola organización virtual. Esto se hace para combinar diversos recursos, habilidades e información.

La Administración de la Cadena de Abastecimientos es una de las áreas claves que están siendo enfocadas por las principales compañías para ganar ventaja competitiva.

En este enfoque es necesario incluir el estudio de conceptos como:

- Nuevo enfoque de Justo a tiempo.
- Reducción de tiempos de entrega.
- Reducción de tiempos de preparación.
- La técnica de cambio rápido de herramienta (SMED).

- Solución de problemas de inventarios.
- Logística.
- Logística de tercer partido.
- Logística de cuarto partido.
- Códigos seriales de contenedores de embarque.
- Operación de la cadena de abastecimientos.
- Medición del rendimiento de la cadena de abastecimientos.
- Exactitud de las órdenes de abastecimiento a nivel de perfección.
- Cadena de abastecimientos de tiempo real.
- Intercambio electrónico de datos (EDI).
- *Outsourcing* en logística.
- Desarrollo y selección de proveedores.
- Control de costos de operación.
- Desarrollo de asociaciones y alianzas estratégicas.
- Almacenaje.
- Recolección e identificación automática de datos.
- Identificación por Radio Frecuencia (RFID).
- Sistemas de localización en tiempo real (RTLS).
- Códigos de barras.
- Normas de etiquetado.
- El código universal del producto.
- Seguridad en almacenes.

### Administración de la automatización, aplicaciones de IT<sup>(5)</sup>

Este enfoque incluye conceptos como:

- Desarrollo rápido de prototipos.
- Prototipos digitales.
- CAD integrado a la planificación de inspección.
- Tecnología digital de medición de alta precisión.
- Manufactura digital.
- CAM, CIM, CAT, CAE, PDM,

(4) <http://www.themanagementor.com/EnlightenmentAreas/mfg/index.htm>

(5) Fujita Nobuyuki, *Manufacturing Process Revolution Thorough Digital Manufacturing*, Proceedings of Conference in Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, México, septiembre 2003.

- ERP, EAI, MRP, SCADA.
- Análisis de elemento finito.
- Simulación.
- Máquinas-herramienta de control numérico.
- Control de automatización.
- Software de piso de planta.
- Robótica.
- Visión de máquina.
- Automatización de diseño.
- Sistemas basados en conocimiento y Tecnología de Información (IT).<sup>(6)</sup>
- Sistema inteligente de manufactura (IMS)
- Sistema holónico de manufactura (HMS)

### La integración de recursos humanos y técnicos

Las tecnologías de fabricación continuarán, en el año 2020, siendo planificadas, operadas, conservadas, coordinadas, y mejoradas por la gente. Un ambiente global competitivo, rápidamente cambiante, hará que la tecnología sea cada vez más dependiente de la gente. Las tecnologías tendrán que ser capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado, y la gente tendrá que saber cómo perfeccionarlas y mejorarlas.

Las empresas manufactureras requerirán:

- Sistemas integrados.
- Automatización de funciones habituales.
- Personal dedicado para desarrollar soluciones dirigidas a las necesidades de cliente.
- Aprendizaje rápido en toda la empresa.
- Información de tiempo real sobre la condición de cada paso en la cadena de abastecimiento.
- Sistemas que operen efectivamente redes multiculturales de gente y máquinas.
- Modelos de sistemas para todas las operaciones de manufactura.
- Tecnologías para Convertir Información en Conocimiento.
- Métodos y protocolos unificados para intercambio de información.

- Procesos para desarrollo, transferencia y utilización de tecnología.
- Nuevos métodos educacionales.
- Metodologías de diseño que incluyen un amplio rango de requerimientos del producto.<sup>(7)</sup>
- Métodos de diseño y procesos de manufactura para reconfiguración de productos.
- Nuevos métodos de diseño de *software*.
- Sistemas y procesos de manufactura adaptables y reconfigurables.
- Optimización de interfaces hombre-máquina.

### Conversión de información a conocimiento

Las empresas manufactureras son fundamentalmente e ineludiblemente dependientes de la tecnología de información, incluyendo recopilación, almacenaje, análisis, distribución, y aplicación de la información. Si el crecimiento exponencial de tecnologías de comunicación y computadora (*hardware* y *software*) continúa a su ritmo actual, los negocios de 2020 deberían estar sobre la tarea. Los dos retos principales serán:

- (1) Capturar y almacenar antecedentes e información instantáneamente y transformarlos en conocimiento útil y
- (2) Poner este conocimiento a disposición de los usuarios (humanos y máquinas) instantáneamente dondequiera y cuando se necesite en una forma y un idioma familiares.

Uno de los retos para el futuro de la manufactura estará en reducir el plazo de espera para nuevos productos. La fabricación y el diseño concurrentes requerirán la transferencia de información en tiempo real entre diseñadores y fabricantes. La distribución global de recursos manufacturados y la expansión de redes de abastecimiento retarán a los sistemas de información para mantener el control activo. La logística de los

materiales físicamente en movimiento y los inventarios requerirán también sistemas de información de tiempo real.

