

Ingeniería Simultánea

Un enfoque para reducir los tiempos de entrega, mejorar la calidad y disminuir los costos

Carmenza Luna Amaya*

Resumen

A fin de alcanzar éxito y organizaciones fuertemente competitivas se debe adoptar rápidamente nuevas ideas y conceptos. Este artículo presenta el concepto de Ingeniería Simultánea o Concurrente y considera sus características más importantes confrontándolo con la Ingeniería Convencional. También hace referencia a las técnicas asociadas a la Ingeniería Simultánea y la manera como ésta impacta la cultura de las organizaciones.

Palabras claves: Ingeniería simultánea, ingeniería concurrente, desarrollo integrado de producto, empresa extendida, equipos de trabajo multidisciplinario, ciclo de vida del producto.

Abstract

In order to achieve success and strongly competitive organizations, new ideas and concepts must be adopted quickly. This paper presents the concept of Simultaneous Engineering or Concurrent Engineering, considers its most important characteristics and compares it with Conventional Engineering. It also refers to the thecnics associated with Simultaneous Engineering and how they impact the organizational cultures.

Key words: Simultaneous engineering, concurrent engineering, integrate development of products, extended enterprise, multifunctional work group, product life cycle.

Introducción

«Algo pasó a mediados de los 80. Algo grande. Una de esas revoluciones silenciosas que se extienden con la constancia de la niebla sabanera hasta envolverlo todo. En unas partes el cambio se hizo visible de inmediato—en Berlín fue el muro—y en otras no. Pero al comenzar la siguiente década ya todo era diferente y Colombia, el Tíbet de Sudamérica, había descendido para hacer

Fecha de recepción: Marzo 15 de 1999

* Ingeniero Industrial, Universidad Industrial de Santander; especialista en Gerencia de Empresas Comerciales, Universidad del Norte; especialista en Gestión Industrial, Universidad Politécnica de Valencia, (España) y candidata a doctor de esta misma universidad. Directora y profesora del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte. (E-mail: cluna@uninorte.edu.co)

parte del resto del planeta».¹

Así comienza uno de los artículos de la separata sobre «El drama del desempleo» que el periódico el *Tiempo* publicó el pasado primero de abril. Aunque nos parece una cita sacada de una novela de misterio, forma parte de la gran realidad que no sólo vive nuestro país sino todos aquellos que no estaban preparados para la globalización que abiertamente se dio al inicio de la década del 90. El orden económico cambió y las empresas se vieron obligadas a competir en los mercados mundiales y a abandonar el provincialismo al que estaban acostumbradas por el esquema proteccionista que hasta ese momento se venía aplicando. El reto era poner a la industria colombiana en un lugar competitivo en un tiempo récord.

El incremento de la competencia y la incesante demanda del mercado, que pide innovaciones aceleradamente, son características del entorno actual, que exige a todos los sectores, especialmente a las compañías manufactureras, un cambio drástico hacia productos de alta calidad, de bajos costos y con tiempos de entrega mínimos. Por tanto, adoptar un enfoque orientado al cliente es la vía certera para lograr estas metas. La filosofía de Ingeniería Simultánea ha mostrado excelentes resultados en la mejora del desarrollo del producto en muchas compañías en diferentes países y sectores. No en vano empresas como Toyota, Honda, Mazda, Nissan o Matsushita en Japón; Chrysler, Ford, General Motors, Xerox o el Departamento de

Defensa (DoD) en Estados Unidos; los grupos Volkswagen, Rover, Perkins Engines o Fiat en Europa; el grupo Vitro, Ponds, o Fammasa en México; Equipos Clark Metal Level, Cofap o Freios Varga en Brasil, entre otras, y todas ellas consideradas de excelencia mundial, han integrado la Ingeniería Simultánea en sus prácticas de gestión tecnológica, con excelentes resultados en cuanto a calidad y reducción en el costo, pero especialmente en la disminución del tiempo para llegar al mercado entre un 30 y 70%.

Pero ¿qué es la Ingeniería Simultánea o Concurrente?

