



*Pasado, Presente y Futuro de la Ingeniería Industrial **

ING. JOSÉ MÁRQUEZ ROBLES

El presente artículo, responde a importantes interrogantes que se plantean en la Ingeniería Industrial; las cuales son: ¿Qué es la Ingeniería Industrial?, ¿Dónde trabajan los Ingenieros Industriales?, ¿Qué hacen los Ingenieros Industriales?.

Del mismo modo, se muestra una acuciosa revisión del pasado, presente y futuro de la Ingeniería Industrial, partiendo del mundo Agroindustrial en la primera Ola de su evolución y llegando a la Nanotecnología, ligándose dicho proceso evolutivo con el pasado, presente y futuro de los materiales y la transformación de la maquinaria.

Todos estos conceptos fueron vertidos en la conferencia que el Ing. José Márquez Robles pronunciara en ocasión de la Convención Nacional de Facultades de Ingeniería Industrial, el 25 de Enero de 1994.

* Ponencia ofrecida por el Ing. José Márquez Robles, en la Convención Nacional de Facultades de Ingeniería Industrial, Ene 24-27 de 1994

¿QUE ES INGENIERIA INDUSTRIAL?

Ingeniería Industrial es un Sistema-Disciplina orientado, relacionada con el diseño, instalación, gerencia, operación y desarrollo de sistemas para producir bienes y servicios. Los Ingenieros Industriales siguen un acceso (Approach) integrado que considera todo el ciclo de vida del producto o servicio producido desde el diseño a través de la producción, entrega y satisfacción del cliente.

La Ingeniería pone énfasis en el uso eficiente del recurso humano, físico y en la fuente de información necesitada por los sistemas.

¿Qué clase de Ingeniería Industrial a diferencia de otros tipos de Ingeniería es la que enfoca el proceso de producción, su amplio alcance y su énfasis en la gente?

¿DONDE TRABAJAN LOS INGENIEROS INDUSTRIALES?

Los Ingenieros Industriales son los que resuelven los problemas en casi todos los tipos imaginables de organizaciones:

- Industrias Manufactureras.
- Utilitarios.
- Servicios de Salud.
- Sistemas de Transporte.
 - Sistemas de Almacenaje y Distribución.
 - Instituciones Financieras.
- Agencias y empresas gubernamentales.

Es para mí un honor el tener la ocasión de exponer ante este docto auditorio, que reúne lo más representativo de la educación de Ingeniería Industrial en el Perú; honor que se incrementa, si como muchos de Uds. saben, soy un profesor bisoño, no por la edad sino por el poco tiempo que tengo de dictar en cátedra, en

comparación con la gran experiencia de mi auditorio. Mi vida ha transcurrido en fábricas, en todas las etapas del sistema fabril desde ser un Ingeniero Supervisor hasta la Gerencia de Manufactura y en Proyectos, luego en administración como Gerente General. Entonces mi punto de vista puede parecerles más práctico que acadé-

mico ya que es el punto de vista de un ingeniero que ha tenido que trabajar con profesionales de diferente extracción universitaria, en un sistema industrial *Sui Generis* como ha sido el nuestro en los últimos 50 años, en una industria con protección arancelaria a veces en competencia con la industria estatal, con alto costo de insumos importados, impuestos elevados, riesgo de estatización, comunidad industrial, sindicalización radical, en fin, vivencias que a veces denota el vacío de la educación universitaria vigente que tratamos de cubrir para adecuarnos a la realidad nacional.

Es necesario circunscribir el tema a tratar dentro de la definición que diera en 1955 el "American Institute of Industrial Engineers" enmarcando a nuestra profesión dentro del diseño de mejora e implementación de sistemas integrados por hombres, materiales y máquinas; y en el momento que se da esta simbiosis, empieza a actuar el técnico como ingeniero industrial. Es decir: con el maquinismo en la "reventazón" de la II Ola de Alvin Toffler a mediados del siglo XVIII (gráfico A).