Quizás el reto más grande estará en la educación. La gente bien instruida y entrenada, tomará decisiones mejores y más rápidas con base en una corriente sin precedentes de antecedentes, información y conocimiento. Únicamente la gente entrenada e instruida será apta para separar la información útil de la información inútil.

Entre las tecnologías que se requiere aplicar se deberá incluir:<sup>(8)</sup>

- Tecnología educacional.
- Tecnologías colaborativas, telepresencia, teleconferencias y telecontrol.
- Procesado de lenguaje natural.
- Agentes y filtros activos de conocimiento inteligentes para búsqueda, filtrado y archivado de datos e información.
- Sistemas de seguridad eficientes y a toda prueba para proteger datos, información y conocimientos.
- Sistemas de inteligencia artificial y de toma de decisiones.
- Sensores y actuadores para control automático de proceso y equipo.<sup>(9)</sup>
- Modelación y simulación integradas.

### Compatibilidad ambiental

Los cambios en la tecnología ambiental y las metas ambientales

- (6) Fujita Nobuyuki, *Intelligent Manufacturing System and Holonic Manufacturing System Project*, Proceedings of Conference in Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, México, septiembre 2003.
- (7) CAD/CAM Update. IBM and Daussault awarded Boeing CATIA contract. CAD/CAM Update 9: 1-8. 1997.
- (8) NGM (Next-Generation Manufacturing). *Next-Generation Manufacturing: A Framework for Action*. Bethlehem, Pa.: Agility Forum. 1997.
- (9) NRC (National Research Council). *Manufacturing Process Controls for the Industries of the Future*. NMAB-487-2. Washington, D.C.: National Academy Press. 1998.

que se listan más adelante se identificaron en un informe reciente por el Consejo Nacional de Investigación de USA<sup>(10)</sup>:

- La preponderancia de enfoques de incentivos basados en la regulación ambiental (en vez de enfoques de autoridad y control usados hoy).
- Mejoramiento en los sistemas de medición y verificación de calidad ambiental para aumentar el entendimiento ecológico.
- Disminución de efectos adversos de químicos en el ambiente.
- Desarrollo de fuentes alternas de energía y una evaluación de los impactos ambientales.
- Utilización de ingeniería de sistemas y enfoques ecológicos para reducir uso de recursos.
- Mejor entendimiento de la relación entre la población y el consumo como medio de reducir el impacto ambiental del crecimiento demográfico.
- Establecimiento de metas ambientales con base en índices y dirección del cambio más que sobre objetivos específicos.

Las industrias manufactureras del futuro tendrán una ventaja competitiva si participan proactivamente en la evaluación de impactos ambientales, el establecimiento de metas ambientales, y el desarrollo de tecnología para alcanzar las metas ambientales.

Los fabricantes pueden identificar y desarrollar tecnologías de proceso que mejorarán dramáticamente su uso de energía, recursos humanos, y materiales. Las empresas manufactureras encararán dos retos ambientales principales:

El primer reto cierra la brecha entre la comprensión actual de impactos ambientales y las tecnologías que intentan reducir el control de la contaminación y el desperdicio y el entendimiento necesario para alcanzar las metas ambientales futuras.

El segundo reto es cambiar el espíritu de las empresas de fabricación para incorporar cooperación, proactividad, trabajo en equipo, y asociaciones globales con gobiernos, la academia, alianzas de empresas competitivas de fabricación, y comunidades para alcanzar las metas ambientales.

Las acciones y tecnologías requeridas son:

- Evaluación y modelado del riesgo.
- Procesos de manufactura con desperdicio cercano a cero.
- Reducción del consumo de energía.
- Conciencia ambiental de las empresas manufactureras.
- Evaluación profunda y análisis costo beneficio del riesgo.<sup>(11)</sup>

### *Empresas reconfigurables*

Un reto significativo en el 2020 será la habilidad de la organización para formar alianzas complejas con otras organizaciones muy rápidamente.

La reconfiguración podría involucrar organizaciones múltiples, una sola organización, o el proceso de la producción de una organización. Los factores impulsores para las empresas reconfigurables están cambiando rápidamente las necesidades del cliente; las oportunidades de mercado rápidamente cambiante; y desarrollos de procesos de fabricación, productos, y tecnologías de electrónica de comunicaciones.<sup>(12)</sup>

La rápida reconfiguración en el ámbito de una organización requerirá de nuevas estructuras organizacionales y relaciones de empleados, así como también mucha mayor integración y flexibilidad de actividades.