La Ingeniería Concurrente, también llamada Ingeniería Simultánea (especialmente en Brasil, donde el término «concurrente» es asociado con competencia), Ingeniería Paralela, Ingeniería Total o Diseño Integrado de Producto, entre otros nombres, es una filosofía que incide directamente sobre la cultura de las organizaciones y replantea la forma convencional de trabajar los proyectos. Se trae a referencia algunas definiciones que detallan y resumen el concepto como tal.

El término de Ingeniería Concurrente surgió inicialmente en el verano de 1986 cuando fue utilizado en el reporte R-338 del *Institute for Defense Analysis* (IDA) y es una de las definiciones más universalmente aceptadas: «Un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y servicio.

Pretende que los encargados del desarrollo desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del Ciclo de Vida del Producto (CVP), desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo calidad, costo y necesidad de los usuarios.»²

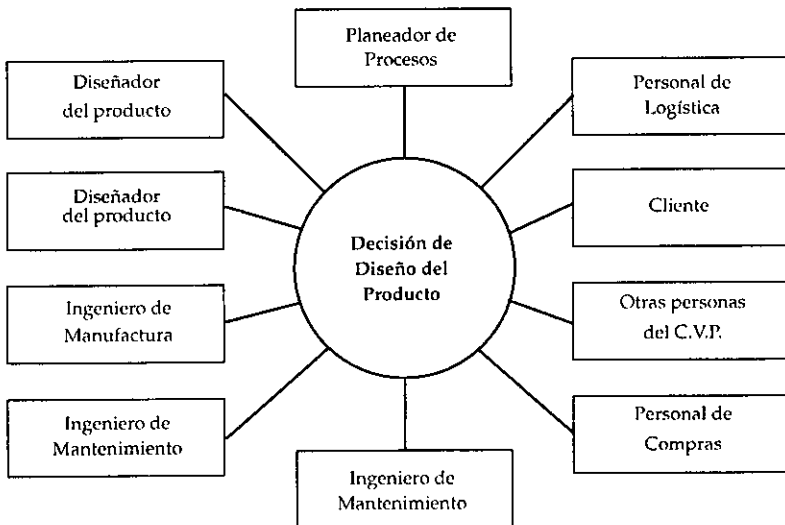
«La ingeniería simultánea es el proyecto simultáneo de un producto y su proceso de manufactura».⁵

«Es un enfoque integrado del desarrollo del producto que pone énfasis en las expectativas del cliente por medio de la producción de productos de alta calidad, con mayor rapidez y menor costo. Apoya los valores del trabajo multidisciplinario en equipo, como son la cooperación, la confianza, y el compartir e intercambiar los conocimientos y la información, de tal manera que la toma de decisiones durante la etapa del diseño, proceda con énfasis en la consi-

deración simultánea de todos los aspectos del ciclo de vida del producto».³

Vale destacar que la característica común en la aplicación de la Ingeniería Simultánea es que cada nuevo proyecto se maneja como una fuerza o equipo multidisciplinario trabajando tiempo completo (ver figura 1)³. Pero además del enfoque de equipo multidisciplinario son esenciales también el uso de técnicas disciplinadas. Ninguno ofrece ganancias potenciales sin el otro.

Un grupo trabajando en diseño de producto o un comité extraído de distintos departamentos que se reúne regularmente, no son Ingeniería Concurrente; para que realmente se aplique Ingeniería Simultánea, el equipo de trabajo debe estar compuesto por ingenieros de diseño de producto, ingenieros de fa-



Adaptada de Ahmed Al-Assab

Figura 1. Equipo de trabajo multidisciplinario de Ingeniería Concurrente

bricación, personal de marketing, de compras, de finanzas y los principales proveedores del equipo de fabricación y componentes. Además debe tener carácter permanente durante toda la duración del proyecto para que su trabajo reciba la prioridad que requiere.

La clave en los equipos de trabajo multidisciplinario está en que desde el inicio, cuando aún el diseño no es más que un bosquejo, los ingenieros de fabricación que forman parte del equipo tienen tanta información sobre el producto como cualquier otro miembro del grupo. Así pueden empezar a planificar las instalaciones de fabricación con el mismo concepto con el que los ingenieros de diseño están planificando el objeto que van a producir—es decir, se desarrolla un trabajo simultáneo. Existe una interrelación directa y permanente que permite recomendaciones para reducir costos, número de piezas, así como para elevar la calidad.

