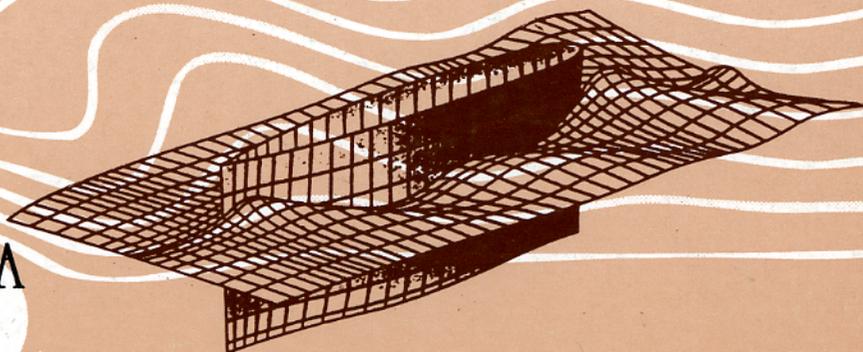
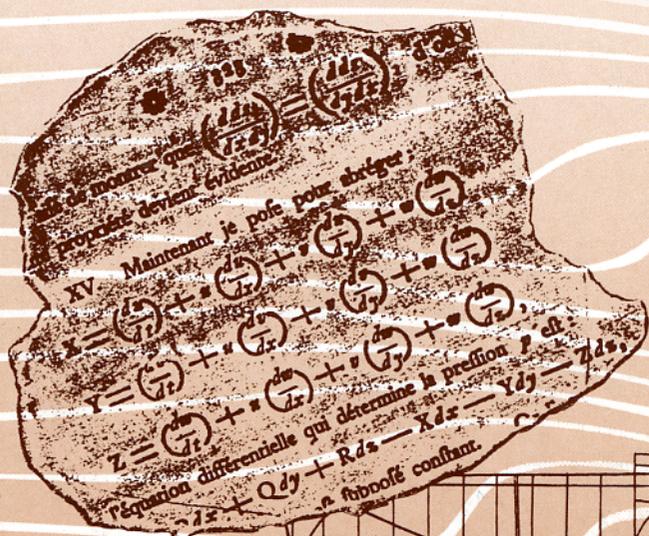


# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica  
JULIO/DICIEMBRE 1993 VOLUMEN 3 No. 2



INGENIERIA  
1993

# SISTEMA DE INFORMACION DISTRIBUIDA PARA MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA COSTA RICA<sup>1</sup>

*Ismael Mazón\**  
*Freddy Rojas\**  
*Guillermo Loría\**  
*Eduardo Navas\**

## Resumen

Este documento se enmarca dentro de la idea de orientar la automatización industrial (AI) a la industria costarricense; para ello el trabajo está delimitado en tres áreas: perspectivas de la manufactura en la industria costarricense, en contraposición a las teorías y realidades que viven los países desarrollados. Definiciones y conceptos de AI y sus implicaciones hacia la integración de nuestra sociedad dentro de este marco de referencia. La tercera área la constituyen los niveles de desarrollo tecnológico en nuestro país, así como la metodología por seguir de parte de un equipo de trabajo, con el objetivo de orientar la metodología AI hacia la industria nacional, en la forma más objetiva.

## Summary

This paper tries to serve as an introductory guide in the industrial automatization (IA) of Costa Rican industries. The contents are divided in 3 areas: a) Manufacturing perspectives in the Costa Rican industry including a contrast of the theory and the realities that developed countries face; b) definitions and concepts of IA and its implications toward the integration of our society within this reference model; c) technological development levels in our country, as well as an objective methodology that a working team in AI should follow to develop IA in our national industry.

## 1. INTRODUCCION

La industria ha sido el principal impulsor del desarrollo de los países desarrollados. En especial en estos países, la industria de producción de bienes de capital ha venido creciendo a un ritmo bastante fuerte, respecto a la de bienes de consumo. Este sector ha jugado un papel muy importante en el crecimiento de empleo y la producción y en el desarrollo de la tecnología.