Las empresas en el 2020 y más allá se caracterizarán por capacidades y prácticas en las áreas siguientes:

- Estructuras intraorganizacionales e interorganizacionales con base en modelos de cooperación transitoria flexible.
- Empresas enfocadas a oportunidades de mercado más que a supervivencia y crecimiento.
- Información y tecnología compartidas entre competidores.
- Acuerdos mundiales relativos a emisiones de patentes y otros derechos de propiedad intelectual.
- Reparto equitativo de las ganancias de colaboración.
- Incorporación de actividades o valores basados en conocimiento en los negocios.
- Relaciones y estimación de costos basadas en valor.
- Cadenas de abastecimiento claramente bien integradas.
- Sistemas de administración de información, representación, y comunicación interculturales.
- Tecnologías emergentes.
- Empresa reconfigurable.
- Estructura organizacional reconfigurable.
- Operaciones de manufactura reconfigurables.

### *Procesos innovadores*

El reto está en aplicar conceptos totalmente nuevos en operaciones unitarias para fabricación que conducirán a cambios dramáticos en las capacidades de producción. Los adelantos importantes se harán posibles por diseñar procesos y productos a escalas menores y menores, finalmente a niveles moleculares y atómicos. La necesidad de estos procesos revolucionarios será impulsada por las realidades competitivas en 2020,

(10) NRC. Linking Science and Technology to Society's Environmental Goals. Washington, D.C.: National Academy Press. 1996.

(11) Sheng, P., and B. Allenby. *Environmental Considerations in Manufacturing. Presentation at the Workshop on Visionary Manufacturing Challenges*, National Research Council, Beckman Center, Irvine, California, April 1-3, 1997.

(12) Kaplan, R.S., and D.P. Norton. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Cambridge, Mass.: Harvard Business School Press. 1996.

cuando las diferencias primarias entre empresas de fabricación serán su capacidad para crear y producir nuevos productos rápidamente y satisfacer las altas expectativas y demandas constantemente cambiantes de los clientes.<sup>(13)</sup>

En el mundo de 2020, las operaciones unitarias revolucionarias conducirán a cambios dramáticos en nuevas capacidades en las maneras siguientes:

- La integración de los procesos unitarios múltiples en una sola operación reducirá significativamente la inversión de capital, tiempo de inspección, manipulación, y tiempo de procesado<sup>(14)</sup>. Teóricamente, una máquina simple podría producir un producto completo.
- Procesos que son completamente programables y que no requieren herramientas duros (*hardware*) habilitarán la personalización de productos y el cambio rápido de un producto a otro.
- La creación de procesos autodirigidos simplificará el herramienta y los requisitos de programación, y proporcionará mayor flexibilidad operacional.
- La manipulación al nivel molecular o atómico conducirá a la creación de nuevos materiales, eliminará las operaciones de separado de juntas y de ensamble, y permitirá el acomodamiento del material para ser variado a lo largo de una sola parte.

El desarrollo de estos procesos innovadores habilitaría la fabricación de nuevos productos, tales como computadoras biológicas con componentes de dimensiones moleculares, herramientas quirúrgicas de dimensiones moleculares que pueden operar al nivel molecular o celular, colectores de energía solar eficiente y barata, y nuevos materiales con propiedades significativamente mejoradas y a la medida.

Para el 2020, las capacidades y procesos revolucionarios tendrán como base tecnologías que están todavía en pañales como:

- Nanotecnología.
- Tecnología de nanofabricación que incluye los siguientes tipos de procesos:
  - El nanomaquinado (oscila en las 0.1 a 100 nm) para crear estructuras a nanoescala agregando o quitando material desde componentes de macroescala.
  - La fabricación molecular para construir sistemas desde el nivel atómico o molecular.<sup>(15)</sup>
- Biotecnología.
- Ingeniería genética de polímeros de proteína a través de procedimientos biosintéticos.
- Procesos de autoensamble basados en actuantes biológicos de superficie que son efectivos en el rango de 1 nm a 1,000 nm.
- Métodos de síntesis de acoplamiento y autoensamble de procesos para producir estructuras orientadas y funcionalmente graduadas.
- Ingeniería de tejidos y siembra de células para habilitar producción *in vitro* de piel y membranas.
- Procesos de biomineralización incluyendo procesado de multicomponentes mediante vesícula.<sup>(16)</sup>

La publicación *Visionary Manufacturing Challenges for 2020*<sup>(17)</sup> proporciona hallazgos de los aspectos que tendrán un papel dominante en el desarrollo de ambientes competitivos y escenarios técnicos anticipados en el futuro. Es importante notar que el autor del estudio definió originalmente manufactura como el proceso para crear y dar servicio a productos para los consumidores. Durante el desarrollo del estudio llegó a determinar de manera muy clara que la definición de manufactura llegará a ampliarse en el

futuro con las nuevas configuraciones que surgirán de la empresa manufacturera y que será difícil distinguir entre las industrias de servicios y la manufacturera. Esto último es particularmente significativo para determinar las capacidades que debe desarrollar o adquirir el ingeniero industrial para participar de manera viable y factible en el escenario del 2020.