El hecho de tener personal de marketing en el equipo asegura que las metas de ventas sean alcanzables, y lo más importante es que este personal contribuye directamente a enfatizar en las expectativas de los clientes, lo cual permite dar una mayor ponderación a este aspecto en la Ingeniería Simultánea que en la ingeniería tradicional.

Es claro que este enfoque permite identificar, en una fase suficientemente temprana, puntos donde deben hacerse rectificaciones, con un costo mucho menor que si se hicieran posteriormente.

Ingeniería Concurrente vs Ingeniería Convencional

«Se ha demostrado que el 80% del costo de manufactura se determina en la etapa de diseño, la cual es una de las primeras dentro del ciclo de vida del producto (CVP)»³. Esto determina la importancia definitiva que tiene la etapa de diseño y cómo las actividades que aquí se desarrollen pueden impactar en toda la organización. Para ilustrar el concepto, en la figura 2 se presenta el ciclo de vida de un proyecto de desarrollo de un producto bajo los dos enfoques: el de la ingeniería tradicional y el de la Ingeniería Simultánea, que se destaca notoriamente por la reducción del tiempo del CVP.

John R. Hartley, en su libro *Concurrent Engineering* muestra claramente una radiografía de lo que ocurre tradicionalmente en las empresas. La ingeniería convencional maneja un enfoque secuencial en el proceso de desarrollo de un producto, conocido más comúnmente como «Comunicación sobre la pared»⁴. En este enfoque cada área de la empresa, después de ejecutar la parte que le corresponde, transfiere su resultado al sector siguiente y queda a la espera. Cada unidad organizacional que recibe la información inevitablemente encontrará fallas según la perspectiva de su propia especialidad, y la devolverá al sector de origen para los ajustes correspondientes.⁸ Este enfoque tradicional o compartimentado genera conflictos y trae como consecuencia muchos cambios y retroalimentaciones en las

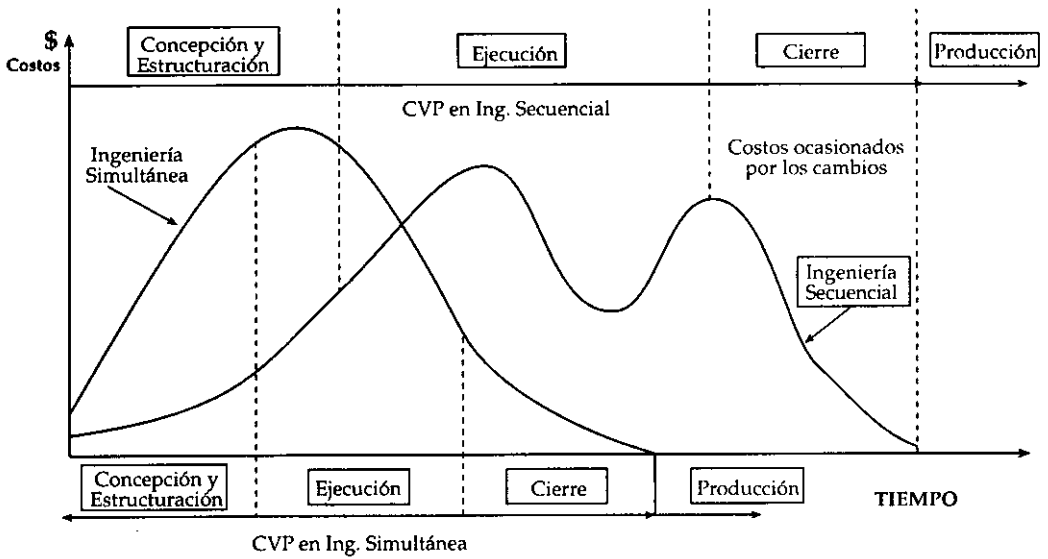


Figura 2. Ciclo de vida del producto bajo el enfoque concurrente y el tradicional

diferentes etapas, originados porque algunas características necesarias en las etapas posteriores no se consideraron desde el inicio del proceso, lo cual incide directamente en el incremento de los costos y el tiempo de desarrollo del producto; además, se pone en riesgo la calidad del producto, ya sea porque no se tomaron las medidas correctivas o porque los cambios se aprecian como «parches» que no existirían si desde el inicio se hubiera trabajado en un diseño integrado de producto. La figura 3 muestra las repetidas vueltas hacia atrás de la ingeniería convencional.

