



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
SECCIONAL CALI**

Compiladores

Arturo Montoya Serrano

Armando Mejía Giraldo

Mario Bravo Castillo

SISTEMAS AVANZADOS DE GESTIÓN

**Herramientas
de Ingeniería Industrial
para la innovación
y el mejoramiento**



Sistemas avanzados de gestión:
herramientas de ingeniería industrial para la innovación y el mejoramiento



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
CALI**

Sistemas avanzados de gestión

Herramientas de ingeniería industrial
para la innovación y el mejoramiento

(Compiladores)

Arturo Montoya Serrano

Armando Mejía Giraldo

Mario Bravo Castillo

2011

Seminario Internacional en Sistemas Avanzados de Gestión:
herramientas de ingeniería industrial para la innovación y el mejoramiento
(2: 2012: Cali)
Sistemas Avanzados de gestión: herramientas de ingeniería industrial para la innovación y el
mejoramiento / compilado por Arturo Montoya Serrano, Armando Mejía Giraldo, Mario Bravo
Castillon. – Cali: Editorial Bonaventuriana,
2012.
145 p.

Incluye bibliografía

ISBN: 978-958-8436-83-8

1. Cambio organizacional 2. Innovaciones tecnológicas
I. Montoya Serrano, Arturo II. Mejía Giraldo, Armando
III. Bravo Castillon, Mario II. Tit.

658.406 cd 23 ed.

S471

Universidad de San Buenaventura
 Editorial Bonaventuriana

Título: Sistemas avanzados de gestión:
herramientas de ingeniería industrial para la innovación y el mejoramiento
© Compiladores: Arturo Montoya Serrano - Armando Mejía Giraldo - Mario Bravo Castillo
Grupo de investigación Nueva Tecnología, Trabajo y Gestión –NTTG–
Universidad de San Buenaventura Cali
Colombia

@ Editorial Bonaventuriana, 2011
Universidad de San Buenaventura
Coordinación editorial de Cali
Calle 117 No. 11A–62
PBX: 57 (1) 5200299 - 57 (2) 318 22 00 - 488 22 22
e-mail: editorial.bonaventuriana@usbrecgen.edu.co
<http://servereditorial.usbcali.edu.co/editorial/>
Colombia, Sur América

El autor es responsable del contenido de la presente obra. Prohibida la reproducción total o
parcial de este libro por cualquier medio, sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

ISBN: 978-958-8436-83-8
Tiraje: 300 ejemplares
Cumplido el depósito legal (Ley 44 de 1993, Decreto 460 de 1995 y Decreto 358 de 2000).
Impreso en Colombia - Printed in Colombia.
Diciembre de 2011

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a todas las personas, instancias e instituciones que contribuyeron para la realización del segundo seminario internacional: *Sistemas Avanzados de Gestión: Herramientas de Ingeniería Industrial para la Innovación y el Mejoramiento*, el cual representa una de las estrategias diseñadas para el crecimiento y desarrollo académico del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali.

A los directivos de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, Fray Álvaro Cepeda van Houten OFM, Rector; Fray Juan de la Cruz Castellanos, OFM, Secretario; Juan Carlos Flórez Buriticá, Vicerrector Académico; Félix Remigio Rodríguez Ballesteros, Vicerrector Administrativo y Financiero y al ingeniero Claudio Camilo González Clavijo, Decano de la Facultad de Ingeniería.

A los conferencistas que participaron y contribuyeron con sus artículos para esta publicación al igual que las instituciones u organizaciones que ellos representan: Carlos Rodríguez Monroy, PhD., Universidad Politécnica de Madrid, España; Rafael García, PhD., Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá; Jairo Raúl Montoya, PhD., Universidad de la Sabana, Colombia; Luis Alfredo Echeverri Patiño, Mg. profesor asociado, Universidad de San Buenaventura, seccional Cali; Janneth Lorena Torres, MBA, profesor asociado, Universidad de San Buenaventura, seccional Cali; Mario Fernando Acosta, Mg., profesor asociado, Universidad de San Buenaventura Cali y el Fernando Montaña, superintendente, planta de ácido cítrico, Sucromiles S.A., Cali.

Un agradecimiento especial a la psicóloga Ángela Rocío Orozco, directora de Investigaciones de la Universidad de San Buenaventura Cali, por su respaldo permanente a nuestro proceso investigativo, e igualmente a sus asistentes: Norby Varón, Liliana María Ante y Diana Ximena Bejarano.

Al abogado Claudio Valencia, cordinador de la Editorial Bonaventuriana y su equipo de trabajo por el invaluable apoyo ofrecido en todos los aspectos relacionados con el diseño y publicación de este documento.

Finalmente, y no por ello menos importantes, al equipo de trabajo, profesores de tiempo completo, estudiantes, colegas y amigos del programa de Ingeniería Industrial, de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo exitoso de esta actividad.

Los autores

Tabla de contenido

Prólogo	9
Presentación.....	11
Una sinopsis sobre innovación	
<i>Rafael Guillermo García Cáceres, PhD.</i>	17
Introducción	17
Innovación en el mundo	19
América Latina y la innovación	21
Caso Colombia	23
Discusión y conclusiones	29
La arquitectura de la gestión del conocimiento en empresas manufactureras	
<i>Carlos Rodríguez Monroy - Marian Gómez Hernández.</i>	36
Introducción	36
Marco teórico.....	36
Metodología	39
Resultados	40
Conclusiones	46
Modelos y aplicaciones reales de programación de la producción	
<i>Jairo Raúl Montoya Torres.</i>	51
Resumen.....	51
Introducción	52
La programación de operaciones en las empresas.....	53
Modelos para sistemas con un solo recurso	56
Configuraciones de talleres en serie híbridos.....	58
Configuración de planta con distribución de posición fija: programación de proyectos	59
Conclusiones	61

Hacia la optimización integral del problema de carga de contenedores	
Rafael García	67
Introducción	67
Antecedentes	68
Optimización integral del CLP	71
Conclusiones y recomendaciones	81
Modelización de redes virtuales de fabricación global en la industria	
Carlos Rodríguez Monroy - José Ramón Vilana Arto.....	85
Resumen.....	85
Introducción	86
Aspectos estructurales de las RVFG.....	88
La importancia de la cultura interempresarial.....	92
La paradoja estratégica de las RVFG	96
Dinámica.....	100
Conclusiones	101
Diseño de un sistema de pronósticos de medicamentos para ítems clase A en una clínica de la ciudad de Cali	
Mario Fernando Acosta Ríos	105
La implementación del Balanced Scorecard en las pymes	
Janneth Lorena Torres, MBA.	111
Resumen.....	111
Introducción	111
Las pymes y la planeación estratégica.....	112
Metodología	113
Presentación y discusión de resultados	113
Incluyendo la dimensión pymes al Balanced Scorecard	113
Conclusiones	117
Caso exitoso: aplicación de la metodología Taguchi en la mejora de la calidad del ácido cítrico	
Reseña por Mario Bravo Castillo	
Armando Mejía Giraldo.....	119
Medidas de la relación S/N (señal/ruido)	123
Conclusión	127

Prólogo

En el desarrollo de sus funciones sustantivas, la Universidad de San Buenaventura Cali, se proyecta hacia la comunidad académica y empresarial de la región mediante eventos que permiten dar a conocer los principales avances en las disciplinas y campos de conocimiento objeto de sus procesos de formación. En esta ocasión, y particularmente en el campo de la ingeniería industrial, presentamos este libro que recoge publicaciones y reseñas en las cuales se basaron algunas de las conferencias del *II Seminario Internacional Sistemas Avanzados de Gestión: Herramientas de Ingeniería Industrial para la Innovación y el Mejoramiento*, que representa el espacio necesario en el cual se contextualizan y validan las diferentes tendencias relacionadas con la gestión estratégica de las organizaciones.

De esta manera se hace énfasis en la importancia de la aplicación de la investigación de operaciones a problemas dentro de una organización para permitir la toma de decisiones acertadas como soluciones convenientes o favorables. También se destaca que en la actualidad la innovación, el diseño y el desarrollo de nuevos productos y servicios es factor primordial para el éxito; por esta razón, las grandes empresas se están preocupando por invertir más en la investigación y desarrollo y, aún las pymes lo están tratando de hacer mediante estrategias asociativas a través de la creación de centros de innovación en aras de capitalizar la relación universidad-empresa-Estado.

De los artículos se puede deducir cómo la dinámica de las organizaciones ha tenido que adaptarse a los actuales escenarios y adoptar estrategias de gestión del conocimiento, puesto que han surgido diversas oportunidades y desarrollo de nuevos mercados, regulaciones y normas que obligan a cambiarlas, lo cual implica detectar e incorporar al mercado productos innovadores. Por ello, sus actividades de investigación y desarrollo deben estar relacionadas con la estrategia competitiva y la capacidad de liderazgo para competir con mejores productos y servicios.

Se reitera en esta publicación que la ingeniería industrial puesta al servicio del mejoramiento de la productividad y la competitividad aborda como uno de sus objetos de estudio formas eficientes de aprovechar las oportunidades y de proteger de una manera comprensiva a las organizaciones de las amenazas, mediante la generación y desarrollo de soluciones integradas que le ayuden a obtener eficazmente resultados a corto, mediano y largo plazo, a asegurar las operaciones de los diferentes procesos de forma continua y, así mismo, conformar políticas de control y de regulación para el monitoreo de parámetros relacionados con el crecimiento, la rentabilidad y la supervivencia, para reducir el riesgo total, utilizando un enfoque de modelado y de pensamiento sistémico.

ARTURO MONTOYA SERRANO

Coordinador general

*Seminario Internacional Sistemas Avanzados de Gestión:
herramientas de ingeniería industrial para
la innovación y el mejoramiento*

Presentación

El objetivo principal del *II Seminario Internacional Sistemas Avanzados de Gestión: herramientas de ingeniería industrial para la innovación y el mejoramiento*, fue presentar los diversos métodos y herramientas de la ingeniería industrial al servicio de las innovaciones y mejoramiento de la productividad y la competitividad de las organizaciones.

Desde esta perspectiva, en esta segunda oportunidad los invitados realizaron sus intervenciones aportando conocimiento y experiencias a la temática planteada con las siguientes características:

- Expositores nacionales e internacionales de reconocidas universidades con desarrollos en investigación y aplicaciones de la ingeniería industrial en los diversos procesos de la gestión empresarial.
- Empresarios y funcionarios de grandes organizaciones que han contribuido con la implementación y gestión de casos exitosos de innovación o mejoramiento de procesos productivos, productos y servicios.

En el primer artículo denominado *Una sinopsis sobre innovación*, Rafael García, PhD, profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería, nos presenta una visión general del concepto de innovación en los ámbitos mundial, latinoamericano y colombiano. Inicia con la definición de investigación e innovación y continúa con la exposición del estado de la innovación en el mundo, enfocándose en algunos de los casos más representativos. Luego se analiza el nivel alcanzado por América Latina. Por último, se tienen en cuenta algunos indicadores del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT), para analizar el comportamiento de la innovación en Colombia, presentando finalmente la discusión y las conclusiones pertinentes.

En el artículo *La arquitectura de la gestión del conocimiento en empresas manufactureras. Caso: sector aluminio primario en Venezuela*, presentado por Carlos Rodríguez

Monroy, PhD de la Universidad Politécnica de Madrid, España, plantea que la investigación desarrollada tiene como propósito determinar la arquitectura de la gestión del conocimiento (GC) en empresas manufactureras, para lo cual toma como referencia las variables asociadas a la GC en las dimensiones: 1) creación, 2) identificación y adquisición, 3) clasificación y almacenamiento, 4) aplicación y actualización, 5) transferencia, y 6) medición del conocimiento, y para ello se apoya en los siguientes pilares de la plataforma interna: cultura, liderazgo, comunidades de prácticas, TIC, memorias corporativas y patentes. Los resultados permiten cuantificar las variables de GC con mayor incidencia en las empresas del sector aluminio primario en Venezuela, a partir de diez factores que explican las variables con base al 54,52 % de la varianza total. Estos diez factores son: adquisición del conocimiento; calificación, almacenamiento y protección; creación de conocimiento; remuneración; liderazgo; TIC; eficiencia de la empresa; percepción de la formación; motivación; y participación en las decisiones. Este estudio confirma la dimensión estratégica y multifactorial de la GC en las empresas manufactureras.

Luis Alfredo Echeverri Patiño, Mg, profesor asociado del programa de Ingeniería Industrial, de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, presenta como resultado de investigación, el artículo titulado *El problema del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo en un contexto multi-objetivo. revisión del estado del arte*, en el cual plantea que desde la primera formulación de los problemas de ruteo de vehículos (VRP, *Vehicle Routing Problem*), una gran cantidad de métodos han sido propuestos para su resolución. Presenta entonces el estado del arte del problema y describe brevemente sus diferentes variaciones, aunque no se hace énfasis en cada una de estas. Se centra más en las técnicas que existen, que son usadas en la actualidad para resolver esta clase de problemas, y da relevancia a tres técnicas metaheurísticas bioinspiradas, las cuales son aplicadas en un trabajo de investigación que enfoca el problema con ventanas de tiempo (VPRWT) en un contexto multiobjetivo, aplicado al sector confecciones del Valle del Cauca. El *problema* es planteado de una manera simplificada mediante teoría de conjuntos y funciones, lo cual permite su comprensión.