Este estudio prevé empresas manufactureras y de servicios que generarán en el 2020 nuevas ideas e innovaciones en el mercado rápida y efectivamente. Individuos y equipos aprenderán nuevas habilidades rápidamente a causa del aprendizaje avanzado basado en redes y de las comunicaciones basadas en computadoras a través de empresas expandidas, comunicaciones mejoradas entre personas y máquinas, mejoras en las transacciones y la infraestructura de las alianzas. Se desarrollarán rápidamente sociedades colaborativas que ensamblarán los recursos necesarios de capacidades altamente distribuidas de manufactura o servicios en respuesta a las oportunidades del mercado y se disolverán tan rápido como desaparezcan las oportunidades.

La manufactura para 2020 continuará siendo una empresa humana, se prevé que esa empresa funcionará como nosotros lo conocemos hoy (investigación y

(13) NRC. *Beam Technologies for Integrated Processing*. NMAB-461. Washington, D.C.: National Academy Press. 1992.

(14) NRC. *Beam Technologies for Integrated Processing*. NMAB-461. Washington, D.C.: National Academy Press. 1992.

(15) Nelson, M., and C. Shipbaugh. *The Potential for Nanotechnology for Molecular Manufacturing*. MR-615-RC. Santa Monica, Calif.: Rand Corporation. 1995.

(16) NRC. *Hierarchical Structures in Biology as a Guide for New Materials Technology*. NMAB-464. Washington, D.C.: National Academy Press. 1994.

(17) Commission on Engineering and Technical Systems, Committee on Visionary Manufacturing Challenges, Board on Engineering Design, *Visionary Manufacturing Challenges for 2020*, National Research Council; National Academy Press, Washington, D. C., 1998.

desarrollo, el diseño de ingeniería, fabricación, comercialización, y el servicio al cliente) estarán tan altamente integradas que funcionarán concurrentemente tan virtualmente como una entidad que vincula a los clientes con los innovadores de nuevos productos.

### Tecnología de manufactura

Surgirán nuevas arquitecturas corporativas para las empresas, aunque la producción de insumos estará distribuida globalmente, menos empresas de materiales y un número mayor de empresas regionales o comunitarias basadas en el producto se conectarán a mercados locales. Surgirán también procesos de ventas sumamente pequeños construyendo bloques que permitirán sintetizar o formar nuevas formas de materiales y productos. La nanofabricación de procesos evolucionará desde artículos de laboratorio a los procesos de producción, y la biotecnología conducirá a la creación de nuevos procesos de fabricación con nuevas y excitantes aplicaciones sobre el piso de taller de los primeros veinte años del siglo.

En la tabla siguiente se resumen tanto los grandes retos como las

tecnologías prioritarias o clave necesarias para el 2020.

Mientras los conceptos usados para definir los grandes retos son familiares a la mayoría de los ingenieros industriales (la fabricación concurrente, integración de recursos humanos y técnicos, conversión de información a conocimiento, compatibilidad ambiental, empresas reconfigurables y procesos innovativos), el reto actualmente está en el logro del nivel de capacidad determinado para alcanzar la visión del proyecto. Por ejemplo, una meta de manufactura concurrente es lograr la habilidad de concurrencia en todas las operaciones de la cadena de abastecimientos no sólo en diseño y manufactura.

La conversión de información a conocimiento es definida como la transformación instantánea de la información recopilada de un arreglo de diversas fuentes en conocimiento útil para la toma de decisiones efectivas. La compatibilidad ambiental traduce a cerca de cero la reducción de desperdicio de producción y del impacto ambiental del producto, mientras que los procesos innovadores se refieren al enfoque en la reducción

de escala dimensional. Las tecnologías clave o prioritarias deberían ser interpretadas como la habilidad para establecer qué habilidades deben ser mejoradas o adquiridas para enfrentar los grandes retos.

Muchos ingenieros industriales son ya los participantes importantes en un número de estas áreas, por ejemplo, sistemas flexibles y reconfigurables, modelado y simulación de la empresa, tecnología de información, metodologías de mejora de diseño, interfaces máquinas-humanos, y educación y entrenamiento; otras áreas tales como los procesos libres de desperdicio, manufactura de submicrones y a nanoescala, biotecnología, y los sistemas de *software* de colaboración representan oportunidades para los ingenieros industriales para expandir sus habilidades y anticiparse al desarrollo futuro.

Las áreas de tecnología tendrán más impacto a través de los grandes retos (sistemas flexibles y reconfigurables, modelado y simulación de la empresa, y tecnología de información) son las áreas donde muchos ingenieros industriales están comúnmente implicados, los

Tecnología a habilitar	Manufactura concurrente	Integración de recursos humanos y tecnología	Conversión de información en conocimiento	Compatibilidad ambiental	Empresas reconfigurables	Procesos innovativos
Sistemas adaptables y reconfigurables	Sí	Sí	Sí		Sí	Sí
Procesos libres de desperdicio				Sí		Sí
Procesos de nuevos materiales				Sí		Sí
Biotecnología de manufactura	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí
Modelado y simulación de la empresa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Tecnología de información				Sí	Sí	Sí
Metodologías mejoradas de diseño	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Interfaz hombre-máquina	Sí	Sí	Sí		Sí	
Educación y entrenamiento						
Sistemas de software de colaboración	Sí				Sí	