Todo lo anterior contrasta enormemente con el enfoque de la Ingeniería Simultánea, que se basa en el trabajo concurrente en las diferentes etapas y exige que se gaste más tiempo en la definición detallada del producto y en

la planificación. Así las modificaciones se hacen en la fase del diseño mucho antes de que salga el prototipo o las muestras de producción, lo cual conlleva a una reducción considerable de costo. Aunque bajo este enfoque en las primeras etapas el tiempo se incrementa, es claro también que el tiempo total de ciclo se reduce sustancialmente. La figura 4 compara la forma como se realizan las diferentes actividades en los enfoques convencional y simultáneo.

Un principio clave de la Ingeniería Concurrente es la introducción de la calidad desde el inicio del diseño, eliminando cualquier elemento que pueda verse afectado por variaciones en la producción. Se requiere de una cultura en la que cada una de las personas involucradas en el proceso sea responsable de la calidad. Es aquí donde encaja

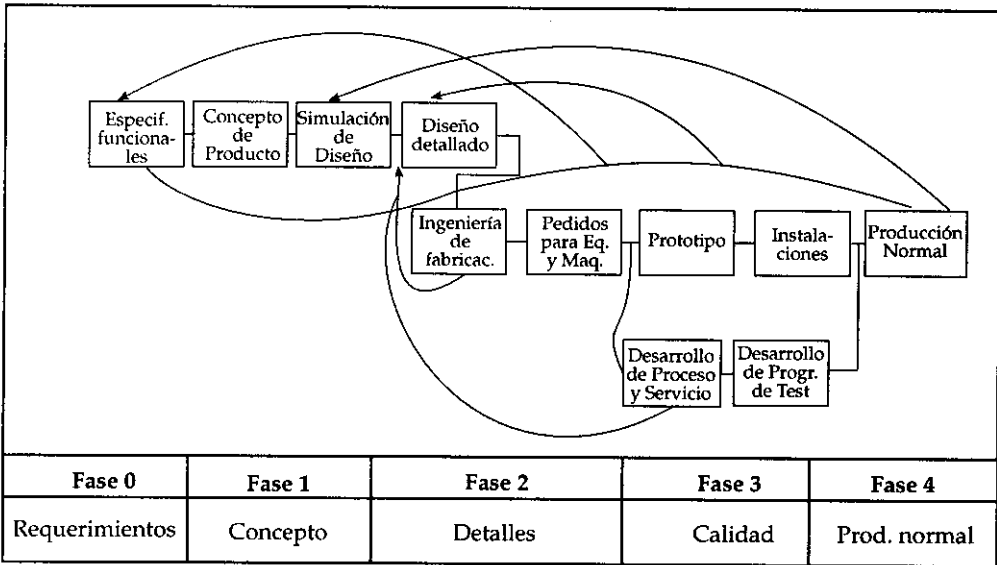


Figura 3. Re-procesos en ingeniería compartimentada o convencional

Actividad	Desarrollo de concepto	Desarrollo de diseño	Validación del diseño	Desarrollo de produc.
Marketing Producto Ingeniería	██████████			
Ingeniería		████████████████████		
Tests			████████████████████	
Fabricación			████████████████████	
Ingeniería convencional				
Actividad	Desarrollo de concepto	Desarrollo de diseño	Validación del diseño	Desarrollo de produc.
Marketing Producto Ingeniería	████████████████████			
Ingeniería	Factibilidad	██████████		
	Diseño de producción	████████████████████		
Tests	Nueva tecnología	████████████████████		
	Programa principal		████████████████████	
Fabricación	Factibilidad/tolerancia	████████████████████		
	Estudios de útiles	████████████████████		
	Utillaje		████████████████████	
Ingeniería concurrente				

Fuente: Hawtal Whiting Inc.

Figura 4. Comparación de las actividades del enfoque concurrente vs convencional

totalmente la filosofía de Ingeniería Concurrente y la de Calidad Total, cuyo fin común es la satisfacción del cliente.