La definición de Ingeniero Industrial sigue con la aplicación de su conocimiento de las ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios de análisis y diseño técnico, para determinar, predecir y

evaluar los resultados que obtendrán de aquellos sistemas.

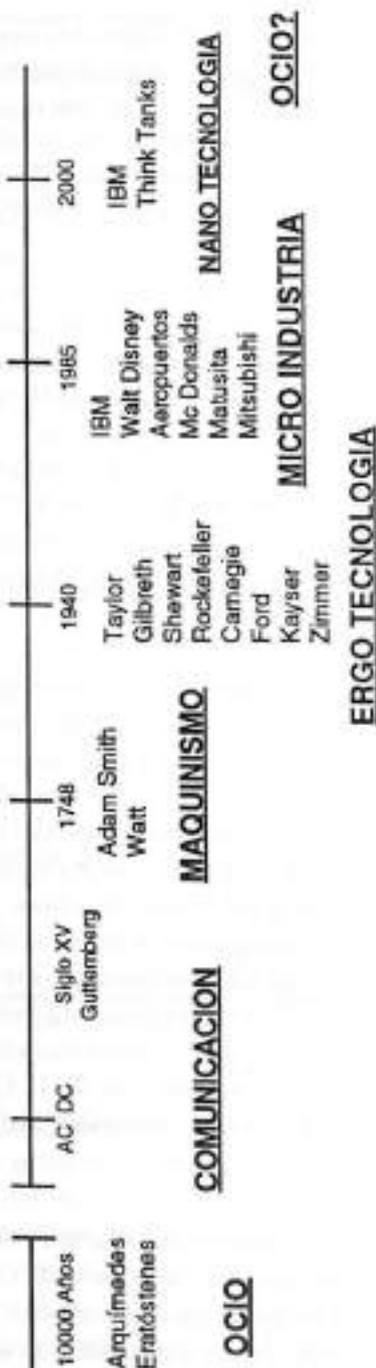
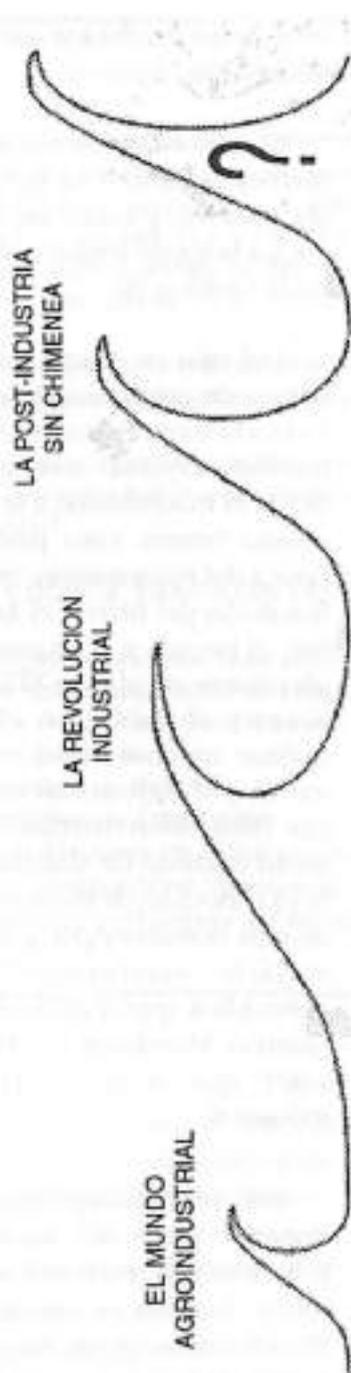
El pasado, presente y futuro de nuestra profesión va ligado al pasado, presente y futuro de los materiales, y a la transformación de la maquinaria (gráfico B).