Pronóstico de tecnología del gobierno japonés de manufacturas seleccionadas. <sup>(18)</sup>

#	Avance tecnológico de manufactura pronosticado	Año
1	El uso generalizado de sistemas para manejar unitariamente el sistema de administración de información (órdenes, diseño, fabricación, conversación) entre compañías conexas.	2005
2	Cambios radicales en las áreas de producción y maquinaria a través de tecnología multimedios con interfaces entre el mundo analógico de la percepción humana caracterizado por los sentidos y el mundo digital de las computadoras y otros objetos operados digitalmente.	2006
3	El uso práctico de CIM para construcción de barcos que incorpora diseño/producción de bases de datos y sistemas CAD/CAM inteligentes, conduciendo a una reducción de costos de mano de obra a la mitad del nivel presente en la construcción de barcos.	2006
4	El fortalecimiento de la relación entre el consumo y la producción y adelantos en trabajo en redes entre almacenes y las fábricas, conduciendo a fusiones generalizadas entre fabricantes y minoristas/mayoristas y entre fabricantes y distribuidores.	2007
5	El uso práctico de un secretario electrónico que proporcione agentes de información, reconocimiento de voces y otras funciones.	2007
6	El uso generalizado de procesos sin papel para la mayoría del trabajo de oficinas.	2007
7	El uso práctico de tecnologías de procesos de superprecisión (maquinado, análisis y medición de pruebas) mediante la disponibilidad de desplazamiento de longitud, desplazamiento, rugosidad de superficie al nivel de ángstroms (diezmilésimas de micra) y del tiempo del orden de femtosegundos ( $10^{15}$ segundos).	2009
8	Alcanzar un 90% de reciclabilidad para partes y vehículos de motor.	2009
9	Desarrollo de robots de mantenimiento capaces de diagnosticar y reparar maquinaria y equipo.	2009
10	Automatización de procesos de maquinado diseñando trabajos basados en tecnologías de inteligencia artificial, dirigiéndose a generalizar el uso de tecnologías para maquinar directamente desde los datos de diseño.	2010
11	Desarrollo de tecnologías de diagnóstico que permitirán la estimación in situ de la vida remanente de estructuras y componentes de materiales metálicos dependiendo de las condiciones de servicio por inspección no destructiva por fatiga.	2010
12	A través de microtécnicas, descubrimiento de nuevos fenómenos, leyes y efectos, dirigiéndose a cambios radicales en las teorías de diseño de objetos artificiales.	2011
13	Generalización de uso de robots para trabajos peligrosos o de condiciones extremas.	2011
14	Generalización de procesadores de texto activados por voz que soportan conversación continua por personas no especificadas.	2011
15	Generalización del uso de sistemas de diseño, proceso, colección y reciclado, que hacen posible el reciclado de la mayoría de los materiales utilizados a través del establecimiento de responsabilidades legales para manufactureros para recolección y desecho de productos en desuso.	2012
16	Uso práctico de máquinas intérpretes de bolsillo activadas por voz que permitirán a las personas comunicarse aun cuando no hablen el mismo idioma.	2012
17	Generalización de sistemas de producción que proporcionarán soporte comprensivo para personas mayores y con discapacidad que experimenten degeneración funcional.	2013
18	Uso práctico de robots inteligentes con sensores visuales, auditivos y otros, capaces de juzgar su ambiente y tomar decisiones.	2014

Transición de los procesos de manufactura y equipo. <sup>(19)</sup>

Actual	Siguiente generación
Capacidad fija	Capacidad variable
Producto reciclable	Producto, planta, propiedad y equipo reciclables
Herramental hard	Herramental hard y soft
Equipo automático	Equipo autónomo
Planta y equipo rígidos	Planta y equipo reconfigurables
Transición de modelado y simulación (M&S)	
Soluciones puntuales	Paquete totalmente integrado de soluciones
Orden del cliente	Cliente especifica los requerimientos del producto
Prototipos sucesivos de hardware	Prototipos iterativos de software basados en la primera unidad de producción
Sólo M&S	M&S integrada en la trayectoria crítica de diseño para apoyar todas las decisiones de negocios
M&S argumenta el diseño de proceso	M&S es el mecanismo primario para refinar el proceso de diseño del producto/proceso
Modelos consumidores de tiempo y costos para crear, difíciles de compartir	Bibliotecas de modelos usables fácilmente accesibles
Modelos no disponibles o irrazonables	Disponibilidad de modelos impulsados por nuevos modelos de negocios
Herramientas cerradas de M&S	Interoperabilidad, herramientas en red de M&S
Simulación de procesos de manufactura basada en eventos discretos	M&S en 3D incorporando tiempo, variaciones dimensionales y propiedades físicas
Entrenamiento en el trabajo	Educación y entrenamiento con simulaciones híbridas y prototipos virtuales de manufactura

(18) Productivity Inc, Certificate programs, 9th annual Lean management and TPM Conference and exposition, Fld USA 2004

(19) Berns, T. And Klusell L., *Ergonomics in the office environment*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.

cambios en el estado del arte de estas tecnologías son tan rápidos que representan un reto continuo para todos en la profesión.