En el artículo *Modelos y aplicaciones reales de programación de la producción*, Jairo Raúl Montoya Torres, PhD, profesor de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de La Sabana, presenta su estudio sobre la programación de la producción como una rama de la investigación de operaciones que ha desarrollado sus propias metodologías y herramientas para la resolución de problemas. Inspirado inicialmente por las aplicaciones encontradas en sistemas de manufactura, hoy en día la programación de producción

o de operaciones encuentra aplicaciones prácticas en los sistemas de servicios como son las telecomunicaciones, la distribución de energía, la asignación de personal, la programación de horarios, reservas aéreas o similares e incluso en sistemas de computación y manejo de información. Además, el desarrollo de los sistemas computacionales (avances en velocidad y técnicas de inteligencia artificial) ha permitido el estudio de sistemas empresariales actuales cada vez más complejos. En este artículo se busca presentar los conceptos básicos de la programación de operaciones, al mismo tiempo que se describen algunas aplicaciones prácticas encontradas en las empresas. El objetivo del trabajo no es ser exhaustivo pero sí pretende dar una idea al lector de algunas aplicaciones reales de tales modelos

En relación con la conferencia *Hacia la optimización integral del problema de carga de contenedores*, Rafael García, PhD de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá; nos ubica en el problema de carga de contenedores (Container Loading Problem, CLP), el cual es un problema NP-Hard y que consiste básicamente en ubicar un grupo de cajas rectangulares dentro de un contenedor rectangular con dimensiones conocidas, para maximizar la utilización de su volumen, teniendo en cuenta las restricciones básicas (enunciadas por Wäscher *et al.*): (i) todas las cajas deben quedar ubicadas totalmente dentro del contenedor, y (ii) las cajas no se pueden traslapar entre sí. Sin embargo, la solución de problemas reales acarrea mayor complejidad e incluso los mismos pueden llegar a ser mal concebidos si sólo se considera estos dos tipos de restricciones. En este sentido, nos presenta lo que Bischoff y Ratcliff (1995) enunciaron como un conjunto de restricciones prácticas aplicables a situaciones reales: orientación de la mercancía, soporte de la carga, manejo de materiales, estabilidad de la carga, agrupamiento, múltiples destinos, separación de ítems, envíos completos, prioridad de envío, complejidad de patrones de carga, límite de capacidad de carga y distribución de peso de la mercancía dentro del contenedor. Algunos de estos criterios no son fácilmente cuantificables por ser de naturaleza cualitativa; al respecto, las aproximaciones tradicionales utilizadas en optimización, que cuantifican los aspectos cualitativos, pueden generar pérdida de información importante del criterio, por lo que es recomendable tratar estos de una manera más natural, como lo es a través de aproximaciones ordinales.

En otro artículo de este libro, García, utilizó los aportes realizados por IAM (García *et al.*, 2009) para optimizar integralmente el CLP, donde incluyó un conjunto de restricciones que no habían sido trabajadas simultáneamente en los estudios revisados. También se presenta un modelo matemático bastante detallado para el CLP, algo que no se encuentra fácilmente en la literatura del

problema. Además, se implementó como método de solución una metaheurística (Grasp) para resolver problemas de CLP. Finalmente, este trabajo incluye criterios estocásticos y cualitativos dentro del planteamiento del CLP, características que no se encontraron en los estudios de problemas de empaquetamiento dentro de la revisión realizada.

Por último, nuevas perspectivas de investigación podrían surgir del presente proyecto si se tiene en cuenta que: primero, el desempeño y calidad de soluciones del método propuesto aun están por definirse, debido a que dentro de la revisión no se encontraron estudios con las mismas características de este trabajo que permitan hacer comparaciones; segundo, la definición de la relación funcional para explicar la deformidad de las cajas no fue definida experimentalmente; tercero, se podría sugerir un modelo para carga heterogénea; es decir, para cajas con diferentes tamaños; y cuarto, se podrían incluir restricciones adicionales del conjunto definido por Bischoff y Ratcliff, ya sean de naturaleza cuantitativa o cualitativa.

En el artículo *Modelización de redes virtuales de fabricación global en la industria*, Carlos Rodríguez Monroy, del Departamento de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística, ETSII, de la Universidad Politécnica de Madrid, España, plantea que las redes virtuales de fabricación global (RVFG) están formadas por empresas muy dinámicas que fabrican todo tipo de productos o servicios, las cuales establecen entre sí relaciones de tipo horizontal y vertical, pudiendo incluso ser competidores, donde no es necesario mantener internamente grandes recursos fabriles sino gestionar y compartir eficientemente los recursos de la red. Las relaciones fluidas que existen en las RVFG les permiten alcanzar una organización muy permeable, fácil de conectarse y desconectarse, así como colaborar simultáneamente con un grupo variado de participantes con diferentes atributos. El resultado es un sistema altamente flexible, caracterizado por bajas barreras de entrada y salida, flexibilidad geográfica, bajos costes, difusión tecnológica muy rápida en la red, alta diversificación a través de los fabricantes subcontratados y excepcionales economías de escala. Este trabajo propone un modelo teórico que analizará las causas de la formación de estas redes, incluyendo sus cuatro pilares básicos: estrategia, estructura, dinámica y cultura. Para ello, se tendrán en cuenta aspectos como las alianzas estratégicas entre empresas competidoras, la naturaleza permeable y difusa de los actores de la red y el riesgo de canibalizaciones de roles, la paradoja inherente de colaborar con competidores, los aspectos culturales a nivel sistémico o las tecnologías de la información y la comunicación a nivel de la red. El modelo teórico propuesto permitirá conocer de una manera ordenada todos los aspectos relevantes de

este tipo de redes para esclarecer y ofrecer una perspectiva a los tipos de organizaciones que están creciendo en los últimos años.

Mario Fernando Acosta Ríos, profesor asociado del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, presenta el artículo *Diseño de un sistema de pronósticos de medicamentos para ítems clase A en una clínica de la ciudad de Cali*, en el cual se expresa que el sector salud presenta similitudes desde el punto de vista empresarial a los otros sectores en cuanto que deben ser competitivos, generar utilidades y para ello deben superar las expectativas de sus clientes al diseñar estrategias y generar ventajas competitivas a los más bajos costos. Agrega que a pesar de ello, para lograr esas metas existen marcadas diferencias en la formulación y ejecución de las estrategias utilizadas, debido a la naturaleza de los sectores y a los servicios prestados, así como de los usuarios, y por ende, tanto las herramientas como los modelos de gestión empresarial para el logro de sus objetivos requieren la consideración de variables específicas del sector para el gerenciamiento de los procesos a todo nivel. El cumplimiento de las metas empresariales está determinado por la satisfacción del cliente, y desde el punto de vista de la logística, este nivel de servicio está determinado por el nivel de inventarios disponibles, el cual presenta problemas de desbalanceo por varias razones a saber, entre otras: costo unitario del ítem, medicamentos críticos y comportamiento de la demanda.

Teniendo en cuenta estas principales variables, entre otras que son características del sector salud, se define como solución a la problemática que los pasos a seguir son: la clasificación ABC del inventario, la generación de los pronósticos de demanda y el establecimiento de una política de inventarios. Se resalta la importancia de una metodología que aplique técnicas de análisis de decisión en ambientes multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés) que permitan obtener una mayor exactitud en los cálculos a realizar. Entre estas técnicas existen unas más robustas que otras, por ejemplo, el método de Wan Lung, el cual ofrece ventajas en el sentido que es de muy fácil comprensión y aplicación por personal con poca experiencia en la modelación matemática; además, a diferencia del AHP, excluye el componente de subjetividad al asignar los pesos automáticamente.

La clasificación ABC basada en redes neuronales artificiales es igualmente valiosa ya que mediante su aplicación se corroboró la consistencia entre los resultados arrojados por los diferentes métodos; pero requiere para su implementación conocimientos y experiencia en el tema, lo cual es poco común entre el personal encargado de la toma de decisiones. Si bien es cierto que la

selección de las redes neuronales artificiales cuenta con características que le otorgan una puntuación favorable frente a los demás sistemas de pronósticos, como la habilidad para establecer relaciones no lineales en ambientes complejos, además de la adaptabilidad, el autoaprendizaje, entre otras particularidades. Es de anotar que esta técnica aún no se ha adoptado en su totalidad por el sector académico y empresarial como herramienta de pronósticos por varias razones, entre las cuales resaltan: aún no se ha determinado un método para construir sistemáticamente una red acorde con el problema a abordar, así como el hecho que las redes requieren un entrenamiento para obtener resultados, y estos no siempre son igualmente satisfactorios para todos los casos. El campo de investigación que se vislumbra en los temas tratados en el presente proyecto es amplio e interesante, el cual permitiera a la academia contribuir a los problemas que aquejan al sector productivo para incrementar el nivel de competitividad empresarial y por ende, al desarrollo socioeconómico de la región y de la nación.

En el artículo *La implementación del cuadro de mando integral (Balancead Scorecard) en las pequeñas y medianas empresas (pymes)*, Janneth Lorena Torres, MBA, profesora psociada del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, realiza una revisión bibliográfica que en particular busca identificar la mejor implementación del *Balance Scorecard*, en las pymes. Para esto, parte de conceptos generales hasta llegar a la adecuada implementación del BSC en las pymes, las cuales varían según las características y necesidades de las empresas. A partir de dicha revisión se observó que una adecuada implementación del BSC podría contribuir a mejorar la satisfacción de los clientes y por ende la rentabilidad de las empresas. Los principales obstáculos para la implementación del BSC en las empresas lo constituye la cultura organizacional y la inadecuada estructuración de los procesos.

Finalmente, Mario Bravo Castillo y Armando Mejía Giraldo, de la Universidad de San Buenaventura, seccional Cali, presentan una reseña de la conferencia denominada *Caso exitoso: aplicación de la metodología Taguchi en la mejora de la calidad del ácido cítrico*, ofrecida por el ingeniero químico Fernando Montaña, superintendente planta de ácido cítrico de la industria Sucromiles S.A. de Cali.

ARMANDO MEJÍA GIRALDO
Director grupo de investigación *Nuevas Tecnologías, Trabajo
y Gestión –NTTG–*, Programa de Ingeniería Industrial,
Universidad de San Buenaventura Cali

Una sinopsis sobre innovación

Rafael Guillermo García Cáceres, PhD.

Profesor asociado decanatura de Ingeniería Industrial
Escuela Colombiana de Ingeniería

Resumen

Este artículo presenta la visión general del concepto de innovación en los ámbitos mundial, latinoamericano y especialmente colombiano. El artículo inicia con una definición de investigación e innovación y continúa con una exposición del estado de la innovación en el mundo, a partir de algunos de los casos más representativos. Luego se analiza el nivel de innovación alcanzado por América Latina. Por último se tienen en cuenta algunos indicadores del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT), para analizar el comportamiento de la innovación en Colombia. Finalmente se presentan la discusión y las conclusiones.

Palabras clave: tecnología, ciencia, innovación, investigación, Colombia, internacional, cienciometría, desarrollo del sector industrial.

Introducción

Para tratar el tema de la innovación es necesario referirse al concepto investigación. El término investigar se define en un contexto simple como el proceso de cuestionarse o preguntarse cómo resolver un problema utilizando un método sistemático y ordenado (Rivas, 2006). Existen varios tipos de investigación, que pueden dividirse en: a) Investigación básica, que se desarrolla en los laborato-

rios y contribuye a la ampliación del conocimiento científico y b) Investigación aplicada, la cual se enfoca en la utilización del conocimiento adquirido para el beneficio de la sociedad y suele conocerse como investigación y desarrollo, avance de la tecnología, etc.

Tomando como base las características de la investigación aplicada es posible ubicar la innovación cerca de los términos investigación y desarrollo, porque a través de ellos se llega a la innovación. El término innovación, en forma simplificada, significa la introducción de una novedad, de un cambio. Innovación es el resultado concreto y práctico de la investigación aplicada, donde todas aquellas ideas desarrolladas a través de la investigación pueden ser implementadas y comercializadas con la ayuda de la tecnología. La innovación está enfocada en mejorar, ya sea un producto, un servicio o un proceso a través de un producto tangible y comercialmente exitoso.

La innovación es el proceso de integración de la tecnología existente y los inventos para crear o mejorar un producto, un proceso o un sistema. Innovación en un sentido económico consiste en la consolidación de un nuevo producto, proceso o sistema mejorado. (Freeman C., 1982).

La innovación se inicia con la creación o invención, continúa con la innovación y finalmente con la difusión. El ciclo de la innovación en términos simples está compuesto por las etapas de: investigación básica, investigación aplicada, desarrollo experimental, introducción en el mercado, penetración y masificación en el mercado. En un contexto real estas etapas se encuentran relacionadas a través de retroalimentaciones e interrelaciones que hacen el ciclo más complejo.

La mayoría de las innovaciones son de naturaleza incremental, solo en casos excepcionales se trata de innovaciones radicales. Las fuerzas que originan las innovaciones pueden ser hechos contundentes técnico-científicos (*science or technology pull*) o la demanda por la solución de un problema (*market pull*) o pueden surgir por demandas sociales de mayor envergadura (*societal demand, social shaping of technology*). Las mejoras incrementales ocurren sobre todo como consecuencia de movimientos tipo *market pull*, mientras las innovaciones radicales son posibles por adelantos frente a tecnologías clave (p.e. genética, nanotecnología, tecnologías de la información y la comunicación) (Pérez y García, 2006).

Por el carácter comercial que se le da a estas ideas, la innovación suele ser tratada desde una perspectiva económica, así como lo expuso Schumpeter en su obra acerca del desarrollo económico, donde expuso que el progreso económico es

solo posible en la medida que en una economía un grupo de empresarios logren introducir y propagar nuevas ideas. Este enfoque de la innovación hace parte del entorno empresarial, que reviste diferentes formas, ya sea en la innovación para el mejoramiento o en la generación de nuevos productos, nuevas formas para la fabricación del producto, nuevos métodos para su comercialización, etc. Desde un punto de vista microeconómico, la innovación trae beneficios manifiestos a la empresa, pues genera ventaja competitiva por cualquiera de los canales de valor: forma, lugar, tiempo o posesión.