Del telar de Watt a los telares de bala o de pinzas modernas y sobre todo a la transformación del trato del hombre, en esa revolución social desde el maquinismo a la robótica, y cuanto hemos visto pasar entre la época del maquinismo, que usaba la fundición del hierro, el acero, el cobre, el bronce y el plomo; y algunas aleaciones, en el siglo XIX el siglo del Acero y el Babbit con el objeto de realizar muchas veces mejor armamento y el siglo actual con dos épocas bien diferenciadas, la primera mitad tratando de abaratar costos de lo ya conocido, de mejorar el estándar de vida humano y por qué no decirlo matarlo masivamente en los genocidios que significaron las dos Guerras Mundiales verdaderos "crisoles" que originaron la ingeniería industrial.

Los altos polimeros definen la segunda parte del medio siglo al principio con intermedios carboquímicos y después de la II Guerra Mundial como productos primordialmente de la petroquímica, los materiales plásticos, las fibras sintéticas,

CUADRO A

LAS OLAS DE ALVIN TOFFLER



**La Revolución Industrial
(La Segunda Ola)**

CUADRO B

1746	James Watt. Motor a Vapor
Siglo XIX	Motor de Gasolina Ciclo Otto Motor Eléctrico Telar
1886	Gantt. Programación de actividades
1911	Taylor - Gilbreth
1914	Guerra Mundial. Primeros conceptos de la producción en masa y la estandarización del armamento. Nace el uso del aeroplano y el submarino.
1915	Ford. La cadena de Montaje. La Producción continua.
1918 - '32	La Mercadotecnia de las masas.
1930 - '40	Elton Mayo. Motivación del elemento humano.
1931	Shewarth. Aplicación de la estadística en la administración.
1934	Hitler - Alemania Nazi. Organización Industrial. Formación de carteles Ig Farben.
1939	II Guerra Mundial Aplicación de las técnicas de Ingeniería Industrial a la Producción de Guerra. Nacimiento de la Ingeniería Industrial como profesión: - Aplicación del Control de Calidad. - Producción en masa. - Logística.
1945	Post-Guerra. Crecimiento industrial de E.E.U.U. aplicación de las técnicas de guerra a la producción industrial - Los Generales en la Gerencia de empresas.
1947	George Dantzig. Desarrolla el método Simplex en la programación lineal. - El ordenador
1952	Samuelson. Publica técnicas de la investigación operativa dentro de su libro de programación lineal.

marcan un paso importante en esta etapa, debiendo la ingeniería industrial reducir costos de producción, adecuar al hombre a las nuevas tec-

nologías y estar presente en los próximos pasos que empiezan a comienzos del '70 con el diamante artificial, las aleaciones carburo-titanio para

los elementos de corte (base de la tecnología mecánica actual) y en nuestra época reciente con el descubrimiento del carbono 60 (el Bucky Ball) en 1987 y los carbo-metales y el Bucky Ball de nitrógeno encontrados recientemente que revolucionarán la tecnología actual, la química orgánica, la electrónica y la farmacología.

En los albores de la Ingeniería Industrial, la principal atención se colocó en la simbiosis hombre-máquina, la ergotecnología planificada, Taylor y Gantt lideran la lista de técnicos dedicados a "amalgamar" el hombre y la máquina y este esfuerzo se sublima al inventar Ford su línea de montaje de automóviles ejemplo de la industria de la Ira. Post Guerra por los años veinte, donde comienza la tendencia de la producción continua y masiva hacia la alta productividad, este sistema productivo tiene su prueba de fuego en la II Guerra Mundial y comprueba su obsolescencia cuando es utilizado en ésta. Quedando demostrado que no todo es producir masivamente; sino que hay otros sistemas que deben estudiarse. Es en esta segunda guerra (1939 - 1946), donde nace nuestra actual Ingeniería Industrial que genera la definición antes enunciada, cuando la industria se da cuenta que de nada sirve producir masivamente, si no se puede embarcar la producción por falta de medios y programas de abastecimiento y que las grandes fábricas

pueden paralizarse si no tienen una logística de sus materias primas y material, y es allí donde la ingeniería industrial se ve obligada a estudiar sus sistemas y operaciones, naciendo la investigación operativa como la base teórica para ayudar directamente a la producción. Los tenedores de este tipo de tecnología construyen el mundo moderno industrial, que se nutre con las experiencias de la II Guerra Mundial y desemboca en el maravilloso mundo de la Teoría de las Decisiones.