En América Latina, por el contrario, la producción de bienes de capital tiene un papel secundario y no ha sido un elemento dinamizador de la producción. Una de las debilidades más importantes es que este sector ha dependido fuertemente de tecnología importada.

Los beneficios principales económicos, derivados de un aumento en la importancia relativa de la industria de bienes de capital, son dos:

1. Es intensiva en mano de obra calificada y que, en estos países, podría existir personal calificado en cantidad suficiente para ser empleados en nuevas industrias, con un nivel salarial menor que el devengado por el mismo tipo de personal en los países desarrollados.

\* Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Universidad de Costa Rica

<sup>1</sup> Este artículo corresponde al proyecto de investigación CIMIS. net.

Un ejemplo claro de esta situación es el de la producción de hardware y software para la automatización industrial, que es intensiva en personal altamente calificado.

2. Es un generador de innovación tecnológica.

Pese a lo anterior no se ha producido un incremento apreciable del sector en los países latinoamericanos, pues se ha puesto énfasis en el crecimiento de la industria de bienes de consumo.

## 2. LA INDUSTRIA DE BIENES DE CAPITAL EN COSTA RICA

El desarrollo industrial de Costa Rica se inició en la década de los años cuarenta a raíz de las transformaciones políticas de ese período y, dio origen a una industria dedicada casi exclusivamente a la sustitución de importaciones de bienes de consumo final.

Surgió gracias a una gran protección estatal, con fuerte apoyo de inversión externa y ha sido dependiente tecnológica, financiero y comercialmente.

El estilo de desarrollo que siguió el país hizo crecer la economía a tasas de alrededor del 7% anual.

Durante la década de los 80 el estilo de desarrollo seguido entró en crisis. Se viven cambios importantes en la organización social y económica que afectan directamente el desarrollo industrial.

Actualmente no existe una estrategia de desarrollo que incluya el desarrollo de la industria de bienes de capital.

El sector está compuesto por 97 empresas. El 64% produce para la industria y la agroindustria. El 29% son empresas de servicio. Los bienes que se producen para la agroindustria son usados principalmente por los beneficios de café, los ingenios de caña de azúcar y las procesadoras de granos.

Para la industria el equipo del tipo universal (ductos, abanicos, calderas, etc.) es el que tiene más demanda, le sigue luego el equipo para la industria de alimentos.

Los bienes para servicios se utilizan principalmente en instalaciones eléctricas, en transportes y en la agricultura.

En la industria local de bienes de capital los procesos más frecuentes son: el corte, la soldadura, el ensamble mecánico, el maquinado y el doblado. La fundición y la forja son poco usuales.

Para este sector han sido eliminados las protecciones arancelarias y el financiamiento ha sido escaso. Tampoco el Estado ha hecho efectivo su poder de compra para apoyar este sector.

## 3. AUTOMATIZACION INDUSTRIAL EN COSTA RICA

La excelencia en la manufactura está sustentada en tres estrategias básica.

1. Máximo aprovechamiento de los recursos humanos.
2. Aplicación efectiva de sistemas de organización del trabajo.
3. Tecnología de automatización.

La primera trata sobre la manera correcta de motivar y preparar a los empleados de la empresa para un trabajo de innovación continua.

La segunda trata sobre el uso de las cuatro formas probadas de trabajo en los procesos de manufactura: control total de la calidad, ingeniería concurrente, manufactura justo a tiempo y mejoramiento continuo.

La tercera trata sobre la selección apropiada y la implementación de tecnologías de automatización. Una fuente efectiva de recursos humanos y métodos probados de trabajo deben ser acompañados por herramientas apropiadas que ejecuten los objetivos de innovación y producción.

Estas estrategias deben estar basadas en tecnologías que no son, necesariamente, las más caras.