Debido a este carácter novedoso y de servicio a la sociedad, la innovación está directamente relacionada con la tecnología, ya que su aplicación desencadena el desarrollo tecnológico. Pero este desarrollo tecnológico no está vinculado solo con aspectos técnicos, sino también a un contexto social, debido a que los resultados exitosos que se obtienen de la invención deben ser introducidos en un mercado, a través de productos, procesos o reacomodamiento organizacional, derivando así un beneficio para la sociedad por medio de la generación de mejores y más puestos de trabajo, que traerá mayor provecho si estos procesos de innovación son difundidos (Pérez y García, 2005). La importancia de la innovación consiste en que se ha convertido en un factor determinante para el desarrollo de un país, que se traduce principalmente en un incremento de la competitividad a nivel internacional de los productos, metodologías y procesos del sector productivo. Países con pocos recursos naturales y modestos mercados internos, como Alemania y Japón, han podido ser líderes económicos por su capacidad de generar innovación sostenible.

Innovación en el mundo

Uno de los principales indicadores para determinar cómo la innovación ha avanzado en el mundo, se relaciona con el número de patentes aceptadas para cada país. En el reporte de patentes presentadas por la World Intellectual Property Organization, para el 2008, Japón ocupa el primer lugar con 217.364, seguido por Estados Unidos con 154.760 y República de Corea del Sur con 102.633. De Europa, Alemania (56.091) ocupa el cuarto lugar y Francia (25.688) el sexto. China ocupa la quinta posición con 26.292. Como se observa en estas cifras, Japón es el país que lleva el liderazgo con una amplia ventaja, con una diferencia aproximada de 70.000 patentes sobre Estados Unidos para ese año.

Japón después de la Segunda Guerra Mundial ha tenido una admirable recuperación, que se centró en factores como la competencia económica a nivel

internacional, que lo ha hecho aunar sus esfuerzos en los costos de producción y la calidad del producto. En términos de cadena de abastecimiento ha obtenido la competitividad agregando valor de forma al producto a través del desarrollo tecnológico y modelos de producción de clase mundial; considerados como claves para la incursión exitosa en el mercado global. Es por ello que Japón se ha convertido en el líder de aplicación de patentes, la mayoría de ellas asociadas a nuevos productos y al mejoramiento en la calidad de los productos ya existentes. Pero todo esto es consecuencia de una estrategia que principalmente se concentra en mejorar la fuerza competitiva no solo en unos pocos sectores del mercado sino en la producción de todo el país, lo que trajo como consecuencia que se convirtiera en líder de algunas ramas de productos con gran valor de innovación tecnológica. Entre estas ramas se encuentran la automotriz, informática, electrónica y robótica (Rodríguez, 2008). La innovación le ha permitido a Japón mantener su posición económica a pesar de una larguísima recesión, casi de una década, donde no ha podido ampliar sus mercados aunque sí consolidarlos, y el alto costo de la seguridad social que se ha convertido en un verdadero lastre para su economía.

Estados Unidos se centra principalmente en la industria militar, el alto apoyo financiero y académico para el desarrollo tecnológico en la mayoría de los renglones económicos, exportación a países menos desarrollados (Salvatore, 2000) y a un enfoque permanente al mercado local e inversión en países con mejores condiciones en mano de obra intensiva. A pesar que el número de patentes aceptadas ha disminuido durante los últimos años, se mantiene el gran apoyo del gobierno federal en investigación y desarrollo, así como en los avances científicos (Trejo, 2005). También ha permitido al país recuperar el liderazgo en algunos sectores gracias a la vinculación de empresas de alta tecnología en los mercados de consumo, por la reducción de los presupuestos federales en armamento militar, como son los casos de Texas Instruments, Motorola, Lockheed, etc. Se puede decir que este país ha apoyado en gran medida el incremento de la innovación y así lo atestiguan el alto número de casos exitosos, entre los que se encuentra el de Apple, una de las compañías de tecnología más innovadoras, lograda a través de la rápida implementación de nuevas y revolucionarias ideas en productos que le ha permitido crear nuevos mercados y generar toda una nueva generación de clientes.

Factores como las buenas prácticas de competitividad, la tenacidad y un conocimiento profundo del mercado, hicieron que no solo Apple surgiera nuevamente proporcionando productos como el iPhone que ha cambiado el concepto de las telecomunicaciones, sino que iTunes revolucionara la música, Pixar se uniera a Disney mejorando la calidad de las películas animadas y posicionara a Macintosh con su sistema operativo como el más avanzado PC, pese a los problemas

legales que afrontó con Microsoft. Otro ejemplo interesante, es el de Amazon, quien en 1994 se lanzó como una librería virtual, y luego fue extendiéndose a otros mercados y llegó a convertirse en uno de los mayores comercializadores de productos en internet. Ahora no solo comercializa con productos sino que ofrece almacenamiento virtual de datos a través de Amazon's Cloud Computer Services (Fortune, 2010). Estos son algunos ejemplos del caso americano.

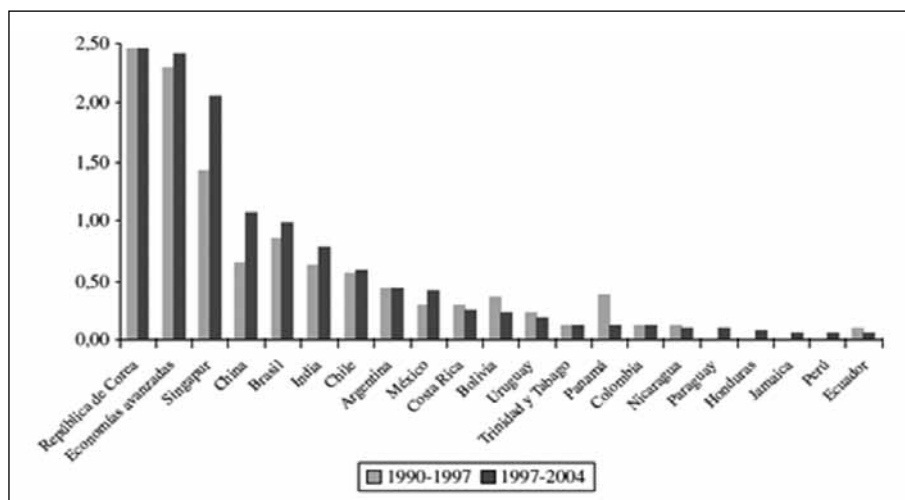
La sostenibilidad en el mercado de hoy y en el futuro implica acelerados desarrollos en innovación para mantener la competitividad empresarial; por ejemplo, Atari fue el pionero del mercado de juegos de video, pero no pudo sostener el nivel de desarrollo en innovación, lo que sí ha podido hacer desde hace cuatro décadas Nintendo, pudiendo así enfrentar con éxito a dos emporios como son Microsoft y Sony. La aceleración de la innovación se muestra de manera más clara con resultados más amplios como los expuestos por el Instituto Fraunhofer para la investigación de la innovación en Alemania, quienes observaron que los productos que permanecen con ventas razonables en el mercado global suelen tener ciclos de vida cada vez más cortos; actualmente el mercado está compuesto en más del 80 % por productos con menos de cinco años de vida.

América Latina y la innovación

En América Latina la innovación ha sido un campo en el cual se viene trabajando desde las dos últimas décadas con el apoyo de los Estados e instituciones de educación, centros de investigación y empresas, tanto del sector público como privado. Pese a esto los indicadores a los cuales es necesario recurrir, como son la inversión en investigación y desarrollo (I+D) y los recursos públicos y privados que se orientan a empresas o programas innovadores, no son muy satisfactorios. América Latina se encuentra rezagada frente a las economías avanzadas, y aún frente a las asiáticas, cuya industrialización es relativamente reciente. Como se puede observar en el Gráfico 1, la inversión en I+D, en los dos periodos considerados, es muy baja, siendo Brasil, Chile y México los únicos países que muestran incrementos en los niveles de inversión en los últimos años; sin embargo mucho menores que el de los líderes mundiales. En el caso de Colombia, no se muestra ningún progreso en dicho periodo, situándose por debajo de siete países latinoamericanos.

Con referencia a otras estadísticas, se obtiene que cerca del 60 % de la inversión en I+D en los países desarrollados es realizada por empresas privadas, mientras que en los países latinoamericanos la mayor parte en I+D es realizada por el gobierno o financiada por las universidades y en menor grado por las empresas (OCDE, 2007).

Gráfico 1
América Latina y el Caribe, economías avanzadas
(22 economías pertenecientes a la OCDE) y países asiáticos:
inversión en investigación y desarrollo, 1990-2004



Fuente: Jiménez. Capital del riesgo e innovación en América Latina. Revista de la CEPAL 96. Diciembre 2008. p. 175

Malaver y Vargas (2007) analizaron que las empresas en América Latina han basado su competitividad en el marketing y el desarrollo de canales de distribución o mecanismo de creación de valor de posesión, y por ello no se han preocupado por recurrir a estrategias de innovación con el fin de ganar competitividad frente al resto del mundo. Esto se visualiza en la mayoría de encuestas enfocadas sobre diferentes indicadores en los que se observa que no existen departamentos bien establecidos de I+D, además que los profesionales calificados se encuentran subvalorados, porque se dedican más a actividades relacionadas con el incremento de la productividad sin la generación de nuevos procesos o productos, convirtiendo a la innovación como una tarea parcial e informal. La referencia brasilera ha apoyado sus desarrollos en una alta inversión en educación, intensiva explotación del mercado interno con una alta protección, alta inversión extranjera de largo plazo por parte de Alemania y Japón, y el desarrollo con algunos rasgos de innovación en industrias clave como la militar, petrolera, química y de materiales. Chile por su parte se ha enfocado en desarrollo de algunas de las mejores universidades de la región y a su vez el

comercio internacional con la explotación del sector minero e innovación en el de alimentos, con gran éxito global (vinos, frutas, salmón, etc.).

Caso Colombia

Para Colombia, el proceso de innovación ha tenido un surgimiento poco representativo producto de la baja inversión en investigación y desarrollo y escasa vinculación del sector productivo, frente a otros países en América latina. Los indicadores del Observatorio Nacional de Ciencia y Tecnología (OCyT, 2008, 2009), muestran la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación que ha tenido Colombia durante los últimos años (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Evolución de la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI) e inversión en I+D como porcentaje del PIB, 2004 - 2009

Indicadores CTI						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ACTI	0.398	0.464	0.415	0.410	0.375	0.391
Inversión en I+D	0.158	0.160	0.160	0.161	0.152	0.161

Fuente: OCyT. Indicadores de Ciencia y Tecnología. Colombia 2009.

Comparando las cifras del Gráfico 1 con las de la Tabla 1, y aunque representan diferentes periodos, la inversión tanto en ACTI e I+D se ha mantenido en niveles similares durante la ventana de 15 años entre 1990 a 2004. No obstante, las estadísticas más recientes del Observatorio de Ciencia y Tecnología (OCyT), entidad fundada en 1999, muestran que el presupuesto de Colciencias ha pasado de \$108.930 millones en el 2004 a \$208.623 millones en el 2009.

Así mismo y de acuerdo con los datos obtenidos por el OCyT, la financiación en el mismo periodo, para las ACTI es de un 52 % por parte del sector público y de un 45 % del privado. Para el caso de I+D es de un 60 % por parte del sector público y de un 36 % del privado. Lo cual indica que el sector privado y el público invierten en las ACTI casi un promedio equilibrado, lo cual no se observa para el caso de I+D, donde el apoyo por parte del sector privado es mucho menor que el estatal, en el mismo periodo.

Las acciones en innovación se acostumbran a desglosar en actividades de innovación, de I+D, servicios científicos y tecnológicos, administración y

otras actividades de apoyo, y apoyo a la formación y capacitación científica y tecnológica. Cada una de ellas posee una participación en la inversión nacional, donde las actividades de innovación y las actividades de I+D, tienen los porcentajes más altos con un 42 % y 39 % respectivamente, y el apoyo a la formación y capacitación científica y tecnológica, presenta un porcentaje del 0.2 % (OCyT, 2009).

En la Tabla 2 se presenta la evolución de la financiación de proyectos. En el periodo comprendido entre el 2004 y el 2007, hubo un estancamiento en los recursos de financiación y solo se percibió un incremento significativo en el año 2008. Es importante decir que los recursos asociados a estos proyectos, en especial los de financiación contingente, suelen ser los más prolíficos en términos de producción científica porque tienen como propósito apalancar la innovación en sus fundamentos básicos. En la Tabla 2 se corrobora la baja participación de las empresas, ya que la contrapartida suele estar representada por el tiempo de los profesores de las universidades beneficiadas.

Tabla 2
Recursos aprobados para financiación de proyectos, 2004-2008¹
(Millones de pesos constantes de 2008)

Año	2004	2005	2006	2007	2008
Colciencias	56.844	51.229	41.049	56.937	76.120
Contrapartida	62.050	91.362	48.561	97.681	86.490
Total	118.894	143.351	89.610	154.618	162.610

Fuente: Colciencias. Cálculos: OCyT.

Pese a todo, la eficiencia de los investigadores en la utilización de los recursos del país es alta, si se compara con los países latinoamericanos, ubicándose actualmente en el primer puesto del área Andina y quinto en América Latina, detrás de Brasil, México, Chile y Argentina, puestos importantes que se representan por la fundamentalmente producción científica de impacto relacionada con la publicación de artículos en las bases de datos que componen a el ISI. Específicamente, Colombia publica alrededor de un 2,73 % en revistas SCI-Expanded y un 4,66 % en revistas SSCI (Social Science Citation Index) de América Latina (OCyT, 2009). En la Tabla 3 se presenta la evolución de la producción de revistas entre 2004-2008.

1. No se pudo determinar el monto de contrapartida para un proyecto de 2007 y once proyectos de 2008.

Tabla 3

Documentos de autores vinculados a instituciones colombianas
en Web of Science, 2004-2008

Año	2004	2005	2006	2007	2008
SCI	828	1078	1134	1222	2158
SSCI	64	107	92	146	246
A&HCI	11	6	8	16	73

Fuente: Web of Science: consulta 2009.

El avance de las redes también ha mostrado buenas señales, en especial un incremento de trabajos con colegas de ambientes latinoamericanos, aunque se mantienen las producciones con los países tradicionales EUA y Europa, donde los investigadores desarrollan vínculos con sus profesores y condiscípulos a partir de sus experiencias de posgrado.