Impacto cultural en la organización

Asumir el reto de trabajar bajo el enfoque de Ingeniería Simultánea requiere tiempo y un esfuerzo especial de capacitación del talento humano, inicialmente para sensibilizarlo al abordaje y posteriormente adiestrarlo en las técnicas y habilidades que se requieren para su implementación.

Inicialmente puede haber resistencia y conflictos por parte de las personas, especialmente por los jefes de área que sienten la pérdida de poder a favor de los equipos de proyectos, o también por la presión de los plazos de entrega de tareas que anteriormente se realizaban después de meses, y con el enfoque simultáneo muchas veces se deben tener en pocos días. Definitivamente no es fácil cuando el paradigma ha sido la Ingeniería Secuencial con etapas bien definidas, donde cada departamento tiene responsabilidad de una función en particular y ésta se desarrolla después de que la anterior ha sido completada.

Es claro que la Ingeniería Concurrente conduce a cambios importantes dentro de las organizaciones, especialmente en su forma de hacer negocios, y la dirección debe estar preparada para permitir que ésta se desarrolle bajo una nueva estructura.

Los sistemas jerárquicos que tienen

la mayoría de las organizaciones dificultan el trabajo en equipo, por lo cual se debe ser cuidadoso y prepararse para un proceso de transición hacia estructuras organizacionales más flexibles y dinámicas que faciliten y apoyen el desarrollo de nuevas actitudes valorando y promoviendo el trabajo en equipo, así como también hacia sistemas de evaluación de desempeño donde se tenga en cuenta no sólo la competencia técnica sino también la creatividad y el éxito como integrantes de un equipo. Algunas veces la tendencia es una reorganización con énfasis en el mercado y la competitividad, como en el caso de las estructuras circulares, las matriciales y las unidades estratégicas de negocios.

Los paradigmas actuales que rigen tanto la formación de los profesionales como el desempeño del talento humano en las empresas tienden a valorar el trabajo individual. La Ingeniería Concurrente requiere de un cambio cultural en el que la creatividad, la polivalencia, el trabajo multidisciplinario, la confianza y el entusiasmo sean la razón de ser de la concepción del trabajo. En muchas empresas de clase mundial, especialmente las japonesas, el enfoque simultáneo está tan arraigado en su cultura que el trabajo en equipo es inherente a las decisiones políticas y a las operaciones del día a día y, por supuesto, no conciben una forma diferente de trabajar; es simplemente sentido común.

La empresa extendida

Cuando se habla hoy de Ingeniería Si-

multánea se debe hacer referencia al concepto de «empresa extendida», que apoya los aspectos organizacionales en su implementación y enfoca el sistema de manufactura como un elemento de una cadena de valor que da servicio a un consumidor.

«La clave del concepto de empresa extendida es que ya no trata a sus proveedores y clientes como tal sino que los integra haciéndolos formar parte activa de ésta»⁷. La empresa extendida se puede considerar como una «Empresa Global» representada por las organizaciones o parte de las organizaciones, clientes, proveedores y subcontratistas, encargados del diseño, desarrollo, producción y entrega de un producto al usuario final.

Aunque el desafío de la empresa extendida sea realmente un resultado de dirección más que uno técnico, el éxito de una empresa extendida es determinado en gran parte por la velocidad y la eficiencia con que la información puede cambiarse y administrarse entre socios de negocios. Se requiere, por tanto, tener mecanismos de comunicación e información eficientes que permitan apoyar la interacción efectiva entre los diferentes entes que conforman la empresa extendida, de ahí la importancia de las Tecnologías de Información (IT).