**Manufactura ágil (Lean Manufacturing). Enfoque al Futuro<sup>(20)</sup>**

Para realzar la flexibilidad y asegurar la habilidad para cumplir con los requerimientos de los clientes se requiere aplicar un enfoque renovado en la implementación de LEAN:

- Educando a los empleados y trabajadores para encontrar nuevas maneras de eliminar el desperdicio y crear sistemas para mantenerse así.
- Creando la flexibilidad necesaria para mantener el ritmo con el mercado.
- Generando índices más altos de valores agregados.
- Convirtiendo todo esto en una filosofía a seguir para asegurar un futuro vigoroso.

La práctica empresarial tiende a aplicar:

1. La administración del flujo de valor.
2. El diseño de celdas de manufactura.
3. Las 5S y controles visuales.
4. El cambio rápido.
5. El mantenimiento productivo total (TPM) que se basa en:
  - a. Mantenimiento Autónomo,
  - b. Mejora de los Equipos y Procesos,
  - c. Mantenimiento Programado,
  - d. Administrar con anticipación la inclusión de nuevos equipos,
  - e. Administración de la Calidad del Proceso,
  - f. El TPM en los departamentos administrativos y de soporte,
  - g. Educación y capacitación,
  - h. Administrar la Seguridad y el Control Ambiental.
6. Rendimiento competitivo basa-

- do en el índice global de eficiencia del equipo (OEE).
7. Mapeo del flujo de valor en la oficina.
  8. Herramientas 6 sigma.
  9. Causa efecto a través de CEDAC.
  10. Contabilidad LEAN.
  11. Resaltando esfuerzos continuos en las siguientes áreas:
    - a. Justo a tiempo (JIT).
    - b. Reducción del tiempo del ciclo.
    - c. Reducción del tiempo de preparación.
    - d. Control de costos.
    - e. Desarrollo de habilidades.
    - f. Trabajo en equipo.
    - g. Expansión de la capacidad.

**La Transformación Organizacional**

Aunque el incremento en la productividad se mantiene como un objetivo del ingeniero industrial, las reglas de los negocios están cambiando y enfoques totalmente nuevos están emergiendo para alcanzar los objetivos. En años recientes hemos sido testigos de los cambios en la organización; en la tabla siguiente se presentan aspectos de la organización tradicional y cómo se reflejan en la realidad actual y futura de la organización.

Transformación de la organización

Aspecto	Organización tradicional	Organización transformada
Estructura	Jerárquica	En red
Enfoque del trabajador	Empleado/obrero	Trabajador del conocimiento
Escala	Grande, estable	Flexible
Orientación	Operaciones	Cliente
Esfuerzo	Individual	Equipo
Recursos claves	Capital	Gente, información
Recompensas	Lealtad, antigüedad	Rendimiento y competencia
Relaciones económicas	Asociaciones y adquisiciones	Alianzas estratégicas
Calibración competitiva	Multinacional	Global
Tecnología de información	Soporte	Capacidad
Dirección	Administración sobresaliente	Liderazgo

Los cambios que están emergiendo de las nuevas realidades incluyen:

- Los clientes demandan productos únicos y servicio rápido.

- Las innovaciones tecnológicas se hacen a índices más rápidos.
- Se desarrollan productos más rápidamente.
- El ciclo de vida de los productos se acorta.
- Los gobiernos se ven forzados a reducir sus déficits.
- La economía global experimenta un bajo crecimiento.
- No existe protección para la competencia global.

Los cambios en la cultura empresarial se presentan en la tabla de la siguiente página.

**Seguridad y Ergonomía**

Los programas de Seguridad y Ergonomía deberán considerar la relación entre las tendencias industriales y como la Seguridad y la Ergonomía impactan dichas tendencias. Partiendo de la situación actual en que hay muchas situaciones en las que se puede reducir accidentes y lesiones, y mejorar el lugar de trabajo:

- El incremento de antigüedad de la población trabajadora.
- Aumento de mujeres que trabajan.
- Aumento de empleados de países subdesarrollados.

(20) Peterson F. N., et al, *The interface between production system design and individual mechanical exposure*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.

Cambios en la cultura empresarial

Aspecto	De:	A:
Unidades de trabajo	Departamentos funcionales	Equipos de procesos
Trabajos	Tareas simples	Trabajos multifuncionales
Roles de las personas	Controlados	Facultados (empowered)
Estructura organizacional	Jerárquica	Plana
Medición del rendimiento	Actividades	Resultados
Criterios de avance	Antigüedad	Rendimiento
Administradores	Supervisores	Entrenadores
Ejecutivos	Enfocados a objetivos	Líderes

- El reducido acondicionamiento físico en la base trabajadora.
- La reducción de la población empleada.
- La demanda global del mercado de producción masiva.
- La competencia global en calidad y precio.