Tabla 4

Documentos de autores vinculados a instituciones colombianas
en cooperación internacional según regiones geográficas,
SCI-Expanded, SSCI, 2004-2008

Región	SCI		SSCI	
	Documentos	Artículos	Documentos	Artículos
América Latina y el Caribe	2323	1864	169	141
EUA y Canadá	1839	1382	177	135
Europa	3783	3195	288	250
Otras regiones	1123	948	135	129

Fuente: SCI-Expanded, SSCI, consulta agosto 2009.

La Tabla 5 muestra los resultados estadísticos sobre términos más explícitos de innovación como son las patentes concedidas para el caso por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). Los resultados son diferenciados según la vía de sometimiento, vía nacional y vía tratado de cooperación en materia de patentes (TCP); es interesante observar, en relación con el número de patentes concedidas, la baja tasa de concesión. En cuanto a productos de innovación, títulos de producción industrial o patentes, las solicitudes por parte de Colombia ante entidades nacionales de patentes representan, en relación con América Latina, un 0,5 %, y las concedidas representan un 1,3 %, durante el periodo de 2004 a 2007 (OCyT, 2009). Según el World Intellectual Property Indicators, el

número de patentes de Colombia en 2008 fue de 68, mientras en Chile alcanzó 743. Brasil, entre tanto, registró 5.126 patentes en 2007. Esta producción solamente puede calificarse como dramática en materia de innovación, e indica que a pesar de los esfuerzos por incrementar este tipo de actividades, aún no se alcanza el nivel esperado para obtener una mejor representación a nivel internacional.

Tabla 5
Patentes de invención solicitadas y concedidas ante la
Superintendencia de Industria y Comercio, 2004-2008

No	Presentadas vía nacional			Presentadas vía TCP			Concedidas vía nacional			Concedidas vía TCP		
	R**	NR***	Total	R**	NR***	Total	R**	NR***	Total	R**	NR***	Tot
2004	71	132	203	5	1233	1238	11	283	294	0	0	0
2005	91	169	260	8	1493	1501	7	249	256	0	0	0
2006	141	133	274	2	1727	1729	10	206	216	1	6	7
2007	114	114	228	1	1747	1748	12	149	161	0	61	61
2008	117	106	223	9	1712	1721	30	147	177	1	231	232
Total	534	654	1188	25	7912	7937	70	1034	1104	2	298	300

Fuente: SIC. TCP: Tratado de Cooperación en materia de Patentes. **R: Residentes *** NR: No Residentes.

Un factor indudable de la baja producción en ciencia e innovación se relaciona con la cobertura y cualificación de los diferentes niveles de educación en el país (Ver Tabla 6).

Tabla 6
Graduados en Instituciones de Educación Superior – IES, 2004 a 2008

Nivel académico	Año					Total
	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008
Técnico	5.211	5.392	8.678	10.157	14.076	43.514
Tecnológico	18.026	15.150	16.301	21.355	17.360	88.192
Pregrado	97.844	89.809	91.165	99.196	96.450	474.464
Especialización	23.099	22.436	27.284	30.567	31.973	135.359
Maestría	2.285	2.435	3.291	3.417	2.911	14.339
Doctorado	0	48	91	91	98	378
Total graduados	146.515	135.270	146.810	164.783	162.868	756.246

Fuente: Ministerio de Educación Nacional –Observatorio Laboral para la Educación, OCyT. “Indicadores de ciencia y tecnología– Colombia”.

Estas cifras muestran que el número de graduados en maestría y doctorado son aún muy bajos en relación con los niveles de pregrado, técnico y tecnológico, y muy inferiores a la tasa de Latinoamérica y el resto del mundo. Aunque el número de beneficiarios ha ido en aumento, no representa más del 2 % de apoyo a los graduados en pregrado para acceder a un programa de maestría, y para aquellos que han realizado una maestría o especialización es más bajo el porcentaje para acceder a un programa de doctorado.

La inmensa mayoría de profesionales no acceden al nivel de educación más calificado, debido a la alta repitencia y deserción en pregrado, los altos costos, la falta de apoyo para la financiación, pero también esto se debe a los efectos del costo-beneficio que perciben los profesionales que son seducidos por las oportunidades que ofrece el sector productivo a menores niveles de especialización. No obstante, si se compara con cifras de años anteriores al 2004, se muestra un acelerado incremento en el número de graduados en maestría y doctorado en el país.

Un hecho importante es el cambio de política que Colciencias ha venido realizando paulatinamente para la financiación de los doctorados nacionales a medida que sus grupos de investigación se han desarrollado, así se pasó, en dos décadas, de una financiación de doctorados en programas del exterior (formación tipo sándwich), a una financiación mayoritaria en programas nacionales. Esto se percibe como una política de retención de capital humano.

Tabla 7

Becas, créditos y becas-crédito para maestría y doctorado, 2004 - 2008

Año	2004	2005	2006	2007	2008
Maestría	273	309	252	430	1397
Doctorado	280	253	259	218	356

Fuentes: Banco de la República, Icetex, Colciencias, Colfuturo, DNP, Comisión Fullbright Colombia, British Council y Fundación Mazda para el Arte y la Ciencia. Tomado de: OCyT “Indicadores de Ciencia y Tecnología – Colombia 2009”.

La Tabla 7 muestra que los principales apoyos para este tipo de educación son las becas y las becas-crédito, ofrecidos por entidades como el Icetex, Colciencias, Colfuturo, Comisión Fullbright de Colombia, la Fundación Carolina, el DAAD, entre otras, siendo la principal fuente de financiación los préstamos del Icfes para el caso de maestría y de Colciencias para los doctorados, aunque las fuentes de apoyo de EUA y Europa siguen siendo importantes.

La ocupación de magísteres y doctores que tienen una actividad de investigación representativa² se encuentran concentrados en las instituciones de educación Superior. Los datos del OCyT para el 2009, muestra que cerca del 90 % de los investigadores activos se encuentran en las instituciones de educación superior públicas y privadas, quedando un 10 % repartido en diferentes instituciones del sector comercial, hospitalario, social y gubernamental.

Debido a que el 90 % de las empresas nacionales son pymes, es reducida la población de empresas colombianas que están en capacidad de adquirir recursos humanos calificados. Esto apoya el estudio de Pérez y García (2005) que establece que los sectores económicos donde hay mayor proporción de empresas innovadoras son aquellos con un tamaño promedio por encima de los 100 trabajadores, donde las ventas y productividad son mucho mayor. Con base en esto, los sectores donde se observan estas características son el de alimentos, de productos químicos y farmacéuticos, asociados a sectores con empresas medianas.

Para el caso de la industria de alimentos, estas experimentan una fuerte competencia de multinacionales y por tanto requieren de un buen nivel de innovación para mantener su competitividad, para ello suelen comprar investigación a los centros de investigación de talla mundial; esto porque perciben que los niveles alcanzados en Colombia por los grupos de investigación no les permiten satisfacer sus necesidades ni les brindan garantías de sostenibilidad como proveedores confiables de conocimiento, y porque los recursos necesarios para garantizar estos niveles de servicio implicarían inversiones mayores para el sector; sin embargo, funcionar a través de este esquema tecnológico genera una permanente dependencia y no permite obtener ventajas competitivas en innovación en un mercado global.

El caso de los laboratorios farmacéuticos es también incipiente frente a la innovación, en este sector se suele comprar las moléculas de los principios activos en países como China e India y así la innovación se limita al desarrollo de incipientes (García *et al.*, 2009). En conclusión, la capacidad innovadora en

-
2. Por investigador activo se entiende a aquella persona que demuestra tener un producto de tipo A (un artículo publicado en revista A1 o A2; libro citado reseñado en revista A1, A2 o B o citado en libro tipo A1 o publicado en los últimos tres años; patentes y modelos de utilidad obtenidos; producto con registro obtenido –software, variedad animal, vegetal o nueva raza y todo diseño o modelo registrado–; spin off; normas basadas en resultados de investigación, productos o procesos tecnológicos no patentables o tesis con distinción) entre el año de corte y los dos años anteriores. Así, los investigadores en el año 2008 son aquellos que tienen un producto de los tipos mencionados entre 2006 y 2008. (OCyT, *Indicadores de Ciencia y Tecnología, Colombia* 2009. p. 56).

el país muestra una relación directa con el tamaño de la empresa y su nivel de productividad (Pérez, García, 2005).

Malaver *et al.* (2004), reiteran las debilidades de la industria nacional fundamentados en falencias en los procesos de planeación empresarial, falta de departamentos de investigación y desarrollo, ausencia de mecanismos para desarrollar una efectiva transferencia tecnológica, un desconocimiento de la reglamentación de propiedad intelectual y la escasa dinámica para desarrollar proyectos con componente investigativo, lo que en conjunto representa un espacio poco propenso para la generación de innovación.

Un ejemplo positivo de colaboración Estado-empresa-universidad es el que han venido desarrollando empresas como Coctemar o Ecoflora. Ecoflora ha desarrollado su portafolio de productos apoyándose en las fortalezas de investigación. Creó el centro de investigación Biointropic con otras ocho universidades y se apoyó en programas de aceleramiento empresarial con facultades de administración, ha utilizado fondos provenientes de Colciencias y del sistema nacional de innovación y ha vinculado entre sus accionistas a Progresía Capital, uno de los primeros fondos de inversión de capital de riesgo que existe en el país, así como a privados (Aronica, Sandra F, Peretti Florencia Ma, 2009). Por su parte Cotecmar es una corporación de ciencia y tecnología formada como una sociedad entre el Ministerio de Defensa, la Armada Nacional, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad del Norte y la Universidad Tecnológica de Bolívar. Cotecmar diseña y construye barcas y buques, además presta servicios de mantenimiento, diseño, reparación y construcción de embarcaciones. La financiación es llevada a cabo por la Armada Colombiana y sus desarrollos se han plasmado en modelos de utilidad y patentes asociadas a secretos industriales. Existen más casos en donde en diferentes medidas y características se ha logrado esta integración, como son las experiencias en Farmacéutica Procaps, EPM, cementera Argos, Codensa, Acesco, entre otros (Revista Dinero, 2010).

Discusión y conclusiones

En un reciente foro sobre CTI, representantes de los diferentes sectores coincidieron en manifestar la urgente necesidad por aumentar los niveles de integración que permitan la sostenibilidad en el desarrollo de proyectos de investigación de impacto en innovación que vinculen los tres sectores para preparar al país frente a los tratados de libre comercio. Como estrategia a corto plazo es importante iniciar con los procesos de integración entre Estado-empresa-universidad, teniendo en cuenta los arraigos culturales y el establecimiento de la confianza. Al

respecto, un buen ejemplo de esta idea es la que se ha venido desarrollando en el departamento de Antioquia y se ha plasmado en Tecnnova que cuenta entre sus fundadores con nueve universidades y un grupo de empresas de la región. Tecnnova es un ente articulador de la estrategia Estado-empresa-universidad y se encarga de juntar la oferta y demanda de innovación en la región.

Por su parte en Bogotá, el tema se viene trabajando desde 2005. El proceso ya cuenta con la participación de once universidades en alianza con el Foro de Presidentes. Entre las empresas afiliadas se cuentan Syngenta, Corona, Alpina, IBM, el grupo Bolívar y el grupo Aval. La Alianza ha realizado una rueda de negocios innovadores, en la cual se presentaron cerca de 40 proyectos y asistieron 221 empresarios. Al parecer las experiencias existentes ratifican que la estrategia de región facilita el proceso de integración. Otro de los aspectos tratados tiene que ver con la financiación de centros especializados para atender las necesidades sectoriales que vincule a los tres entes, el sector empresarial que sería el gran proveedor de recursos frescos, el sector educativo que proporcionaría los investigadores (vinculando estudiantes de postgrado) para los proyectos y el Estado que proporciona beneficios de tipo tributario. Este modelo es una fiel copia de la dinámica de posgrados en EUA y Europa, donde la experiencia en investigación de los doctorandos y magísteres se lleva a cabo dentro de departamentos de investigación y desarrollo de las empresas vinculadas; esto genera el espacio propicio para proposición de ideas que contribuyan de manera importante al desarrollo de productos tecnológicos como *spin off* y patentes.

En el panel se argumentó que para aumentar la efectividad de Colciencias, esta debe desarrollar mecanismos que reduzcan la tramitología para la obtención de incentivos en investigación sin descuidar el necesario control de los recursos; así el sector productivo aumentaría su dinamismo al ver que los incentivos se hacen efectivos. Un aspecto que salió a relucir fue la necesidad de que la investigación no se desarrolle para el sector productivo sino con el sector productivo, para no perder la esencia de lo que implica la investigación en la generación de conocimiento científico sin ningún tipo de sesgos, pluralidad y multivariiedad.

Frente al actual desconocimiento de las reglamentaciones sobre propiedad intelectual, se plantearon medidas más amplias, como es el desarrollo de un marco más holístico para la consolidación de sistemas de gestión de la investigación e innovación de los sectores; este no solo debe vincular las reglamentaciones de propiedad intelectual sino que tiene que prever políticas de enganche, retención y desarrollo de investigadores y de aseguramiento de los proyectos para que se enmarquen dentro de líneas transversales de investigación y permitan el

aprovechamiento de los resultados. Una nueva oportunidad que se vislumbra es la de abrir programas educativos para formar personal en gestión de la investigación e innovación, tanto a nivel gerencial, como técnico y de soporte, como son los medios de comunicación. Finalmente es necesario replantear el modelo Estado-empresa-universidad ante el modelo Estado-empresa-universidad-sector financiero, esto como mecanismo para asegurar la sostenibilidad. A su vez, se debe revisar la política nacional en cuanto a la concepción de los desarrollos de los grupos de investigación como de las publicaciones científicas, si se tiene en cuenta el elevado número de revistas, su poca visibilidad y la baja productividad de los grupos que concentran la producción en unos pocos investigadores.