Edwards por los años treinta alerta sobre la necesidad de asegurar la calidad de la producción, Shewart en 1929 y posteriormente Grant, Juran y Levenwort, establecen la necesidad del uso de la estadística en la administración de la producción y su discurso es aplicado solo por la Bell Telephone que es luego contratada a comienzos de la II Guerra Mundial, para mejorar la operación de producción de guerra y recién aquí, en plena guerra se reconoce la teoría de aseguramiento de calidad de Edwards; y los Industriales por primera vez se dan cuenta que no todo significa producir en cantidad sino que es necesario cumplir ciertas especificaciones de calidad del producto final (gráfico C).

En la Post Guerra, como hemos señalado el nacimiento de los ordenadores, las pingües ganancias del

- **La Ingeniería Industrial**

"De la ciencia empírica aplicada a la aplicación de la teoría, en precedencia a las mejores prácticas del artesano a la línea de producción."

- Efectos de la II Guerra Mundial - Post Guerra.
- Era del Ordenador - a la Computadora.
- Teoría de la línea de espera y de las colas.
Servicios telefónicos, casetas de cobro de peaje, mantenimiento preventivo, modelos de reposición.
- **La Petroquímica.**
Nacimiento, estabilización y declinación.
- La Calidad Total, la especificación y control de calidad. Calidad Total cero defectos.
- La Ingeniería Humana, factores humanos.
La Biotecnología, la biónica - robótica.
- **Medicina:** De la cirugía artesanal a la medicina científica.
 - La aplicación del láser, ultrasonido, emisiones radioactivas, rayos gamma, el código genético, el ácido desoxiribonucleico.
- **Farmacéuticos:** De la Penicilina - al tratamiento celular.
 - El interferón.
- **Agricultura.**
 - Modificación genética tendiente a una alimentación masiva y económica.
 - Aplicación de nuevos métodos de riego.
 - Uso de tecnologías no tradicionales.
- **Agro Industria.**
 - Aplicación de nuevos métodos de mercados para colocación de los productos agrícolas.
 - Estudio sistemático de cultivos.
 - Piscicultura, avicultura.
 - Aplicación de los sistemas industriales en la explotación de porcinos, ganado ovino y lanar.
- **Comunicaciones.**
 - De las señales de fuego a la comunicación inalámbrica, del conductor de cobre a la fibra de vidrio.
 - Control de procesos a distancia.
 - Redes de Comunicación.
- **Tecnología de fermentación.**
 - La Microtecnología.
 - Manejo de las proteínas.
 - La Nanotecnología.
- La nueva organización.
La red de comunicación.
- Retorno de la producción continua a la unitaria por Batch controlado por PLC.
- Contaminación ambiental "0" y cero defectos.

mundo industrial hacen entrar en letargo los principios de control de calidad en E.E. U.U. y Europa, naciendo un nuevo líder de la producción en oriente, el Japón, quienes tienen en Deming, que trabajó con Shewart en el esfuerzo de guerra, al factotum de una nueva teoría de Calidad Total, cero defectos que solo se mantenía como un secreto tecnológico en las grandes multinacionales.