De manera ideal, los programas de Seguridad y Ergonomía deberán establecerse cuando:

- Se planean las instalaciones.
- Se establecen los requerimientos de manufactura.
- Se diseñan las tareas.
- El producto está en la fase de concepción.

La aplicación de la Seguridad y la ergonomía se desarrollará en:

- Disposición del lugar de trabajo.
- Disposición de la estación de trabajo.
- Selección y configuración de equipo.
- Selección y uso de herramientas.
- Métodos de trabajo.
- Programas de rotación y engrandecimiento de trabajo.
- Programación del trabajo.
- Trabajos livianos y pesados.
- Administración médica conservativa.

Para lograr lo anterior será necesario:

- Compromiso de la gerencia.
- Entrenamiento y desarrollo de todos los empleados.
- Programas ergonómicos escritos.
- Procesos de identificación y selección de trabajos que producen riesgos ergonómicos.

- Desarrollo e implementación de soluciones para disminuir los riesgos conocidos.
- Administración médica apropiada.

En el ambiente de oficina la Ergonomía deberá prepararse para desarrollar soluciones a los nuevos requerimientos como:<sup>(21)</sup>

- El incremento de oficinas flexibles, donde empleados y consultores, trabajarán esporádicamente.
- Movilidad del mercado laboral generando requerimientos en el diseño de oficinas y en los métodos de trabajo.
- Nuevos diseños de mobiliario en cuanto a funcionalidad y calidad.
- Sistemas de *software* con diseños más centrados en el usuario.
- En el futuro, los sistemas de computación tendrán lo que se define como “calidad en uso”, que incluye la efectividad en costo y diseño para cumplir con las necesidades de los usuarios, de los sistemas y de los productos.

En el diseño de interfaces entre los sistemas de producción y la exposición mecánica del individuo, uno de los aspectos para el futuro parece ser el desarrollo de métodos apropiados para el ingeniero (conjuntos de herramientas fáciles de usar) que lo capaciten para predecir la exposición mecánica como parte natural del proceso de diseño de un sistema de producción. Se podrán utilizar algunos de los métodos antes mencionados que seguramente se reforzarán con

desarrollos adicionales. Es muy probable que la información contenida en la estructura del producto podrá ser utilizada con fines ergonómicos.<sup>(22)</sup>

Para lo anterior será necesario aplicar técnicas de Administración de Salud Ocupacional e Ingeniería de Seguridad que incluyen:

- Estándares de Salud Ocupacional.
- Compensación de los trabajadores.
- Acta de la Administración de Salud Ocupacional y Salud.
- Estadísticas y Registro de accidentes.
- Modelos de causas de accidentes.
- Métodos de Investigación de accidentes.
- Fundamentos de Seguridad en construcción.
- Seguridad eléctrica.
- Incendios y explosivos.
- Herramientas manuales y de potencia.
- Materiales peligrosos.
- Manejo y almacenaje de materiales.
- Equipo de protección personal.
- Sistemas de seguridad de radiaciones y robots.
- Técnicas de análisis de seguridad.
- Análisis preliminar de peligros (PHA).
- Análisis de seguridad de trabajo (JSA).
- Análisis del modo y efecto de falla (FMEA).
- Sistemas de análisis de peligros (SHA).
- Árbol de análisis de fallas (FTA).
- Árbol de Análisis de Administración de vigilancia de riegos.

(21) Berns T. And Klusell L., *Ergonomics in the office environment*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.

(22) Peterson F. N., et al, *The interface between production system design and individual mechanical exposure*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.

## Conclusiones

La Ingeniería Industrial ha sido y seguirá siendo el agente del cambio tanto en productos como en procesos y servicios. Los ingenieros industriales han tenido la responsabilidad de construirlos más rápido, más fácil, más baratos, más seguros, más confiables y mejores.

La motivación original para el desarrollo del campo de trabajo era impulsada por el deseo de aumentar la productividad mediante el análisis y el diseño de métodos y procedimientos de trabajo y para proporcionar un conjunto de principios científicos que servirían como fundamento para la continuación de estudios de esta naturaleza. Estos esfuerzos proporcionaron el marco de referencia sobre el que surgieron y se establecieron como puntales en su campo las áreas de conocimiento en diseño y análisis de trabajo, estándares y medición de trabajo, economía de ingeniería, y las funciones de planeación de producción e instalaciones.

La llegada de la Investigación de Operaciones junto con los desarrollos en tecnología de computación proporcionaron a la profesión un conjunto nuevo de herramientas y tecnologías que significativamente expandieron el alcance del campo más allá de sus áreas de aplicación originales en áreas tales como tecnologías de información y servicio.

Ha sido y seguirá siendo muy importante considerar la respuesta humana en relación a las innovaciones a los trabajos, productos y servicios que diseñan los ingenieros. La meta es una interfaz integral entre el ser humano y los requerimientos de trabajo, no importa qué trabajo requiera hacer la persona. De manera que se puedan superar los problemas de costos, el dolor y sufrimiento del empleado y la competencia global en los ambientes de manufactura en el futuro.