Referencias bibliográficas

- ANDERSEN, E. S. y LUNDVALL, B. (1998). “Small national systems of innovation facing technological revolutions: an analytical framework”. En: FREEMANN, Lundvall (eds.). *Small countries facing the technological revolution*. London, New York: Printer. pp. 9-36.
- DOMINICK, Salvatore. (2000). “Economía internacional” Ed. Mc Graw Hill, Nueva York. “The New Power in Innovation”. *World patent report: a statistical review. Supplied by The World Intellectual Property Organization*.
- FREEMAN, C. (1982). *The economics of industrial innovation*. Second edition. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- _____. (1997). *Technology policy and economic performance. Lessons from Japan*. London, New York.
- FREEMAN, C. y PÉREZ, C. (1988). Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour. En: DOSI et al. *Technological change and economical theory*. London, New York. pp. 39-66
- GARCÍA, R. G. et al. (2009). *Creación de valor en la cadena de abastecimiento del sector salud en Colombia. Cuadernos de administración*. 22(39), pp. 235 – 256.
- INNOVA Chile de Corfo. 70 Casos de innovación [en línea]. Nave Primera Edición (Julio de 2007) ISBN: 978-956-8652-9. Dirección URL: <http://www.iberpymeonline.org/Documentos/70Casos.pdf/>>. [Consulta: 23 Septiembre 2010]. “Investigación” [en línea].

- JIMÉNEZ, Luis Felipe. (2008). Capital de riesgo en América Latina [en línea]. *Revista de la Cepal* 96. Diciembre [Consulta: 23 septiembre 2010]. Dirección URL: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/34910/RVE96Jimenez.pdf/>>
- LUCIO, Jorge, et.al. *Indicadores de ciencia y tecnología, Colombia 2009*. Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Edición de bolsillo.
- MALAVER R., Florentino y VARGAS, P., Marisela. (2007). *Los indicadores de innovación en América Latina: nuevos avances y desafíos*. [en línea] Ponencia presentada en el VII Congreso Iberoamericano de Indicadores de Ciencia y Tecnología. “Nuevos indicadores para nuevas demandas de información”. Brasil (23 - 25 mayo). Consultado el 23 de septiembre de 2010, en: <http://www.ocyt.org.co/ponencias2007/Ponencia%20Colombia%20FM%20MV%20RICYT%201.pdf> />.
- _____ y _____. La innovación en Colombia: 1995 – 2004. OCDE 2007. “Annual Report 2007” [en línea]. Dirección URL: < <http://www.oecd.org/dataoecd/34/33/38528123.pdf> >. [Consulta: 23 septiembre 2010].
- PÉREZ A., Yezid y GARCÍA C., Rafael. El papel de la innovación y tecnología. *Revista Javeriana*, Septiembre de 2005. 50-60. Rivas, Daniel. “¿Qué es Investigar?” [en línea]. *Revista En plural* 02. (Julio 2006) Dirección URL: <<http://www.uca.edu.sv/deptos/letras/enplural/archivo/a1n2/articulos/art01.htm>>. [Consulta: 18 septiembre 2010].
- RODRÍGUEZ, A., Asien. La recuperación económica de Japón y la revolución tecnológica [en línea]. *Revista Observatorio iberoamericano de la economía y la sociedad del Japón*. Vol. 1, Nº 1 (Enero 2008). Dirección URL: < <http://www.eumed.net/rev/japon/01/era-tec.htm> >. [Consulta: 20 Septiembre 2010].
- SALAZAR A. Mónica et.al. *Indicadores de ciencia y tecnología, Colombia 2008*. Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Marzo de 2009. Dirección URL: <http://grant-thornton.sqlsch.co.uk/new_world_powers_info.jpg>. [Consulta: 20 septiembre 2010]. “The smartest people in tech”. [en línea].
- *Revista Fortune* (julio 2010). Dirección URL: <http://money.cnn.com/galleries/2010/technology/1007/gallery.smartest_people_tech.fortune/4.html>. [Consulta: 20 septiembre 2010].

- ARONICA, Sandra Fabiana; PERETTI, Florencia Ma. “La gestión tecnológica en las organizaciones”. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/21072390/Ponencia-Gestion-Tecnologica-DUTI>, 2009.
- TREJO, G., Miranda. *Innovación y alianzas estratégicas en el éxito de las pequeñas empresas en Estados Unidos: el caso de las pequeñas empresas más exitosas de California según la revista Forbes*. Tesis Maestría. Estudios sobre Estados Unidos de Norteamérica. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas Puebla. “Capítulo 2. La innovación en Estados Unidos” [en línea]. (Enero 2005). Dirección URL: <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mes/miranda_t_g/capitulo2.pdf>. [Consulta: 20 septiembre 2010].
- *Wikipedia la Enciclopedia Libre*. Actualizado septiembre 2010. Dirección URL: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n/>> [Consulta: 18 Septiembre 2010]. “Innovación” [en línea]. *Wikipedia la Enciclopedia Libre*. Actualizado Septiembre 2010. Dirección URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Innovaci%C3%B3n#cite_note-3/> [Consulta: 18 septiembre 2010].

La arquitectura de la gestión del conocimiento en empresas manufactureras

Caso: sector aluminio primario en Venezuela

Carlos Rodríguez Monroy
Marian Gómez Hernández

Universidad Politécnica de Madrid, España

Resumen

La investigación tiene como propósito determinar la arquitectura de la gestión del conocimiento (GC) en empresas manufactureras, y para ello toma como referencia las variables asociadas a la GC en las dimensiones: a) creación, b) identificación y adquisición, c) clasificación y almacenamiento, d) aplicación y actualización, e) transferencia, y f) medición del conocimiento; soportado por cuatro pilares correspondiente a la plataforma interna: cultura, liderazgo, comunidades de prácticas, TIC, memorias corporativas y patentes. Metodológicamente, este estudio se inscribe en la modalidad de investigación de campo, de carácter explicativo. Los resultados permiten cuantificar las variables de GC con mayor incidencia en las empresas del sector aluminio primario en Venezuela, que está conformada por diez factores que explican las variables con base al 54,52% de la varianza total. Estos diez factores son: adquisición del conocimiento; calificación, almacenamiento y protección; creación de conocimiento; remuneración; liderazgo; TIC; eficiencia de la empresa; percepción de la for-

mación; motivación; y participación en las decisiones. Este estudio confirma la dimensión estratégica y multifactorial de la GC en las empresas manufactureras.

Palabras clave: gestión del conocimiento, análisis factorial, empresa de manufactura, efectos en los resultados.

Introducción

A pesar de que se ha reiterado, en artículos escritos por algunos de los más prestigiosos pensadores de nuestro tiempo, como Peter F. Druker, David A. Garvin, Ikujiro Nonaka y otros, la existencia de un claro vínculo entre el conocimiento y el éxito de la organización, todavía está sin determinar cómo tiene lugar la consecución y consolidación de las capacidades de la gestión de los procesos del conocimiento organizacional. Por esta razón, la presente investigación se centra en presentar un modelo de arquitectura de la gestión del conocimiento, para evaluar el conocimiento que debe ser gestionado y establecer su relación con los resultados de la empresa.

La gestión del conocimiento se presenta como una disciplina cuyo objetivo principal es desarrollar el conocimiento en las fases de adquisición, almacenamiento, transformación, distribución y utilización, con la finalidad de lograr ventajas competitivas (Riesco, 2006; Barragán, 2009). Es decir, se trataría de crear nuevos conocimientos, qué es utilizable del conocimiento adquirido, determinar cómo ese conjunto de conocimientos puede ser incorporado de forma eficaz a las actividades de la organización, compartir esos conocimientos y evitar su fuga, aunque es difícil precisar de forma exacta lo que sería su desarrollo en la práctica.

El objetivo de esta investigación es identificar y contrastar las variables que configuran la arquitectura de la GC y analizar su contribución en los resultados de las empresas manufactureras. En primer lugar, se desarrolla el marco teórico que sitúa el tema de la investigación y lleva a diseñar una propuesta de análisis. Posteriormente, a través de la técnica del análisis descriptivo, factorial y simulación, se contrastan las variables del estudio. En último lugar, se presentan los resultados obtenidos, las discusiones y conclusiones de la investigación.

Marco teórico

La importancia del conocimiento y su gestión dentro de las organizaciones ha evolucionado con el paso del tiempo, ya no les basta a las empresas con tener conocimiento, tienen que saber aplicarlo, acrecentando experiencia e intuición, para que sean empresas que generen y capitalicen sabiduría, o sea empresas in-

teligentes. North y Pöschl (2003) consideran que una empresa inteligente tiene obligatoriamente que tener conocimiento de los mercados, los competidores, los clientes, de los procesos, de los productos, y de los empleados, para poner su conocimiento en acción.

Aunque son muchas y variadas las definiciones existentes de GC, desde la perspectiva de esta investigación se puede definir como una estrategia gerencial que permite potenciar los activos intelectuales de los individuos y la organización, mediante los procesos de creación, adquisición, almacenamiento, aplicación, transferencia y medición del conocimiento, con la finalidad de mejorar los resultados de la empresa. Ello implica determinar las necesidades de conocimiento presentes y futuras de la organización, suplir las carencias y aplicar el conocimiento de manera productiva, con el objetivo de generar ventajas competitivas sostenibles en el tiempo.

A partir de la conceptualización de la GC, se seleccionaron las seis dimensiones que la atraviesan en las empresas manufactureras. En la Tabla 1 se detallan los principales autores que proponen las seis dimensiones de la GC.

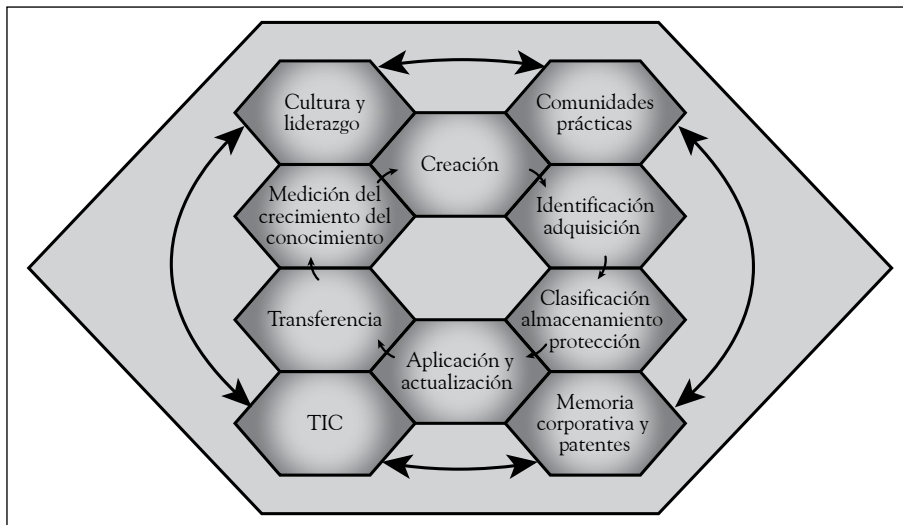
Tabla 1
Dimensiones de la GC por autores proponentes

Etapas de la GC en la literatura	Autores proponentes
Creación del conocimiento	Andersen (1999), Rivero (2006), Moreno (2002), Tat & Hase, (2007), Grimaldi, Rippa & Ruffolo, (2008), Laesvirta & Ribière, (2008), Spraggon & Bodolica, (2008), López y Pérez (2003).
Identificación y adquisición	Nonaka & Takeuchi (1995), De Pablo (2002), Moreno, López y Sabater (2007), Tat & Hase, (2007), Spraggon & Bodolica, (2008), Madsen, Riis & Waehrens, (2008).
Clasificación y almacenamiento	López y Pérez (2003), Tiwana (2002), Riesco (2006), Liu y Tsai, (2007), Tat & Hase, (2007), Laesvirta & Ribière, (2008), Madsen, Riis & Waehrens, (2008).
Aplicación y actualización	Davenport y Prusak (1998), Andersen (1999), Zahra y George (2002), Marín y Zarete (2008), Moreno, López y Sabater (2007).
Transferencia del conocimiento	Nonaka y Takeuchi (1995), Moreno (2002), De Pablo (2002), Moreno, López y Sabater (2007), Tat & Hase, (2007), Grimaldi, Rippa & Ruffolo, (2008), Madsen, Riis & Waehrens, (2008), Pérez & Dressler (2007).
Medición del conocimiento	Davenport y Prusak (1998), Kaplan y Norton (1996), Moreno (2002), De Pablo (2002), Carlucci y Schiuma (2006), Liu y Tsai, (2007), Grimaldi, Rippa & Ruffolo, (2008), Tang, (2008).

Estructura propuesta de la arquitectura de la GC

La estructura de la arquitectura de la GC organizacional en empresas manufactureras está constituida por seis dimensiones: 1) creación del conocimiento, 2) identificación y adquisición del conocimiento, 3) clasificación y almacenamiento, 4) aplicación y actualización, 5) transferencia, y 6) medición del conocimiento. Además cuenta con cuatro soportes internos que son: cultura y liderazgo, comunidades de prácticas, memorias corporativas y patentes, y TIC (Ver Figura 1). Esencialmente, el objetivo que se persigue con esta estructura es valorar los procesos que se aplican para gestionar los conocimientos y analizar su contribución en los resultados en las empresas de manufactura.

Figura 1
Arquitectura de la GC



Fuente: Los autores.

En esta estructura se evaluará el flujo de conocimiento entre los empleados y las diferentes áreas de la empresa, para saber en qué medida la empresa crea, identifica y adquiere conocimiento.

En los parámetros de la arquitectura de la GC, se considera el conocimiento un activo dinámico que debe ser gestionado para mejorar los resultados en empresas de manufacturas, lo que permitirá la optimización de los activos intangibles, aumentando el sistema de memorias organizacionales, la protección del conocimiento y evitará la fuga de talentos y de información. En este sentido, en la dimensión clasificación y almacenamiento es necesario determinar cómo

se filtra, codifica, estructura, accede y dispone del conocimiento valioso para crear sinergias que aumenten el rendimiento de la empresa.