Las tecnologías más apropiadas de automatización se basan en arquitecturas de procesamiento cooperativo distribuido. Esto es, la unión de estaciones de trabajo inteligentes y tecnologías de integración de sistemas con software optimos para cada aplicación.

El alcance de la manufactura automatizada abarca: Planeamiento integrado del negocio y sistema de control mediante herramientas de ingeniería de sistemas apoyado por computador (CASE); ingeniería de producción y sistemas de especificación (Ej.: Diseño apoyador por computador/Ingeniería apoyada por computador), tecnologías de

inventario automatizado, intercambio electrónico de datos y automatización de oficinas.

Las tecnologías de automatización deben ser diseñadas para apoyar al usuario en los objetivos de producción y mejoramiento continuo. A esto se le llama "Ingeniería de Automatización alrededor del usuario".

Las tecnologías de automatización deben respaldar todo el trabajo de proceso seleccionado por el empresario (Ej.: justo a tiempo, control total de la calidad), uniendo el trabajo de oficina y el trabajo de planta.

Es esencial que las tecnologías de automatización sean integradas considerando: exactitud en los datos, no redundancia, utilizando el mínimo producto y el mínimo tiempo de ciclo de proceso.

Deben seleccionarse tecnologías de calidad y desempeño apropiados que sean suministradas por empresas con experiencia y visión clara de los objetivos de excelencia de manufactura.

En la economía global en que vamos a vivir, los empresarios que no tengan la visión de implementar las tres estrategias mencionadas, irán perdiendo mercado paulatinamente y serán reemplazados por sus competidores nacionales o extranjeros.

El primer paso por seguir para automatizar una industria es el estudio del sistema de producción, esto permitirá su visualización global y permitirá identificar las posibles etapas que serán automatizadas. En general esto se realiza mediante la incorporación de dispositivos de control automático tales como:

- Controladores lógicos programables y controladores independientes.
- Sistemas de sensado, actuación y transmisión.
- Microcomputadoras o computadores de procesos.

Estos equipos pueden ser eléctricos, electromecánicos o más complejos.

En etapas posteriores deberán incorporarse:

- Máquinas-herramientas de control numérico.
- Unidades centrales de procesos.
- Redes de computadoras
- Robots.
- Equipos de ensayo y control de calidad.

El "software" juega un papel vital en el proceso de automatización. Se espera que este papel

se incremente sustancialmente; para el año 2000, en los países desarrollados se estima que sobre el 75% de los fondos que se invierten en la automatización de fábricas serán en software, algunos de estos programas apoyan las siguientes actividades:

1. Diseño y manufactura de productos (CAD/CAM).
2. Simulación de procesos.
3. Sistemas de optimización de la producción.
4. Planificación de la producción, incluyendo las materias primas y los recursos de fabricación.
5. Garantía de calidad y su control estadístico.
6. Prueba y medición de productos y subproductos.
7. Sistemas de fabricación flexible.
8. Control y supervisión de sistemas.

Actualmente están naciendo muchas compañías de software en áreas variadas. Para un futuro estas empresas integrarán software, proveniente de diferentes orígenes, en sistemas que realizan funciones o aplicaciones específicas. Este software será aplicado jerárquicamente a todos los niveles de la fábrica en forma inmediata.

Aproximadamente, hasta finales de la década de los ochentas, el proceso de automatización de la industria en Costa Rica fue un proceso muy lento, fundamentalmente por la falta de incentivos al industrial, la no apertura a mercados de algunos productos, escasa capacitación del personal técnico, costos muy elevados de los equipos de control, etc.

La competitividad de los productos para ganar nuevos mercados, al desarrollo de equipos de control más baratos, un mejor conocimiento sobre las bondades de la automatización por parte del industrial y del personal técnico, etc., han llevado a un evidente crecimiento en el número de procesos automatizados.

Ahora bien, la automatización industrial sigue siendo débil especialmente en aquellas empresas de capital nacional, no así en las de capital extranjero, en donde su permanente contacto con el mercado mundial les permite una mejor visión y guía para tender a una optimización de los procesos de producción.