Los ordenadores y su tránsito a las computadoras inducen a nuestra profesión en la búsqueda de la miniaturización con el objeto de reducir más y más los tamaños y por ende los costos de estos engendros, entrando al mundo tecnológico e industrial y a una segunda fase, es decir, pasar de la ergotecnología, (la tecnología basada en el tamaño del hombre) a la microtecnología, los transistores, diodos y circuitos integrados, revolucionan la industria de la época actual y la aplicación de la robótica a la producción, cambian los tamaños de diseño, reduciendo el tamaño de las líneas de producción, la miniaturización de los instrumentos de control y su aplicación masiva obliga en la actualidad a reducir los tamaños de diseño, acorta las líneas de producción y, por qué no decirlo, regreso de sistemas de producción continua al de producción por cargas o batch con el objeto de reducir la inversión y el costo de maquinaria apoyándonos

en un mejor control de producción con instrumentos más elaborados y que prácticamente controlan todas las variables hasta ahora conocidas con microsensores y verdaderas miniaturas que alimentan controladores de tipo computacional.

Sin embargo, el campo de acción de la profesión no se circunscribe al área tecnológica; muchas veces tocamos campos, al parecer ajenos, que nos envuelven en discusiones bizantinas sobre el todismo o la especialización, ya que nos hace sentir invasores de otros campos del quehacer científico e ingenieril, por esa manía creada por nuestra formación de "meter las manos en todo", sistematizándolo, mejorándolo con la finalidad de reducir el costo y por ende el precio de cualquiera cosa, haciéndolo llegar a un vasto público consumidor, por lo que encontramos ingenieros industriales en casi todos los quehaceres del ser humano.

El sabio delinea la idea; el científico la pone en práctica, o descubre. Otros quehaceres de ingeniería dicen como producir, pero es el Ingeniero Industrial quien descubre los "nichos" de mercado y adecúa a estos al proyecto que hará que el producto descubierto o inventado por el científico, con un costo elevado, a veces tanto que sólo grandes empresas pueden costearlo, puedan llegar al público consumidor con un precio

adecuado, y retroalimenta la necesidad de este consumidor para mejorar el producto, ampliar la producción y reducir costos y precios.

Un colorante descubierto a fines de siglo pasado por Erlich dió a comienzos de este siglo el nacimiento a la quimioterapia moderna. En 1932 otro colorante derivado, el Prontosil es utilizado con éxito en el ser humano y de éste se descubre la sulfanilamida, la primera de las medicinas milagrosas introducidas en 1937 al mercado con precios elevados. El esfuerzo de la II Guerra Mundial obliga al mundo a usar las sulfas a un costo menor y nuevamente el ingeniero industrial con su metodología convierte un descubrimiento muy caro en sus comienzos a dosis que puedan conseguirse ahora a precios menores que medio sol.

Fleming en 1945 descubre la Penicilina y dá comienzo a la era de antibióticos, pero ¿a qué costo?. Cuentan que en 1947 se vendía en Europa a un costo de dosis de 500 dólares y hoy en día podemos comprar una cápsula de ampicilina (una penicilina más aplicable al hombre) en menos de 25 centavos de dólar, ¿quién, si no la técnica del ingeniero industrial para lograr este milagro?

La medicina, este arte de curar al ser humano, se apoya cada vez más en la ingeniería industrial de modo

que no es posible diseñar un hospital, definir los métodos de control de pacientes, la distribución de camas hospitalarias, consultorios masivos sin aplicar las técnicas propias de nuestra profesión.

De la II Guerra Mundial nace una nueva rama de nuestra profesión "la administración de negocios" y se aplican todos los criterios de gestión desarrollados durante la guerra a la industria abriendo el paso al Ingeniero Industrial a la gerencia. Y ahora podemos palpar que nuestra preparación dirigida hacia la dirección de la industria, era necesaria sobre todo el mundo actual tendiente a cero defectos, no contaminación, bajos costos, servicio al consumidor, y esta profesión con sus cuatro aristas bien marcadas investigación operativa que deriva a la toma de decisiones y con la ayuda de la computación, tecnología, producción y gestión empresarial nos servirán para formar al hombre que ahora necesitamos en la industria con capacidad promotora para generar nuevos puestos de trabajo, todo esto servido por una serie de sistemas y procedimientos que forman parte de nuestro léxico actual "JIT" (just in time), KAMBAN, CAD/CAM, CIM, MRP y otras.