Metodología

La investigación se inscribe en la modalidad de investigación de campo, con carácter explicativo. El protocolo consistió en lo siguiente: a) formular el problema, b) delimitar el alcance, c) diagnosticar la situación actual, d) definir las características y las dimensiones de las variables que serían incluidas en el modelo de análisis, e) diseñar el modelo conceptual de análisis por indicadores para evaluar la GC en empresas manufactureras, y por último, f) validar el método propuesto en las empresas manufactureras del sector aluminio objeto de esta investigación, haciendo uso de los software SPSS de estadística y Bitam-Stratego de simulación, para valorar las variables GC.

El estudio empírico de la investigación es realizado a partir de la selección y análisis de una muestra de las empresas del sector aluminio en Venezuela, ellas son CVG Venalum y CVG Alcasa. Los datos fueron recogidos a través de dos encuestas directas, llevadas a cabo en las áreas de producción de las plantas seleccionadas. El objetivo principal es comprobar la validez global, haciendo de las empresas la unidad de análisis fundamental. Para ello, se desarrolló el trabajo en dos fases.

La primera fase contó con el análisis descriptivo y factorial. El análisis descriptivo pretende establecer las características de la GC aplicada en las empresas, en función de las variables del modelo de la arquitectura de la GC, estructurados en cinco bloques: 1) cultura y liderazgo, 2) fluidez y desarrollo del conocimiento, 3) tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), 4) desarrollo de trabajo en equipo y participación en las decisiones, y 5) políticas y desempeño de la empresa. Ahora bien, con el análisis factorial, usando el método de máxima verosimilitud, se reduce la cantidad inicial de información para realizar una mejor exploración del conjunto de factores representativos de los distintos bloques del modelo. Ambos análisis ayudan en su conjunto a hacer una evaluación inicial de la GC en las empresas, que facilita tener una visión global de la situación y a considerar las variables más importantes para el análisis posterior.

En la segunda fase, y como núcleo fundamental de este análisis empírico, se aplicó una simulación con el software Bitam-Stratego dirigido a evaluar los indicadores propuestos entre las diferentes dimensiones que conforman el modelo de arquitectura de la GC. En términos generales, la simulación con Bitam

Stratego se ocupa de valorar el desempeño global de la organización a través de la integración de un sistema de indicadores. Este análisis del desempeño proporciona la evaluación de las estrategias de la GC en las empresas, con la finalidad de cuantificar las variables de GC aplicadas por las empresas.

El trabajo de campo se desarrolló durante el periodo enero a diciembre de 2009, durante ese tiempo se realizaron visitas a las plantas y se obtuvieron 165 respuestas. De los cuestionarios obtenidos excluimos 8, puesto que faltaba alguna información por responder. Por lo que el número de cuestionarios válidos es de 157. En la Tabla 2 aparece la ficha técnica de la investigación empírica.

Tabla 2
Ficha técnica de la investigación empírica

Universo y ámbito de estudio	Empresas manufactureras productoras de aluminio primario CVG
Universo y ámbito de estudio	Empresas manufactureras productoras de aluminio primario CVG Venalum y CVG Alcasa, ubicadas en Venezuela.
Tamaño de la muestra estratificada	68 supervisores y 89 operadores.
Error muestral	$\pm 5 \%$
Nivel de confianza	95 % ($Z=1,96$)
Método de obtención de la información	Encuesta dirigida e informes de gestión.
Procedimiento de muestreo	Aleatorio simple con tablas de números aleatorios.
Tratamiento de los datos	Análisis descriptivo y factorial, software estadístico SPSS. Evaluación de objetivos e indicadores, software de simulación Bitam-Stratego.
Fecha del trabajo de campo	Enero-diciembre de 2009.

Fuente: Los autores.

Resultados

Evaluación inicial de la GC en las empresas

El análisis descriptivo permite establecer las características actuales de GC aplicada en las empresas, en función de cinco aspectos: 1) cultura y liderazgo, 2) fluidez y desarrollo del conocimiento, 3) Tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), 4) desarrollo de trabajo en equipo y participación en las decisiones, y 5) políticas y desempeño de la empresa. Seguidamente se presenta los resultados más relevantes.

En el enfoque de análisis integral en el que se está inmerso, los aspectos estudiados hasta ahora y los resultados obtenidos, fruto de análisis previos y la realización de cuestionarios y entrevistas, permiten realizar el análisis descriptivo de la primera fase correspondiente a la evaluación inicial de la GC en las empresas CVG Venalum y CVG Alcasa, la cual permite comprender la lógica de funcionamiento y el comportamiento de los actores. En general, se puede destacar en la cultura que apoya la GC, una serie de valores organizacionales, tales como:

- Clima laboral adecuado, donde existe un reducido nivel de jerarquización.
- Participación e integración de los trabajadores.
- Adecuado nivel de motivación y satisfacción.
- Cierta descontento con la formación.
- Algunas carencias respecto a las TIC.

Los resultados de la segunda parte de la evaluación inicial de la GC, el análisis factorial, permite reducir las variables de la encuesta usada para valorar la percepción de los trabajadores con respecto a las estrategias empleadas por las empresas para la GC.

Como consecuencia de la aplicación de la técnica de análisis factorial, se encontró que existen diez factores o componentes cuyos indicadores para cada factor se identifican por sus mayores cargas. Se utiliza como criterio de selección de ítems o indicadores, aquellos cuya carga es superior a 0,60.

El porcentaje de variación acumulada explicada fue de 54,52 % de un máximo de 100 %, como se muestra en la Tabla 2, representada por diez factores: el primero constituye el 13,32 %; el segundo expresa el 9,98 %; el tercero un 7,24 %; el cuarto registra el 4,16 %, el quinto forma un 3,64 %, el sexto queda con un 3,55 %, el séptimo alcanza un 3,39 %, el octavo proporciona el 3,31 %, el noveno expresa el 3,05 %, y por último, el décimo solo incorpora el 2,88 %. La arquitectura de la GC en las empresas de aluminio primario en Venezuela es determinada por diez factores, lo que significa que la GC es multidimensional. Los indicadores que corresponden a cada factor aparecen en la Tabla 3.

Evaluación de las estrategias de la GC en las empresas

En la arquitectura de la GC, en la cual se evaluaron 6 objetivos y 21 indicadores, se obtuvo una calificación global del anillo de 6,72 puntos y un porcentaje de

cumplimiento de 67 % de las metas establecidas, encendiendo en el semáforo la alerta roja. Esto significa que deben tomarse acciones correctivas de inmediato en el objetivo de potenciar la protección del conocimiento, que es el de menor valoración, como se muestra en la Tabla 4. Seguidamente se presenta un análisis detallado de cada uno de los objetivos con sus respectivos indicadores.

Tabla 3
Indicadores seleccionados

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Indicadores	12. Formación recibida. 15. Capacidades para el desarrollo de su trabajo. 14. Importancia de la formación para el desarrollo de su trabajo. 4. Cultura de desarrollo de conocimiento	23. Clasificación de la información. 24. Instrucciones del manejo. 22. Información almacenada.	32. Habilidad	3. Cambio de trabajo.	6. Estilo de liderazgo
Dimensión	<i>Adquisición del conocimiento.</i>	<i>Clasificación, almacenamiento y protección</i>	<i>Creación de conocimiento</i>	<i>Remuneración</i>	<i>Liderazgo</i>
	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10
Indicadores	19. Apoyo de las tecnologías de información para realizar su trabajo.	37. Eficiencia de la empresa. 38. Calificación global de la empresa.	13. Satisfacción con la formación recibida en la empresa.	5. Motivación en el trabajo.	28. Posibilidad de emitir sugerencia.
Dimensión	<i>TIC</i>	<i>Eficiencia de la empresa</i>	<i>Percepción de la formación</i>	<i>Motivación</i>	<i>Participación en la decisión</i>

Fuente: Los autores.

Tabla 4
Resultados del radar de objetivos de la arquitectura de la GC

Configuración de radar				
■ Actual				
Nombre		Calif.	ST	T
	Arquitectura de la GC en el sector aluminio primario en Venezuela	6,72		▲
	Arquitectura de la GC	6,72		▲
1	⊙ Asegurar la transferencia del conocimiento	7,45	■	▲
2	⊙ Aumentar la creación del conocimiento	6,02	■	▲
3	⊙ Impulsar la identificación y adquisición del conocimiento	7,12	■	▲
4	⊙ Incrementar la aplicación del conocimiento	7,45	■	▲
5	⊙ Medir el crecimiento del conocimiento	8,37	■	▲
6	⊙ Potenciar la creación del conocimiento	3,88	■	▲

Fuente: Los autores.

Asegurar la transferencia del conocimiento

Al realizar el análisis detallado por objetivos presentado en la Tabla 4, se encontró que asegurar la transferencia del conocimiento presenta una calificación de 7 puntos, con un porcentaje de cumplimiento de 74 %, en el cual se evaluaron los indicadores: clima laboral con 8 puntos, cultura de desarrollo de conocimiento obtuvo 7 puntos, liderazgo alcanzó 8 puntos, la remuneración presentó la calificación más baja con 4 puntos y, por último, la satisfacción en el trabajo está valorada en 9 puntos.

En resumen, este objetivo mide las condiciones que garantizan la fluidez del conocimiento. Su resultado se encuentra en alerta roja. Es decir, no se lograron las metas planteadas, lo que evidencia que CVG Venalum y CVG Alcasa deben trabajar el tema de las remuneraciones, que es el indicador que está comprometiendo la calificación del objetivo.

Aumentar la creación del conocimiento

El objetivo aumentar la creación del conocimiento alcanzó una calificación de 6 puntos y 60 % de cumplimiento. Se valoraron dos indicadores: capacidades del

trabajador con 7 puntos y satisfacción con la formación que obtuvo, 5 puntos. Lo que significa una alerta roja y que no se cumplió con las metas propuestas.

Se evidencia la existencia de un programa de formación que no cumple con las necesidades de los trabajadores, lo que afecta negativamente la capacidad de la empresa para generar nuevos productos y solucionar problemas.

Impulsar la identificación y adquisición del conocimiento

En cuanto al objetivo de impulsar la identificación y adquisición del conocimiento, se ubicó en 7 puntos, con un porcentaje de cumplimiento de 71 %, integrado por los indicadores: diálogo interpersonal con 10 puntos, documentos y experiencias 10 puntos, investigación y estudios con 4 puntos y compra o alquiler de conocimiento con el valor más crítico de 1 punto.

En consecuencia, se presenta una señalización de alerta roja. Se pone de manifiesto un desequilibrio entre los métodos habituales establecidos teóricamente donde deben prevalecer las mismas proporciones. Las empresa del sector aluminio primario en Venezuela deben reforzar su programas de I+D+i y estar en la vanguardia de los nuevos conocimientos que existen en el mercado.

Incrementar la aplicación de conocimiento

El objetivo incrementar la aplicación de conocimiento se calificó con 7 puntos y un 74 % de cumplimiento. Está conformado por dos indicadores: trabajo en equipo con 9 puntos y sugerencias incorporadas que alcanzó 6. Los resultados muestran la señalización roja, la empresa no traduce sus conocimientos en nuevos productos y mejoras de los procesos.

Medir el crecimiento del conocimiento

Otro de los objetivos es medir el crecimiento del conocimiento, el cual presentó una calificación de 8 puntos y un porcentaje de cumplimiento de 84 %. Los indicadores evaluados son: eficiencia y gestión, ambos con una puntuación de 8 puntos, encontrándose en un nivel intermedio (color amarillo), lo que permite inferir que los trabajadores aprueban la gestión realizada por los directivos de la empresa.

Potenciar la protección del conocimiento

Por último, el objetivo potenciar la protección del conocimiento registró la calificación más baja con 4 puntos y 39 % en el porcentaje de cumplimiento.

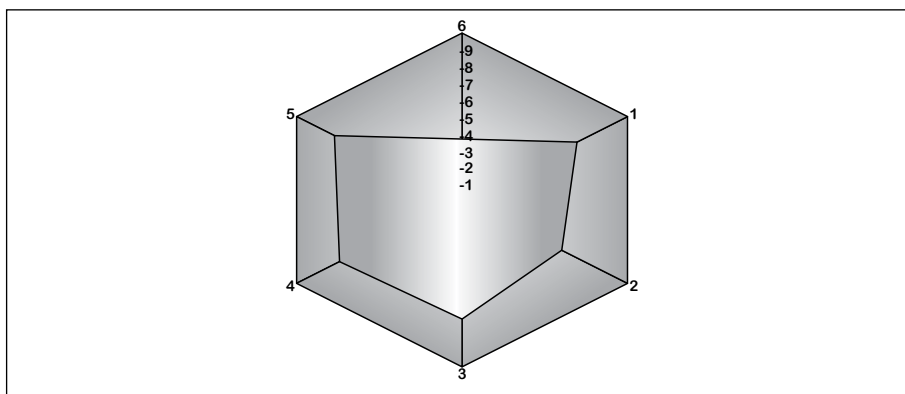
Sus indicadores: bases de datos y memorias corporativas con una valoración de 2 puntos, reflejan la estimación más baja en alerta roja, comprometida por la falta de acceso a las TIC por más del 70 % de los trabajadores.

En este sentido, la empresa debe realizar esfuerzos para que las TIC sean usadas por el mayor grupo posible de trabajadores como herramienta de la GC. Su finalidad es capturar el conocimiento, facilitar su flujo y aplicarlo.

En función de los resultados globales de los diferentes procesos que atraviesa el conocimiento: 1) creación, 2) identificación y adquisición, 3) clasificación y almacenamiento, 4) aplicación y actualización, 5) transferencia, y 6) medición, las empresas CVG Venalum y CVG Alcasa deben orientar sus esfuerzos a corregir sus dos piedras angulares: la formación y el empleo de las TIC. Adicionalmente, deben implantar un sistema de incentivos para la creación y transferencia del conocimiento.