La empresa extendida es un concepto nuevo y en evolución, responsable por el ciclo completo de vida del producto, desde la adquisición del material y manejo de suministros, producción y manufactura del producto, distribución

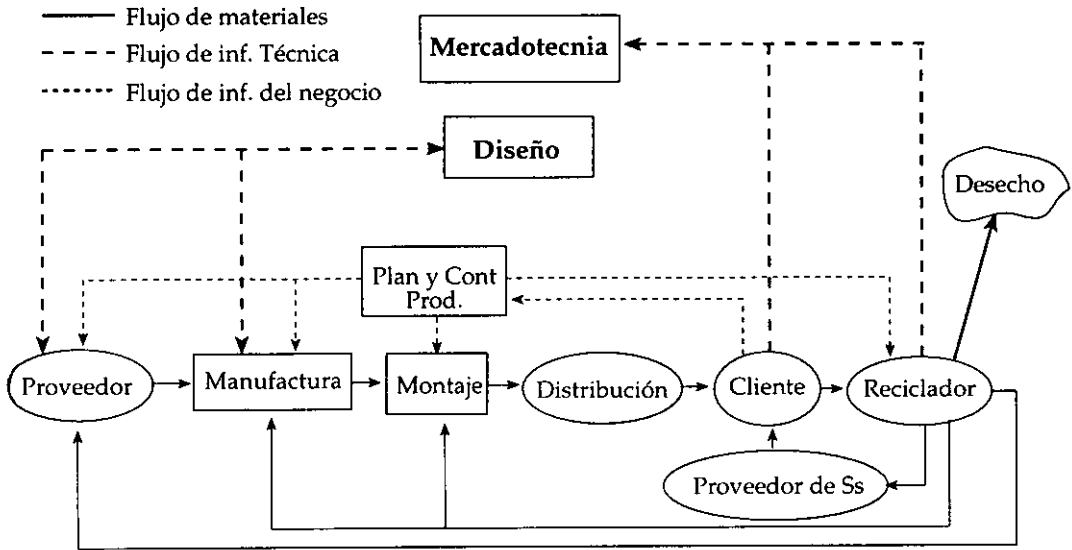
del producto y servicio al cliente, y finalmente el reciclaje y la destrucción de los productos cuya vida ha terminado. Es aquí donde radica la importancia de la empresa extendida, que tiene en cuenta además la etapa de reciclaje y deshecho en concordancia con las reglamentaciones actuales en lo concerniente a producción limpia y conservación del medio ambiente.

La figura 5 presenta la estructura de la empresa extendida, la coordinación de las relaciones y la comunicación entre las distintas entidades que la conforman.

Es claro que este concepto define un ambiente donde socios de negocio trabajan juntos en la búsqueda de metas a largo plazo con base en lealtad y responsabilidad mutua.

Herramientas y técnicas asociadas a la Ingeniería Simultánea

Aunque para aplicar los fundamentos de Ingeniería Concurrente no es estrictamente necesario que la empresa haga fuertes inversiones en computadoras, *software* sofisticado y equipos de última generación,⁸ no cabe duda de que sería ideal y de gran importancia disponer, para la aplicación del enfoque simultáneo, de herramientas y técnicas que faciliten y agilicen el proceso de toma de decisiones, así como el de cambio cultural. El desafío para fabricar hoy es apoyarse en técnicas que den una ventaja competitiva por el uso de Tecnología de Información y herramientas que permitan el enlace eficiente a través de



Adaptada de J. Browne, I. Hunt y J. Zhang

Figura 5. La empresa extendida

toda la cadena de valor.

Sin embargo, mientras se sigan empleando las técnicas de gestión tradicionales no se puede decir que se está aplicando Ingeniería Concurrente. El liderazgo tiene que venir de arriba, con altos directivos apoyando decididamente y facilitando los medios para desarrollar las capacidades de los equipos de trabajo. Además deben practicar una política de delegación, permitiendo que el equipo saque adelante el proyecto con mucha autonomía, hasta el punto que si un alto directivo cree realmente que el proyecto marcha en dirección equivocada, debe reunir a todo el equipo de trabajo para llegar a una verdadera decisión de consenso.

Entre las herramientas esenciales para la Ingeniería Simultánea se incluyen

los Sistemas de Diseño Asistido por Computador (CAD), que son muy importantes porque permiten hacer simulación en paralelo, con lo cual se disminuye el riesgo en el momento de decidir por la opción más práctica. Para maximizar los beneficios de la Ingeniería Concurrente se debe tender hacia la utilización no sólo del Diseño sino también de su integración con la Fabricación Asistida por Computador (CAD/CAM). Con una correcta combinación de *hardware* y *software* que permita a ingenieros de diversas disciplinas trabajar en paralelo se logra disminuir la fabricación de prototipos y sus plazos de ejecución pueden reducirse considerablemente. Igualmente, la Ingeniería Asistida por Computador (CAE) es otra de las herramientas que permite a través de *software* elaborar proyectos más eficientemente. Es importante hacer referencia que el

uso de CAD/CAM/CAE tiene como prioridad automatizar el trabajo de la elaboración de proyectos, mientras que la Ingeniería Simultánea se ocupa más de asegurar la interacción entre los miembros del equipo que trabajan en el proyecto.