La necesidad de reexaminar el verdadero impacto de estas innovaciones sobre la productividad organizacional ha sido un catalizador para desarrollos más recientes en áreas tales como diseño de producto y administración de calidad total, que han llegado a ser ahora una parte importante de los antecedentes académicos y la práctica de ingeniero industrial de hoy.

La manufactura concurrente es un gran reto que requerirá no solamente nuevas tecnologías importantes en la comunicación y los procesos por medio de las cuales se conciben productos y procesos, sino también una nueva definición del ambiente social y cultural para las organizaciones manufactureras. Esto será particularmente importante para organizaciones altamente transitorias en los ámbitos global, multidisciplinario, y multicultural.

Es probable que las innovaciones de procesos en todos los aspectos de la fabricación aumenten. Sin embargo son difíciles de predecir los cambios que producirán los adelantos en tecnologías en sectores específicos de negocios. En nanotecnología y biotecnología, los adelantos en ciencias básicas han proporcionado los fundamentos para visiones de avances en las innovaciones. La pregunta no es sí o no estas tecnologías tendrán un efecto importante sobre manufactura, sino cuando y como se sentirá el efecto.

El campo de la Ingeniería Industrial ha evolucionado, y seguirá evolucionando para enfrentar los grandes retos (la fabricación concurrente, integración de recursos humanos y técnicos, conversión de información a conocimiento, compatibilidad ambiental, empresas reconfigurables y procesos innovativos), el reto actualmente yace en el logro del nivel de capacidad determinado para alcanzar la visión del futuro, de las tecnologías y áreas de aplicación que están emergiendo.

En los inicios del siglo XXI, con aproximadamente 100 años de historia de IE, no hay razón para dudar que este campo dinámico continuará madurando en su papel como un líder global en el cambio social generando nuevas y retadoras oportunidades. 

## Bibliografía

- Berns, T. & L. Klusell, *Ergonomics in the office environment*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.
- CAD/CAM Update. IBM and Daussault awarded Boeing CATIA contract. CAD/CAM Update 9: 1-8. 1997.
- Commission on Engineering and Technical Systems, Committee on Visionary Manufacturing Challenges, Board on Engineering Design, *Visionary Manufacturing Challenges for 2020*, National Research Council; National Academy Press, Washington, D. C., 1998.
- Computing Canada. *Virtual development in practice*. Computing Canada 23(26): 36. 1997.
- Fujita, Nobuyuki, *Manufacturing Process Revolution Thorough Digital Manufacturing*, proceedings of conference in Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, México septiembre 2003.

Fujita, Nobuyuki, *Intelligent Manufacturing System and Holonic Manufacturing System Project*, proceedings of conference in Centro de Difusión de Ciencia y Tecnología del IPN, México septiembre 2003

Jackson, Richard H.F., *Perspectives On The Future Of Manufacturing Engineering*, Remarks to the Fall Meeting of the Council on Engineering and Technology, Manufacturers Alliance, Gaithersburg, Md. September 18, 1997.

Kaplan, R.S., & D.P. Norton. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Cambridge, Mass.: Harvard Business School Press. 1996.

Nelson, M., & C. Shipbaugh. *The Potential for Nanotechnology for Molecular Manufacturing*. MR-615-RC. Santa Monica, Calif.: Rand Corporation. 1995.

NGM (Next-Generation Manufacturing). *Next-Generation Manufacturing: A Framework for Action*. Bethlehem, Pa.: Agility Forum. 1997.

NRC (National Research Council). *Beam Technologies for Integrated Processing*. NMAB-461. Washington, D.C.: National Academy Press. 1992.

NRC (National Research Council). *Hierarchical Structures in Biology as a Guide for New Materials Technology*. NMAB-464. Washington, D.C.: National Academy Press. 1994.

NRC (National Research Council). *Linking Science and Technology to Society's Environmental Goals*. Washington, D.C.: National Academy Press. 1996.

NRC (National Research Council). *Manufacturing Process Controls for the Industries of the Future*. NMAB-487-2. Washington, D.C.: National Academy Press. 1998.

Peterson F. N., et al, *The interface between production system design and individual mechanical exposure*, in k. Jell Zandin, Maynard's Industrial Engineering Handbook 5th ed., McGrawHill, New York 2001.

Productivity Inc, Certificate programs, 9th annual Lean management and TPM Conference and exposition, Fld USA 2004

Sheng, P., & B. Allenby. *Environmental Considerations in Manufacturing. Presentation at the Workshop on Visionary Manufacturing Challenges*, National Research Council, Beckman Center, Irvine, California, April 1-3, 1997.

### **Fuentes en Internet**

[[www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm](http://www.nist.gov/sc4/www/stepdocs.htm)]

<http://www.themanagementor.com/EnlightenmentorAreas/mfg/index.htm>