El radar de objetivo presentado en la Figura 2, permite observar de forma gráfica las calificaciones de los 6 objetivos evaluados en la aplicación en CVG Venalum y CVG Alcasa. La escala es de 1 a 10, lo que significa que el objetivo 5, medir el crecimiento del conocimiento, alcanzó la máxima calificación, cumpliéndose la meta. Mientras que los objetivos 1, 3 y 4, lograron ubicarse por encima de la media, es decir, próximos a lograr las programaciones establecidas. Por último, el objetivo 6, potenciar la protección de conocimientos, obtuvo el resultado más bajo, 3,8. No alcanzó la meta y constituyen los puntos críticos de las empresas.

Figura 2
Resultados del radar de los objetivos de la arquitectura de la GC
en CVG Venalum y CVG Alcasa



Fuente: Los autores.

Conclusiones

La propuesta de arquitectura de la GC presentada en esta investigación permite determinar la evaluación de los procesos que se aplican para gestionar los conocimientos en las empresas manufactureras productoras de aluminio primario como en el caso de CVG Venalum y CVG Alcasa. Sus dimensiones: 1) creación del conocimiento, 2) identificación y adquisición del conocimiento, 3) clasificación y almacenamiento, 4) aplicación y actualización, 5) transferencia, y 6) medición del conocimiento. Soportado por cuatro pilares corresponde a la plataforma interna, integrada por: cultura y liderazgo, memoria corporativa, TIC, comunidades de prácticas y patentes, pueden explicar la situación actual de la empresa de manufactura de cualquier tamaño, que tengan explícitamente o no, implantado un modelo de GC.

En la evaluación de la arquitectura de la GC con el análisis descriptivo, se concluye que la cultura de las empresas del sector aluminio primario en Venezuela está determinada por una serie de valores organizacionales, como lo son: a) clima laboral adecuado, donde existe un reducido nivel de jerarquización, b) participación e integración de los trabajadores, c) adecuado nivel de motivación y satisfacción, d) cierto descontento con la formación, y e) algunas limitaciones en el manejo de las TIC.

La arquitectura de la GC en la CVG Venalum y CVG Alcasa está asociada a 10 factores, los cuales se pueden constituir en 10 dimensiones para explicar la variable. El primero, la adquisición del conocimiento, donde los indicadores que deben emplearse son: formación recibida, capacidad del trabajador, importancia de la formación y cultura de desarrollo del conocimiento. En el segundo, refiere a una dimensión de clasificación, almacenamiento y protección, donde se integran la información que se encuentra en las bases de datos. El tercero, la creación de conocimiento, integrado por los indicadores: habilidad, experiencia, compromiso y sociabilidad del trabajador. El cuarto factor está representado por un único indicador referente a la remuneración. En el quinto, la variable retenida liderazgo. El sexto la variable apoyo de las tecnologías de información para realizar el trabajo, creó la dimensión TIC. El séptimo factor integrado por dos variables, eficiencia y calificación global, se identificó como eficiencia de la empresa. En el octavo, la percepción sobre la formación, se relacionó con la variable satisfacción con la formación. El noveno, la motivación en el trabajo. Por último, el décimo factor, participación en las decisiones, conformado por el indicador: posibilidad de emitir sugerencias.

En cuanto a la evaluación de las estrategias de la arquitectura de la GC se encontró que la calificación global obtenida fue de 6,7 puntos con base a 10 puntos, lo que se traduce en que no se están cumpliendo con las metas propuestas de rentabilidad, comprometidos por los indicadores de conocimiento: adquisición de conocimientos y apoyo de TIC. En los procesos básicos de la empresa manufacturera, el indicador con mayor incidencia negativa es la falta de inversión en I+D+i, realizadas por las empresas.

Referencias bibliográficas

- ANDERSEN, A. (1999). *El management del siglo XXI*. Buenos Aires: Ed. Gránica.
- ARBONÍES, Ángel. (2006). *El conocimiento para innovar: cómo evitar la miopía en la gestión del conocimiento*. 2ª. Ed. Madrid: Díaz de Santos.
- BARRAGÁN, A. (2009). Aproximación a una taxonomía de modelos de gestión del conocimiento. En: *Intangible capital*. V5N1: p 65-101. (Consultado: 27 de marzo de 2009). Disponible en: www.intangiblecapital.org/index.php/ic.
- CARLUCCI, D. y SCHIUMA, G. (2006). *Knowledge asset value spiral: linking knowledge assets to company's performance*. Knowledge and Process Management, 13(1), 35.
- DAVENPORT, T.H. y PRUSAK, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston: Harvard Business School Press.
- DE PABLOS, P. (2002). Knowledge management and organizational learning: typologies of knowledge strategies in the spanish manufacturing industry from 1995 to 1999. En: *Journal of knowledge management*, 6(1), 52.
- GRIMALDI, M.; RIPPA, P. y RUFFOLO, M. (2008). A methodology to evaluate the organizational impact of It on knowledge management: an italian case study. En: *Journal of information technology. Case and application research*, 10(2), 8.
- KAPLAN, R. y NORTON, D. (1996) *Cuadro de mando integra. (the balanced scorecard)*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.

- LAESVIRTA, O. y RIBIÉRE, V. (2008). “KM in a fast-growing global IT company: a case study”. *VINE*, 38(2), 254.
- LIU, P y TSAI, C. (2007). Effect of knowledge management systems on operating performance: An empirical study of hi-tech companies using the balanced scorecard approach. En: *International journal of management*, 24(4), 734.
- LÓPEZ, E. y PÉREZ, A. (2003). *La gestión del conocimiento en la nueva economía*. Edición: FUOC. Consulta: 13 de abril de 2008. Disponible en: <http://www.uoc.edu/dt/20133/index.html>.
- MADSEN, E.; RIIS, J. y WAEHRENS, B. (2008). The knowledge dimension of manufacturing transfers. En: *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 1(3), 198.
- MARÍN, J. y ZÁRATE, M^a. (2008). Propuesta de un modelo integrador entre la gestión del conocimiento y el trabajo en equipo. En: *Intangible capital*. V4N4: pp. 255-280. Consulta: 27 de marzo de 2009. Disponible en: www.intangiblecapital.org/index.php/ic.
- MORENO, A.; LÓPEZ, C. y SABATER, R. (2007). Knowledge management strategy diagnosis from KM instruments use. En: *Journal of knowledge management*, 11(2), 60.
- MORENO, J. (2002). *La visión de la empresa basada en el conocimiento: análisis de un caso*. Tesis doctoral sin publicación. España: Universidad de Huelva.
- NONAKA, I. y Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company* (primera ed.). New York: The Oxford University Press.
- NORTH, Klaus y PÖSCHL, Alexander. (2003); “Un test de inteligencia para las organizaciones”, *Dirección del conocimiento: Desarrollos teóricos y aplicaciones*, editado por Ricardo Hernández Mogollón. Trujillo, España: Ediciones La Coria. pp. 183-192.
- PÉREZ, D. y DRESSLER, M. (2007). *Tecnología de la información para la gestión del conocimiento*. V15N3: p31-59. Consulta: 27 de marzo de 2009. Disponible en: www.intangiblecapital.org/index.php/ic.
- RIESCO, M. (2006). *El negocio es el conocimiento*. Madrid: Díaz de Santos.

- RIVERO, S. (2006). *La gestión del potencial intelectual, como estrategia competitiva*. Madrid: Human Management Systems.
- SPRAGGON, M. y BODOLICA, V. (2008). "Knowledge creation processes in small innovative hi-tech firms". En: *Management research news*, 31(11), 879.
- TANG, J. (2008). The development of a two-stage knowledge management system for electronic and electrical engineering manufacturers. En: *International journal of management*, 25(3), 452.
- TAT, L. y HASE, S. (2007). Knowledge management in the Malaysian aerospace industry. En: *Journal of knowledge management*. 11(1), 143.
- TIWANA, A. (2002). *The knowledge management toolkit*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Modelos y aplicaciones reales de programación de la producción

Jairo Raúl Montoya Torres

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas,
Universidad de La Sabana
E-mail: jairo.montoya@unisabana.edu.co

Resumen

La programación de la producción es una rama de la investigación de operaciones que ha desarrollado sus propias metodologías y herramientas para la resolución de problemas. Inspirados inicialmente por las aplicaciones encontradas en sistemas de manufactura, hoy en día la programación de producción o de operaciones encuentra aplicaciones prácticas en los sistemas de servicios como son las telecomunicaciones, la distribución de energía, la asignación de personal, la programación de horarios, reservas aéreas o similares, e incluso en sistemas de computación y manejo de información. Además, el desarrollo de los sistemas computacionales (avances en velocidad y técnicas de inteligencia artificial) ha permitido el estudio de sistemas empresariales actuales cada vez más complejos. En este artículo se busca presentar los conceptos básicos de la programación de operaciones, al mismo tiempo que se describen algunas aplicaciones prácticas encontradas en las empresas. El objetivo del trabajo no es ser exhaustivo, pero sí pretende dar una idea al lector de algunas aplicaciones reales de dichos modelos.

Palabras clave: programación de operaciones, modelos, heurísticos, metaheurísticos, aplicaciones.

Introducción

El contexto económico competitivo hace que las empresas de manufactura, pero también las de servicio, se vean confrontadas ante la implementación constante de procedimientos formales que les permitan optimizar sus procesos. La logística de producción juega así un papel muy importante en cuanto al uso eficiente de los recursos. Esta eficiencia es comúnmente medida en términos monetarios a nivel estratégico, pero también en términos de indicadores globales de desempeño, a nivel táctico, o incluso en niveles de utilización de los recursos, a nivel operativo (Montoya Torres, 2010a). Este artículo se focaliza en este último nivel de toma de decisiones, y en particular, en los procesos de programación de actividades de producción (u operaciones, en términos generales). La programación de operaciones (*scheduling*, en inglés) consiste en la asignación óptima, o quasi-óptima, de recursos para la realización de un conjunto de actividades (Pinedo 2008; Montoya Torres, 2010a). Fruto de las aplicaciones iniciales en problemas de manufactura, los recursos son comúnmente llamados “máquinas” y las actividades se llaman “tarefas”, “trabajos” u “órdenes de producción”. Los modelos y procedimientos desarrollados para la programación de operaciones se han visto beneficiados por el auge y desarrollo de los computadores.

En la literatura se han publicado muchos trabajos relacionados con el tema, tanto artículos científicos como libros de texto. El único libro publicado en español es el libro de Montoya Torres (2010a)³, mientras que los libros de texto disponibles en inglés varían su nivel de profundidad desde lo básico hasta el nivel avanzado. Los primeros libros de texto en inglés fueron publicados en la década del sesenta. Algunas de las referencias clásicas son los libros de Muth y Thompson (1963); Conway *et al.* (1967); Baker (1974); French (1982), Blazewicz *et al.* (1993), Brucker (1998), Pinedo (1999, 2006, 2008), tratando los conceptos fundamentales para el estudio de varios elementos básicos en contexto determinístico o estocástico. En otras áreas de programación de operaciones se encuentran los libros de Nanda y Browne (1992), que están dedicados principalmente a la programación de personal; y el libro editado por Węglarz (1999) focalizado en programación de proyectos. Mucho más recientemente, el trabajo de Montoya-Torres *et al.* (2011a) presenta diferentes aplicaciones de algoritmos híbridos para la resolución de problemas complejos de programación de operaciones (producción, ruteo, análisis de sistemas) comúnmente encontrados en

3. Este es un libro de texto en formato electrónico publicado por Mc Graw Hill. El lector interesado en adquirirlo puede acceder a través de la página web del autor <http://jrmontoya.wordpress.com> (link “Publications”) o directamente en <http://www.lulu.com/product/ebook/modelos-y-n%C3%A9todos-de-programaci%C3%B3n-de-operaciones/11062072>

manufactura, servicio y en sistemas computacionales. Adicionalmente a estos libros, también han sido publicados un gran número de artículos de revisión. En la comunidad científica existen varias revistas académicas y conferencias relacionadas con las diferentes dimensiones de la programación de tareas. En el *Journal of Scheduling*⁴ se publican exclusivamente artículos sobre el área. Algunos artículos importantes sobre revisión de la literatura científica en el tema ha sido escritos por Gupta (1971), González (1977), Graham *et al.* (1979), Lawler (1982), Lawler *et al.* (1982), Blazewicz *et al.* (1983), Lenstra y Rinnooy Kan (1985), Lawler *et al.* (1993), Chen *et al.* (1998), Allahverdi *et al.* (1999), y Jain y Meeran (1999).

En este artículo se presenta una revisión sencilla de modelos básicos de programación de la producción y sus aplicaciones reales a sistemas empresariales. Para lograrlo, se han organizado los temas de la siguiente forma: se exponen los conceptos fundamentales de la programación de operaciones en las empresas. Luego se analizan algunas aplicaciones de los modelos tanto de una máquina simple como de recursos paralelos. Se presentan algunas configuraciones complejas basadas en los modelos de talles en serie híbridos. Posteriormente se hace alusión a algunas formulaciones del problema de programación de proyectos con limitaciones de recursos. Finalmente se presentan algunas conclusiones.