Como ya se dijo, la Ingeniería Concurrente encaja perfectamente con el concepto de Control de Calidad Total, ya que en ésta la calidad es responsabilidad de cada empleado y en aquélla el principio básico es que la calidad del diseño concierne a todos los departamentos. El enfoque simultáneo se apoya en el compromiso de la gente y en otras técnicas como:

- *Despliegue de la función de calidad (QFD)*. Se especifica el producto en una matriz, relacionando los deseos del consumidor (atributos del cliente) con las características cuantificadas de ingeniería.
- *Control estadístico de proceso (SPC)*. Conjunto de técnicas y procedimientos aplicados a las diversas fases del proceso de manufactura para reducir o eliminar las fallas en la calidad del producto final.
- *Análisis de fallas (FMEA)*. Conjunto de actividades que identifican las posibles fallas de un producto o proceso y sus causas, las medidas que pueden impedir o reducir la posibilidad de ocurrencia y la documentación del proceso, cuyo resultado será la recomendación de mejoras.

- *Diseño para manufactura y ensamble (DFMA)*. A través de *software* se alerta al diseñador de productos sobre las implicaciones de su trabajo en la fase de manufactura.
- *Los métodos de Taguchi*. Conducen a un diseño robusto no afectado por las variables del proceso de producción.
- *Justo a tiempo (JIT)*. Método de producción que trata de tener disponibles los materiales únicamente cuando se requieren, reduciendo considerablemente los costos de inventario.
- *Benchmarking*. Conjunto de procedimientos a través de los cuales se comparan parámetros y especificaciones de un producto con los de la competencia, que tiene el máximo desempeño.
- *Manufactura integrada por computador (CIM)*. Uso de *software* que permite aprovechar los recursos de la informática para conectar el equipo de manufactura con la base de datos del área de proyectos.

La tendencia actual es a buscar mayor integración funcional. Idealmente, la Ingeniería Simultánea busca aplicar las herramientas que permitan a todos los integrantes del equipo del proyecto tener acceso compartido a la información actualizada del mismo, de tal manera que puedan almacenarlos y procesarlos de forma transparente⁸. La fábrica del

futuro deberá estar, en su concepción ideal, libre de barreras organizacionales y geográficas, con algunas limitantes impuestas por la dinámica de los negocios.

¿Y nosotros cómo estamos?

En Colombia realmente no existe un conocimiento profundo sobre la Ingeniería Concurrente. En algunas empresas ha habido experiencias de trabajo simultáneo o concurrente en la etapa del diseño, pero no con una metodología sistemática ni con el apoyo especial de las herramientas de la Ingeniería Simultánea. Más bien la aproximación ha sido sólo mediante la conformación de algunos equipos multidisciplinarios de trabajo. Aproximación ésta que se ha dado por la presión de responder a mercados muy dinámicos, donde el tiempo de entrega era factor clave para mantener el cliente.

Estas experiencias aisladas han sido positivas, pero no han tenido resultados sostenidos al interior de las empresas, debido a que no se ha aplicado un proceso sistemático ni de sensibilización que permita un verdadero cambio cultural y un compromiso de todos los que forman parte de la organización.