La utilización de Sistemas de Control Distribuido (DNC) ha sido un proceso aún más lento. Fábricas de: azúcar de caña, energía eléctrica y cemento, son algunas de las industrias que han

incursionado en los DNC como opciones para mejorar su producción. Actualmente, las industrias que se lanzan a la automatización inician con proyectos pequeños adquiriendo controladores que tengan capacidad de comunicación para que, en un futuro, puedan crecer hacia los DNC manteniendo las inversiones iniciales.

#### 4. MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM)

Este término debe interpretarse como la culminación de un proceso de automatización total de un sistema de producción.

Este proceso debe darse en forma escalonada, complementando etapas previas de menor jerarquía de automatización. En la fig. 1 se muestra un esquema de los diferentes subsistemas que componen un sistema CIM, así como sus diferentes jerarquías de incorporación.

Un sistema CIM está compuesto por los siguientes subsistemas:

##### 1. CAM:

Cuyo objetivo fundamental es la planificación y ejecución de la producción con el apoyo de computadores. Abarca las siguientes fases del proceso de producción:

- a. Preparación de trabajos.  
Determina: qué, cómo, y con qué medio se producirá.
- b. Planificación de la producción.  
Determina: cuánto, cuándo, dónde y por quién se producirán.
- c. Manejo de la producción  
Determina: el comienzo de la producción y controla su ejecución.

Este sistema requiere del soporte de los siguientes subsistemas:

CAT (Computer Aided Testing): Su objetivo es la ejecución de ensayos técnicos mediante su aplicación de computadoras.

CAP (Computer Aided Planning): Su objetivo es la planificación en el área técnica de la empresa.

CAPP (Computer Aided Production Planning): Su objetivo es la planificación y manejo de la producción.

Así mismos estos tres subsistemas se apoyan en un sistema CAE de ingeniería apoyada por computador, mediante el cual pueden aplicarse los sistemas de cómputo en áreas preproductivas. Este subsistema sirve de apoyo al sistema CAD.

##### 2. CAD: (Computer Aided Design)

Su objetivo es el diseño y cálculo de la construcción de productos mediante computadoras. Trata sobre el desarrollo de los productos en las etapas de: planificación, concepción, diseño y elaboración de la construcción.

##### 3. FMS: (Flexible Manufacturing Systems)

Su objetivo es la producción y el ensamblaje mediante una operación apropiada de: Centros de maquilado, máquinas de control numérico, robots, almacenaje automatizado y transporte automatizado.

Incide directamente en los sistemas de producción, las máquinas y los centros de maquinación, los sistemas de manejo de materiales, los sistemas de almacenamiento y los de flujo de materiales.

##### 4. DNC: (Direct Numerical Control)

En el que se incorporan en todas las etapas del proceso tecnologías de control distribuido y control digital directo. Este se logra mediante la instrumentación apropiada de variables controladas y las variables de control, definidas en diferentes jerarquías de mando. Se inicia con los niveles de control más bajos, controlando una sola variable mediante controles digitales directos o analógicos y, con más jerarquía, con controles supervisores que establecen las referencias de los controladores.

Lo anterior se efectúa mediante sensores apropiados para las mediciones y actuadores y elementos finales que ejecutan las ordenes de los controladores individuales, controladores lógicos programables y computadoras de procesos.

## 5. RD: (Data Register)

En este se incorpora todo el hardware de sentido, accesorios para el acondicionamiento de señales, unidades de adquisición de datos y el hardware y software de análisis. Mediante esta tecnología es posible monitorear a tiempo los puntos más importantes de proceso para luego procesar esta información por estaciones de trabajo, computadores o controladores programables.

Hace unos años el costo de los equipos de cómputo (software y hardware) era muy alto. Sin embargo, hace aproximadamente unos 10 años con la introducción de los microcomputadores en el mercado, especialmente los PC compatibles (procesadores 80xx), el panorama empezó a cambiar.