La Ingeniería Industrial en el Perú ha caminado uncida al carro del desarrollo interno, hasta 1950 muy pocas industrias habían en nuestro me-

dio y ninguna universidad preparaba entonces ingenieros industriales aún cuando la escuela de ingenieros varía el nombre de sus profesionales para servir a la industria entre ingenieros químicos, químicos industriales, industriales y de sistemas, recién en 1963 sale la primera promoción como ingenieros industriales, de allí al momento actual 18 universidades forman en su seno ingenieros industriales con currícula de vocación tal.

En el interín la industria de manufactura es protegida dentro del régimen preconizado por CEPAL en toda Latino América y tiene un crecimiento sustantivo hasta 1972 donde las disposiciones de control de la composición del capital accionario, comunidad industrial, estatización de la empresa básica al "ojo de buen cubero" del gobernante de turno. Destruyen el quehacer industrial entrando en una Vía Crucis que tiene un renacimiento en 1985 al abrirse el crédito industrial a tasas bajas.

Desafortunadamente el anuncio de la estatización de la banca en 1987 y la devaluación en progresión geométrica subsecuente a las medidas económicas tomadas paralizan el crecimiento industrial hasta nuestros días. Hemos sido testigos en esa época no solamente del crecimiento industrial de la incipiente industria química, sino del nacimiento de una industria pesquera que fuera prácti-

camente paralizada en 1972 y reflatada últimamente, crecimiento de la construcción, metal mecánica en especial para el servicio del sector pesquero en la manufactura de plantas, conocimos cerca de 100 de éstas para harina de pescado, equipos y sobretodo de embarcaciones, el Perú contó alguna vez con 1200 bolicheras, todas construidas en el país en menos de 8 años, servicios a la minería contando hasta hace pocos años con una industria metal mecánica minera con un componente de exportación interesante. Desafortunadamente todo este esfuerzo se perdió y en este momento la industria esta aletargada, desanimada y necesita cambiar sus patrones de operación y una inyección sustantiva de capitales frescos.

Las nuevas políticas económicas de reducción de la tasa de importación, impuestos a la renta elevados, conservación de la paridad cambiaria a niveles debajo de los reales, contrabando, etc., desincentivan el quehacer industrial, sin embargo creo que no todo debe ser esfuerzo del estado, es necesario que nosotros ingresemos como Universidad a la reconversión industrial del país dirigida hacia la exportación incentivando aquellas industrias que usen insumos nacionales y aprovechar del bajo costo de nuestra mano de obra; debemos ingresar con más énfasis en la agroindustria para exportación, en la industria alimentaria con miras al abarata-

miento de los sistemas de cultivo, extracción, conservación, transporte, logística y exportación, cambiando en muchos casos incluso la vocación de algunos cultivos como el de la caña de azúcar por cultivos más rentables.

Ingresar definitivamente a ayudar a la pequeña y mediana industria sistematizándolas para eliminar las pérdidas y desperdicios de material y mano de obra que no es sólo de ellos sino que nos pertenecen a todos, y preparar al profesional peruano a vivir de cara al mundo exterior conociendo y viendo con los ojos abiertos esto que se ha venido a llamar el Shock del futuro (gráfico D).

Hemos pasado del maquinismo, al mundo industrial actual, de la ergotecnología a la microtecnología; nos toca ahora afrontar el futuro. Ese futuro que ya empezó antes de 1985 con Richard Feynman y que Drexler en noviembre del año pasado enunciara en Palo Alto como el comienzo de la nanotecnología, la manipulación de la molécula por el hombre y la construcción desde ésta a formar macromoléculas, las primeras máquinas nano han sido ya comprobadas en su funcionamiento por la IBM y se preconiza que en el próximo medio siglo estaremos confrontados al desarrollo de nuevos y maravillosos productos desde la molécula de proteínas y mas allá desde cualquier tipo molecular.