El reto es grande. Pero, como Hartely plantea, "a primera vista, los cambios necesarios para introducir la Ingeniería Concurrente pueden parecer desalentadores, y posibles solamente en empresas muy grandes. Afortunadamente, la Ingeniería Simultánea se presta a una in-

troducción gradual y es tan útil en los proyectos pequeños como en los grandes. Por tanto, las pequeñas empresas como las grandes pueden seleccionar los elementos que necesitan. Por otra parte, en las compañías de menor tamaño es muy probable que utilicen aisladamente algunos elementos típicos de la Ingeniería Concurrente, simplemente porque a menudo los empleados deben asumir más de una responsabilidad".⁴

Algunos sectores se han interesado por esta filosofía, tal es el caso del metalmeccánico, que ha encaminado esfuerzos al conocimiento del tema. En noviembre del año anterior se organizó una misión tecnológica, con el apoyo del Centro Red Metalmeccánico (CRTM), el Sena y Colciencias, con el fin de llevar a un grupo de empresarios de este sector a conocer la experiencia, de empresas europeas, en la aplicación de la Ingeniería Concurrente y las tecnologías de diseño, para motivar y jalonar a la industria colombiana a optar por la aplicación de estas tecnologías que permitan al sector ser más competitivo. En esta misión, el sector académico del país estuvo representado por la Universidad del Norte y la Universidad Nacional.

Este tipo de esfuerzo es importante y valioso porque permite conocer la realidad de organizaciones donde el diseño estratégico y la cultura de trabajo simultáneo son el denominador común y, por supuesto, porque lleva al cuestionamiento de ¿por qué en Colombia no lo podemos hacer?

La Universidad juega aquí un papel significativo, y su aporte puede hacerse inicialmente a través de la difusión desde las aulas, para ir entrando luego a las empresas con más conocimiento y con la certeza de que sólo trabajando juntos UNIVERSIDAD-EMPRESA se podrá lograr el cambio estructural que se requiere para enfrentar la crisis. Sólo así se dará respuesta a los requerimientos del empleado y del profesional que necesita el milenio que ya comienza: ser polivalente, creativo y tener la capacidad de entender los nuevos adelantos de la tecnología. **¡Lo importante es comenzar ya!**

Conclusión

Alcanzar el éxito en un entorno como el actual requiere de organizaciones fuertemente competitivas que además de tecnología manejen un enfoque centrado en la satisfacción del cliente. Es aquí donde cobra importancia la Ingeniería Simultánea, la cual se basa en un enfoque concurrente del desarrollo del producto que permite a las empresas incrementar la productividad ante una reducción significativa de los tiempos de entrega y de los costos, así como una integración entre los diferentes departamentos o áreas y mejoras en la comunicación de los mismos. Además, permite mejorar la calidad del producto, debido a que desde su misma concepción y diseño se prevé las características y condiciones en las cuales se desarrollará, de tal manera que se condiciona el producto a las especificaciones del cliente desde el inicio del ciclo de vida del producto.

Por esto, la Ingeniería Concurrente conlleva excelentes resultados que permiten, a las empresas que la apliquen, alcanzar verdaderas ventajas competitivas. Diferencia marcada con el enfoque tradicional.

Por último, se puede concluir que la Ingeniería Concurrente se debe adaptar a las características de cada organización, con el fin de crear un ambiente y una estructura para su aplicación. Para lograrlo es clave el papel que juegan los directivos. La cabeza de la empresa debe constituirse en líder del proceso para involucrar a todo el talento humano en la propuesta de la Ingeniería Concurrente; porque ante todo el cambio es cultural.

Referencias

1. ESPINOZA, Rafael. *El Tiempo*. «El drama del desempleo». Bogotá, 1 abril de 1999.
2. IDA, *Institute for Defense Analysis*. Report R-338. Boston, Julio de 1986.
3. AHMED, H.S. Al-Ashaab. *Ingeniería Concurrente*. Morelos, mayo de 1997.
4. HARTLEY, John R. *Concurrent Engineering*. Industrial Newsletters Ltda., Reino Unido, 1990.
5. HALL, D. *Concurrent Engineering: definitions terms and techniques in Concurrent Engineering*. IEEE Spectrum, julio de 1991.
6. KRUGLIANSKAS, Isak. *Ingeniería Simultánea: Organización e implementación en empresas brasileñas*. Brasil 1993.
7. J. BROWNE, I. HUNTY, and J. ZHANG. *The Extended Enterprise*. Galway, Ireland, 1997.
8. KRUGLIANSKAS, Isak. *Ingeniería Simultánea y Técnicas Asociadas en empresas tecnológicamente dinámicas*. Brasil, 1995.