Aún así, los microcomputadores de esa época no eran adecuados para aplicaciones CIM. Es entonces, a principios de esta década que el precio-rendimiento de los microcomputadores y estaciones de trabajo unix ("workstations") hacen posible especialmente en los países desarrollados, el desarrollo de aplicaciones CIM.

Las tecnologías que comprenden un sistema CIM se fueron desarrollando independientemente y en diferentes tiempos. Es decir, primero se introducen los controladores en las industrias y estos van evolucionando hasta llegar a desarrollar los robots, más adelante se introduce el CAD y estos han ido evolucionando desde herramientas para hacer simples dibujos a herramientas para desarrollar diseños complejos en una industria. Todo esto desembocó en lo que es CAD/CAM y más adelante se llegó a lo que es CAE/CAD/CAM.

Estos cambios ocurrían en la parte de producción de las industrias, pero al mismo tiempo se iba computarizando las funciones administrativas y financieras de esa industria. Más recientemente, se desarrollaron otros sistemas de soporte a la toma de decisiones como son el manejo de materiales, la mano de obra requerida durante el proceso de manufactura, control y manejo del inventario, seguimiento de los centros de costos, etc.

Este desarrollo, de abajo hacia arriba, produjo que se desarrollaran todos estos sistemas que conforman un sistema CIM, de forma independiente y aislada unos de otros. Además, el costo de cada uno de esos sistemas (hardware, software) y el entrenamiento de los usuarios hace que el objetivo sea integrar esos sistemas independientes a través de redes de computadores.

Dentro del marco que los sistemas integrados para manufactura por computadora, hay un punto de vital relevancia para la tecnología costarricense, este se delimita en la necesidad de interconectar el proceso de manufactura con una cadena de niveles o redes que permiten la integración de sistemas. Sin embargo, hay una gran cantidad de computadores PC en el mercado de la automatización de oficinas, el cual espera incorporar parte de este potencial dentro de los procesos CIM, de allí la importancia de contar con una visión completa en este campo.

Uno de los marcos de trabajo sobre los que se ha generado siempre problemática es el utilizar computadores personales compatibles, dentro de la ingeniería de control y procesamiento de información en forma directa sobre el proceso en que se está trabajando.

Aspectos intrínsecos directamente en la arquitectura de estos computadores, combinados con la carencia de "software" adecuado, negaron por muchos años a esta tecnología una forma fácil y directa de formar parte de procesos de control automático en forma segura. Los avances tecnológicos en combinación con algunos paquetes opcionales para control directo por PC, han permitido mecanismos interesantes para la captura, análisis y acción de computadores personales en estas ramas de la ingeniería.

## 5. SISTEMAS DE LIBRERÍA MULTITAREA A TIEMPO REAL (SLMTR)

En el ámbito de lo indicado en el capítulo anterior se ha desarrollado a lo largo de los últimos años en Costa Rica (1991 y 1992) una herramienta de operación que amplía notablemente la capacidad del sistema operativo DOS -primitivo de los computadores personales PC XT- de modo que permita desarrollar programas, que una vez en ejecución se autodividen con capacidad de "tiempo real" y "multitarea", seguras para brindar: control, supervisión y adquisición de datos en condiciones confiables y oportunas a la necesidad.

El sistema fue escrito sobre lenguaje C++, o programación en C por objetos y está basado en dos capas de operación, la capa operativa consiste en la definición de núcleos u objetos para la entrada y salida de datos, unidades para cálculos intermedios y el procesamiento de información de

disco; dichos núcleos están montados sobre la segunda capa de sistema extendido, esta es una entrada salida original del computador BIOS. Dicha capa es la conformada por una serie de pequeños programas totalmente reentrantes (múltiple ejecución simultánea), que se insertan dentro del sistema original (DOS y BIOS) y lo transforman en un pequeño entorno capaz de soportar múltiples aplicaciones, ejecutándose simultáneamente en tiempo real con características semejantes a OS/2 o Unix con una orientación neta hacia procesos. Esta capa fue el corazón de un proyecto piloto que en 1991 se denominó SLMTR o Sistema de Librerías Multitarea y Tiempo Real.