El mundo, cambia de la destrucción del bloque de mármol tallado por Leonardo y Miguel Angel para dar al mundo hermosas piezas de arte; a la construcción a partir de la molécula, a formar nuevas macromoléculas (gráfico E) acomodadas como la naturaleza actúa, repitiendo los procesos naturales pero a mayor velocidad, una pulgada de estalactita o estalagmita necesita un siglo para crecer, una pequeña concha de abanico, el material cerámico de más resistencia que se conoce requiere 10 años para formarse, las nuevas teorías nos harán producir cerámicos, máquinas macro moleculares en menores tiempos, reduciendo los tiempos de acomodación molecular para producir cerámicos de alta resistencia, diamantes artificiales para operaciones de corte más rápidas y máquinas macro moleculares, que darán lugar a computadores más pequeños que interactuarán con el cerebro y el organismo humano.

El mundo científico está colocando en nuestras manos un nuevo camino, la nanotecnología, las nuevas macromoleculares de carbono, carbottanio. Y nitrógeno en formas nuevas nunca antes conocidas que revolucionarán las nuevas técnicas de operación, la micro-micro computadora entrará en nuestras vidas a comienzos de siglo XXI, la experimentación espacial cambiará la forma de la nueva producción; se están

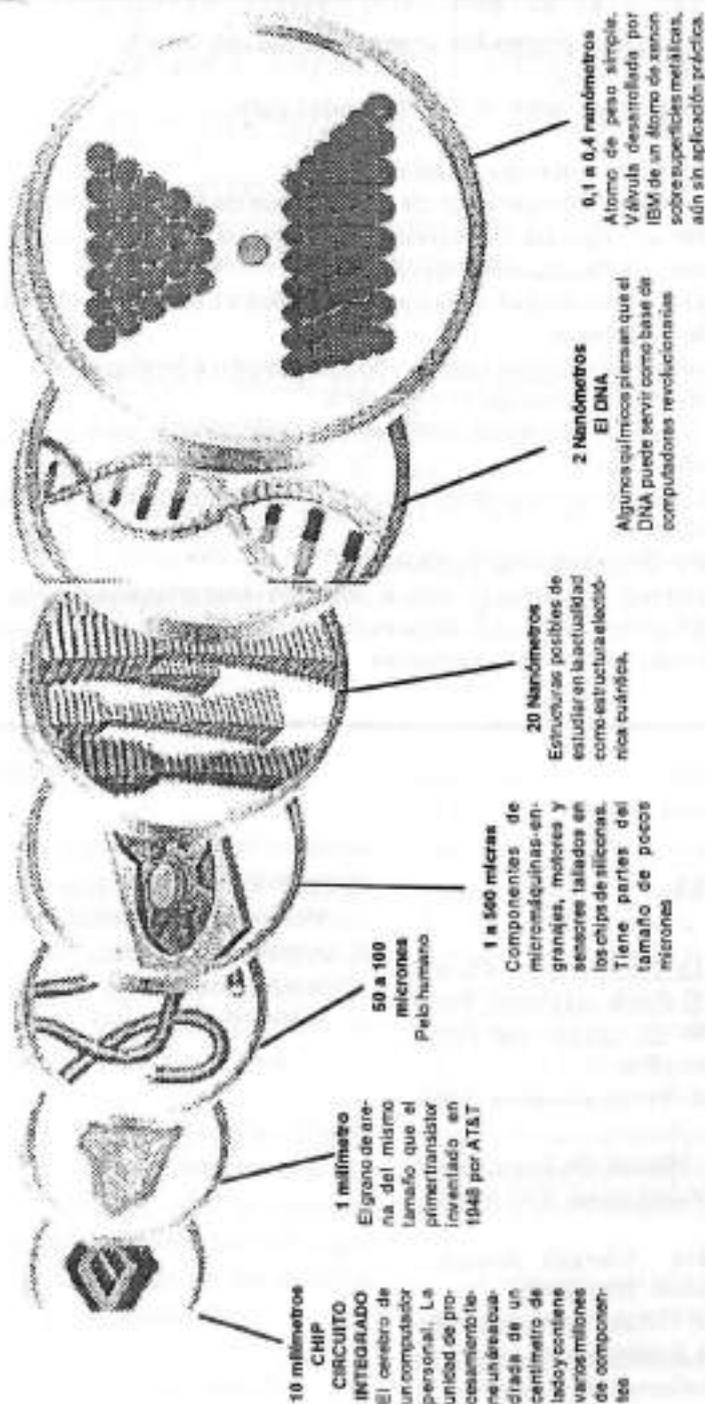
NANOTECNOLOGIA

- Richard Feynman. 29 dic. 1959, en Caltec predijo crear conductores de 10 átomos de diámetro.
- Gregory Bolsen Northwestern University 1986, átomo + átomo.
- Biomimetics Goodrich CO's Geom Div.
- IBM STM 1985 - Scanning - Tunneling Microscope. Materiales inteligentes.
- Chips de 200 Nanometros, actuales de 10'000 000 nanómetros (10 NM). Límite: Delgadez del conducto.
- Eric Drexler. 1992. Unbonding The Future.
- Las máquinas moleculares. Filtros nanométricos.
- Switches Monoatomicos - IBM
- Máquinas micrométricas.
- Uso de las proteínas como mecanismo de producción.
- Richard Smalley, 1989. Bucky Ball. Molécula de carbono de 60 átomos. Buckminster Fullerene.
- Los carbo titanatos Bucky Ball.
- Bucky Ball de nitrógeno.