Esta capa de sistema extendida está conformada por los siguientes módulos.

1. Unidad de tiempo real para ambiente multitarea; esto permite asignar procedimientos (subrutinas) como tareas autónomas, que se ejecutarán en ambiente multitarea, compartiendo tiempo con otros procedimientos asignados a dicho entorno. Con esto un sistema de temporización, bloqueará y rehabilitará cada tarea en un tiempo definido sin ningún conflicto a nivel de sistema operativo. Esto se logra siempre y cuando se respeten unas muy leves restricciones en el uso de dicho sistema.
2. Unidades de tiempo real por interrupciones "hardware" para el soporte de unidades estándares y especiales de tiempo real. En estas hay soporte para: ratón, teclado, puerto asincrónico, así como tarjetas de adquisición de datos para procesos de control.

La capa operativa, contiene unidades para:

1. Soporte de texto para manipulación de ventanas, mediante menús "Pull Down" y unidades de soporte de entrada de datos con "Scroll".
2. Soporte gráfico de muy alta calidad similar en acabado a LabWindows de National Instruments o Microsoft Windows 3.1., con objetos para la construcción de paneles de instrumento, graficación y presentación.
3. Soporte de Base de datos orientada a objetos, basada sobre el algoritmo BTREE y con

verificación de errores mediante CRC, encriptamiento de información y capacidad de indexación; esta base funciona tanto para administrar datos, como objetos gráficos, acciones de control o cualquier tipo de información.

4. Unidad de edición para reportes a impresora de alta calidad.
5. Unidad de soporte de "nivel de ayuda", (actualmente en proceso de desarrollo).

Todo este grupo de herramientas permite a un usuario desarrollar programas de aplicación en lenguaje C++, para la interacción directa de un computador con el medio ambiente (un proceso de centro, supervisión, multiprocesamiento, etc), en una forma bastante funcional. Las herramientas, además de su funcionalidad, aíslan al usuario del conocimiento técnico de las interfaces de multitarea y tiempo real, para lo cual basta llamar un objeto patrón, el cual internamente instala todo el entorno requerido.

## 6. APLICACION DE REDES EN SISTEMAS CIM

La introducción de las redes de computadores es para que sirvan como vehículo para lograr la integración de los subsistemas de un sistema CIM. Sin embargo, estas redes involucran medios de transmisión, interfaces de conexión a la red, protocolos de comunicaciones, y además, hay que tomar en cuenta los diferentes tipos de estructura de archivos de cada sistema y/o aplicación para lograr una interoperabilidad adecuada.

Esta solución no es sencilla porque el simple hecho de introducir redes aumenta la complejidad del sistema integrado.

Existe una gran variedad de medios de transmisión, hardware de interconexión y protocolos de comunicaciones. Aún cuando hayan estándares, existe el problema de que hay muchos y no todos los fabricantes de un mismo estándar son compatibles entre sí. Los estándares de los niveles bajos de OSI (ethernet, token ring, etc.) son más universales y hay menos problemas de compatibilidad, sin embargo, con los niveles medios y superiores de OSI la situación es muy distinta.

Se considera que la introducción de sistemas CIM en Costa Rica seguirá el mismo patrón de abajo hacia arriba y de interconectar subsistemas independientes que se ha seguido a nivel mundial.

Probablemente una particularidad de esta evolución en Costa Rica será la gran base instalada de microcomputadores PC compatibles a redes Novell y la poca existencia de máquinas UNIX y otras máquinas con diferentes sistemas operativos.

## 7. DESARROLLOS FUTUROS

Se considera que ya se ha desarrollado un entendimiento de cómo diseñar redes desde el punto de vista de infraestructura. Sin embargo, se necesita ahora desarrollar experiencias en la parte de protocolos de comunicaciones, como TCP/IP, IPX/SPX. Asimismo, se necesita desarrollar experiencias en la utilización de interfaces para programas de aplicaciones (API) como Netbios y ambiente de TCP/IP (sockets). Para estos proyectos se deberá reforzar la programación en lenguaje C, probablemente Pascal y en ensamblador.

También, es necesario hacer desarrollos, usando el sistema operativo DOS debido a la gran base instalada de microcomputadores PC compatibles, pero dado que los precios de máquinas 386 y 486 están empezando a bajar y eventualmente se espera que se empiece a utilizar "workstations", se desea desarrollar herramientas o coordinar proyectos de tesis para el diseño de sistemas de apoyo similares al SLMTR dirigidos a otras arquitecturas de computadores o sistemas operativos, en los cuales se garantice una interface previa capaz de soportar procesamiento en tiempo real y en multitarea. Como ejemplo el estudio de una posible interface más amigable que SLMTR sobre ambiente Microsoft Windows con lenguaje BORLAND C++, BORLAND PASCAL, Microsoft C., etc.

Además, se creará un laboratorio de interconexión de redes para investigar, desarrollar y adaptar tecnologías para CIM. Contará inicialmente con analizadores de protocolo y de cableado, modems, PC's y una estación de trabajo.

Para aquellas condiciones particulares en las cuales la aplicación CIM así lo requiera se desarrollarán programas de aplicación, que se basarán en el paquete SLMTR o sobre otra tecnología que se esté valorando.

En una siguiente etapa se deberá introducir más fuertemente en el campo de las bases de datos, e inteligencia artificial.

## CONCLUSIONES

1. El desarrollo de la industria de bienes de capital no ha producido un impacto importante en la producción de nuevas tecnologías.
2. Con los cambios estructurales de la economía y la política de globalización se espera poder ampliar los mercados y con este incrementar las posibilidades de desarrollo tecnológico.
3. Una premisa fundamental para lograr la excelencia en la manufactura es la automatización.
4. La automatización es un proceso graduado que los países más desarrollados han ido alcanzando paulatinamente. Costa Rica ha seguido un proceso similar.
5. Los costos de la tecnología de automatización han comenzado a ser accesibles para los países en desarrollo por lo que se espera a mediano plazo un incremento en el uso de estas tecnologías.
6. La gran base de PC instalada en Costa Rica hace prever que los desarrollos futuros en el campo de la automatización deberán ser, al menos inicialmente, en estas tecnologías.
7. Dado que la Universidad produce más del 70% de la investigación tecnológica del país, es aquí donde deben hacerse esfuerzos importantes para el desarrollo y adaptación de tecnologías de automatización. (CIM).

## BIBLIOGRAFIA

1. Thomas B. Bullock. "Computers and Factory Automation". Motion Control U.S.A., marzo 1992.
2. Cuarta consulta sobre la industria de bienes de capital, con especial referencia a las máquinas herramientas.

- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Praga, setiembre 1991.
3. National Instruments: the software is the Instrument. U.S.A., 1992 (edición anual).
  4. Paul G. Shreirer. Software review: Data acquisition under visual basic. Personal Engineering and instrumentation news, U.S.A., abril 1992.
  5. Quinn-Curtis. Real-Time Graphics and Measurement and Control Tools. Revisión 3.0, U.S.A., 1992.
  6. Data acquisition/software Analysis. Programmer's Paradise. Voyager Software Corporation, 1992.
  7. Kompass, E. J. "Reviewing PC-based software for control Engineering". Control Engineering. U.S.A., noviembre 1988.
  8. M. Lehtinen. "Where is the Industry heading?." Industrial Computing. U.S.A., oct. 1991.
  9. Sepehri, Mehran. "Integrated Data Base for Computer-Integrated Manufacturing". Revista IEEE Circuit and Devices Magazine. March 1987., 48-54.