modificando genéticamente cultivos a formas más resistentes a las plagas, animales a mayor producción de alimentos los métodos tecnológicos darán un giro mayor en los próximos 10 a 15 años. Pasamos del conductor de hierro, al cobre, al aluminio, y con una tecnología diferente a la fibra de vidrio para la comunicación. El mundo conoce lo que sucede en otro lugar en sólo segundos con la comunicación satélite, yo invito a reflexionar: ¿estamos preparando debidamente a los profesionales que comprenderán estos cambios tecnológicos

donde los límites serán solo los que nos impongan la ética profesional?; la respuesta debe ser motivo de reflexión y asunción de nuestra responsabilidad.

CUADRO E



¿Qué hacen los Ingenieros Industriales?

Los Ingenieros Industriales están entrenados para:

- Diseñar e instalar sistemas de fabricación.
- Planificar y mejorar la operación de los sistemas de fabricación existentes.
- Desarrollar un sistema de servicio eficiente de entrega para ambos, organización de fabricantes y servicios.
- Aplicar nuevas tecnologías tales como: Robótica y Lasers, a la variedad de labores de Ingeniería.
- Aplicar nuevas tecnologías tales como: Simulación e Inteligencia Artificial, para resolver problemas de la Ingeniería.
- Analizar y evaluar sistemas complejos y crear formas para mejorar su rendimiento.
- Evaluar alternativas competitivas para proyectar y planear su proceso de implementación.
- Gerenciar y dirigir personal y proyectos.
- Los Ingenieros Industriales son a menudo seleccionados para altos puestos de gerencia, porque ellos están bien calificados para interactuar con personas, tecnología y sistemas.

BIBLIOGRAFIA

Alvin Toffler. La Tercera Ola. Plaza y Janes 1981; El shock del Futuro Plaza y Janes 1988; El Cambio del Poder Plaza y Janes 1990.

Popular Science. Varios números. 1991-1993

Maynard H.B. Manual de Ingeniería y Organización Industrial. 3ªed. Reverte 1988

Mundo Científico. Scientific Research. Varios números. 1991-1993

Frederic Shillier, Gerald Lieberman. Introducción a la Investigación de Operaciones, McGraw Hill set1991

Philip B. Crosby. Hablemos de Calidad. McGraw Hill jun 1990

E. Deming Out of crisis. 1987

Chemical Engineering Features. Varios números, 1992-1993