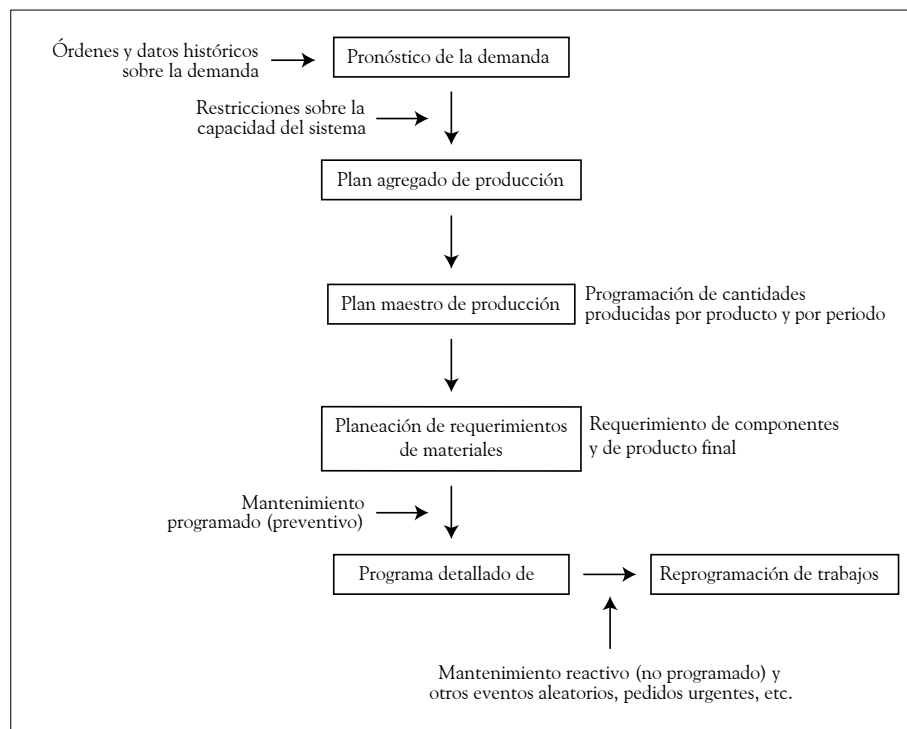
La programación de operaciones en las empresas

La programación detallada de los diversos elementos de la función productiva es básica para ejercer el control y monitoreo de todo sistema productivo. La descripción que se presentará a continuación tiene particular aplicación para una empresa de manufactura. Una descripción similar podría hacerse para el caso de empresas dedicadas exclusivamente a los servicios. La función de producción puede considerarse como un proceso jerárquico de toma de decisiones, como se muestra en la Figura 1.

En primer lugar se deben realizar los pronósticos de la demanda de ventas agregadas durante cierto horizonte de tiempo. Esos pronósticos constituyen los datos de entrada para determinar el plan agregado de producción, incluyendo los requerimientos en fuerza de trabajo. Este plan se traduce posteriormente en el plan maestro de producción, en el cual se programan las cantidades a producir por producto y por periodo.

4. <http://www.springer.com/business+%26+management/operations+research/journal/10951>

Figura 1
Esquema de jerarquía de decisiones para la programación de tareas



Esta planeación es en sí misma un método para cumplir metas específicas de producción de artículos terminados para inventario. Como resultado se obtiene la emisión programada de requisiciones para los productos finales, los subensambles y los componentes.

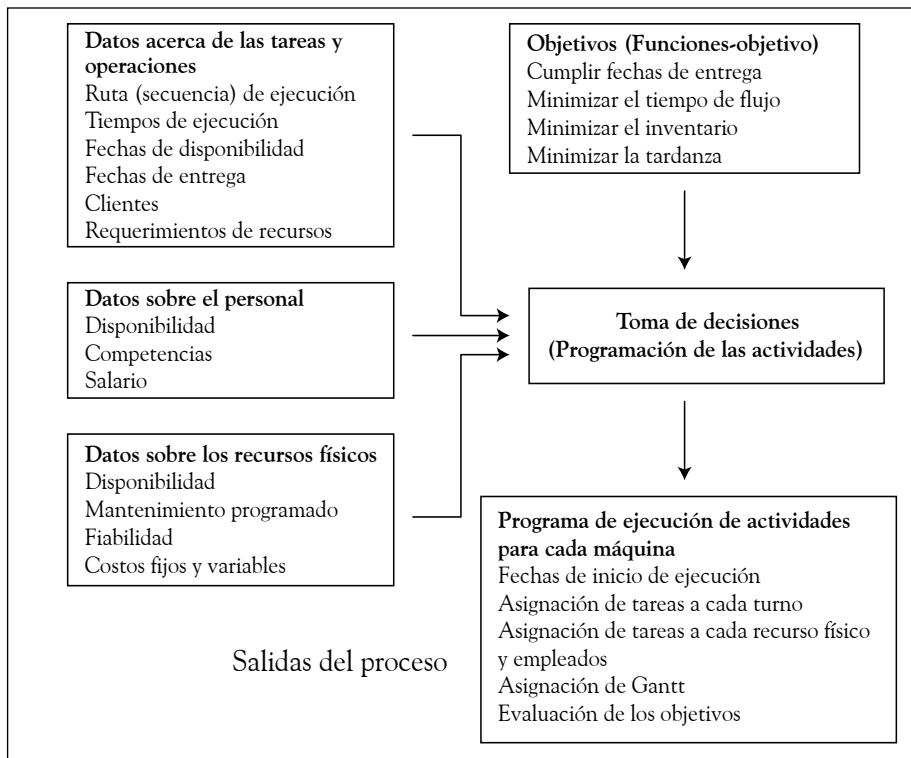
Por último, estas requisiciones deben traducirse en un conjunto de tareas con sus fechas de entrega asociadas, lo cual corresponde al nivel detallado de programación de trabajos. Así, a nivel del piso de fabricación, el control de la producción implica programar el personal y el equipo en cada uno de los centros de trabajo con el fin de cumplir los plazos de entrega.

En la práctica, no es posible establecer anticipadamente un programa perfecto que sea respetado completamente a lo largo de todo el horizonte de la producción. La naturaleza estocástica de los sistemas productivos hace que se presenten situaciones aleatorias, muy difíciles de predecir, las cuales provocan la reprogramación de algunas o todas las tareas aún no ejecutadas. En algunos ambientes

de fabricación, la llegada “a última hora” de pedidos urgentes, también perturba el programa de trabajo y hace que deban reprogramarse algunas actividades.

El requerimiento clave de cualquier sistema para programación de operaciones consiste en que este debe convertirse en una herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones principalmente centrada en las actividades de corto plazo. El sistema debe ser utilizado en contexto dinámico, de tal forma que apoye en tiempo real el proceso decisional, requiriendo de un vínculo directo con la base de datos empresarial. El sistema debe ser de fácil uso para quienes se encuentren directamente relacionados con él, y debe generar programas de trabajo factibles tomando en cuenta la o las funciones objetivo que la gerencia considere pertinentes, las cuales pueden estar directamente relacionadas con el servicio al cliente, el control del nivel de inventarios o de los tiempos de ejecución dentro del sistema, entre otras. La Figura 2 presenta un esquema de un sistema de programación de operaciones.

Figura 2
Esquematzación de un sistema de programación de operaciones



Herramientas para la resolución: algoritmos de programación

Establecer un programa para la ejecución de un conjunto de trabajos respetando las restricciones de uso de los recursos consiste en implementar un algoritmo de programación. Un algoritmo es una “receta” para obtener una solución de un modelo, sea este un método exacto o un método heurístico. Un caso o instancia es un conjunto de datos específico para el modelo, los cuales son aplicados al algoritmo para calcular la solución. Los métodos exactos proporcionan una solución óptima para todas las instancias del problema, mientras que los algoritmos heurísticos proporcionan soluciones que se espera sean óptimas o cercanas a la óptima para cualquier instancia. Como la mayoría de los problemas de programación de operaciones son de tipo NP-completo, los métodos exactos no son eficientes (es decir, el tiempo de cálculo para obtener la solución es bastante elevado) cuando son aplicados a instancias de gran tamaño (las cuales son muy comunes en problemas de la vida real). Los algoritmos heurísticos se juzgan por la calidad de su solución y la eficiencia para obtenerla. La calidad hace referencia a la diferencia entre la solución dada y la solución óptima, mientras que la eficiencia hace referencia al esfuerzo computacional (tiempo de cálculo) necesario para obtener la solución. Ambas pueden expresarse de forma teórica o empírica, a través de una cota para el peor de los casos. Todos los algoritmos heurísticos que se presentarán en este artículo han tenido un buen desempeño en las pruebas experimentales o se ha demostrado matemáticamente la calidad de su solución. Estas pruebas, empíricas o teóricas, están publicadas en la literatura.

Modelos para sistemas con un solo recurso

Modelos básicos

En los talleres de fabricación es muy común que el ritmo de producción esté dado por una sola máquina (la más lenta del sistema). Esta máquina se le conoce como máquina crítica o máquina cuello de botella. Es por esto que es importante analizar permanentemente el comportamiento de la máquina programando las tareas (órdenes de producción) a ejecutar allí de la mejor manera posible. El problema consiste en proponer un modelo de optimización que permita establecer la secuencia de ejecución de un conjunto de tareas en la máquina de tal forma que se optimice algún indicador de desempeño. Formalmente, se tiene un conjunto de n tareas u órdenes de producción que deben ser ejecutadas en la máquina. No se acepta la interrupción del procesamiento de una tarea una vez esta ha sido iniciada. Cada tarea j no puede comenzar a ser procesada antes de una fecha de disponibilidad r_j . El tiempo de procesamiento de cada tarea

es conocido y denotado por p_j . Para maximizar la productividad de la máquina (es decir, terminar lo más pronto posible todas las tareas) es necesario aplicar cualquier algoritmo que mantenga la máquina ocupada siempre que exista alguna tarea lista para ser ejecutada. Si el objetivo es minimizar el tiempo promedio de flujo de procesamiento de las tareas (o tiempo promedio de permanencia de las órdenes de fabricación en el sistema), el problema de optimización es denotado como $1|r_j|\sum C_j$, donde C_j es el instante de terminación del trabajo j . Este problema es conocido por ser NP-completo. La solución óptima puede obtenerse resolviendo un modelo de programación lineal, empleando variables binarias indexadas en el tiempo o indexadas en la posición de la tarea en la secuencia (Lasserre y Queyranne, 1992; Sevaux, 1998; Guéret *et al.*, 2000).

Consideraciones de tiempos de preparación de las máquinas

En muchas industrias, la decisión de fabricar varios productos en recursos comunes impone la necesidad de tiempos de preparación de las máquinas, los cuales inducen costosas interrupciones en el proceso de producción, imponiendo la reducción de los tiempos muertos de las máquinas, debido a la preparación de los recursos. Los tiempos de preparación pueden ser independientes o dependientes de la secuencia de procesamiento. Si este solo depende de la tarea a ser procesada, independientemente de la tarea procesada justo antes, se dice que es independiente de la secuencia (Allahverdi y Soroush, 2008). El problema más estudiado en la literatura, por su alta complejidad para la resolución es el problema con tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Este tipo de problema está presente en muchos sistemas de producción de bienes y servicios y sistemas computacionales (Allahverdi y Soroush, 2008): la ejecución de programas en computadores, imprentas, tratamientos químicos, industria textil, fabricación de plásticos, industrias metalmecánica, farmacéutica, alimenticia, papelería, etc.

El problema denotado como $1|s_{jk}|C_{max}$ donde se busca la maximización de la productividad del sistema, es equivalente al problema del agente viajero (TSP, *traveling salesman problem*), el cual es conocido como NP-completo (Pinedo, 2008). La extensión más cercana a la realidad en la cual las órdenes de producción llegan en diferentes momentos (problema denotado como $1|r_j, s_{jk}|C_{max}$) también es NP-completo. La solución óptima de los problemas de programación de la producción en consideración de tiempos de preparación de la máquina, puede obtenerse empleando procedimientos de programación lineal (Gilmore y Gomory, 1964; Presby y Wolfson, 1967; Bianco *et al.*, 1988). Varios procedimientos heurísticos también han sido presentados en la literatura, siendo a la

fecha el más eficiente el método basado en generación aleatoria de secuencias propuesto por Montoya Torres (2010b) y Montoya Torres *et al.* (2010).

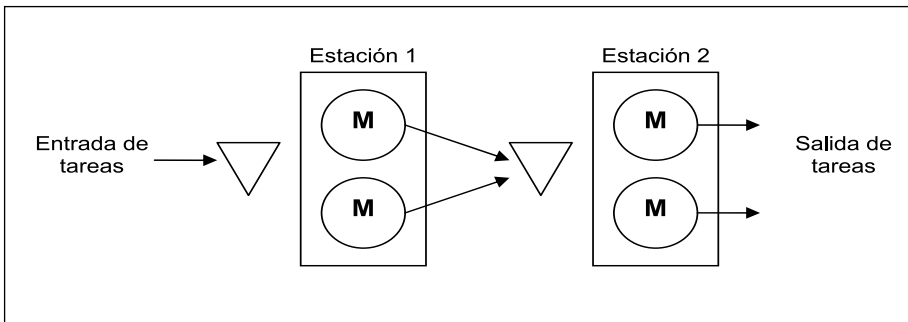
Configuraciones de talleres en serie híbridos

Cerca de un cuarto de los sistemas de manufactura, ensamble, servicio o procesamiento de información de hoy en día pueden ser modelados siguiendo la configuración de tipo *flowshop* o taller en serie (Pinedo, 2008). Formalmente, se tiene un conjunto de m máquinas o recursos. Cada tarea j está compuesta de m operaciones O_{ij} ($i=1, \dots, m$), donde la operación O_{ij} debe ser procesada en la máquina i . La característica principal del *flowshop* consiste en que la ruta de procesamiento que deben seguir las tareas es idéntica para todas: primero la máquina 1, después la máquina 2, luego la máquina 3, y así sucesivamente hasta la máquina m . Puesto que las máquinas están ubicadas en serie, una pregunta para el problema de decisión podría ser si es mejor determinar un único orden para el procesamiento de los trabajos a través de todas las máquinas o si por el contrario se obtiene un mejor valor de la función objetivo cuando el orden de procesamiento cambia de una máquina a otra. El primer caso se conoce como problema de *flowshop* de permutación. Para el caso de dos o tres máquinas y minimización del *makespan* o lapso de producción, el programa de permutación siempre proporciona la solución óptima. Cuando se tienen más de tres máquinas es posible que para ciertas instancias sea necesario realizar cambios en la secuencia de ejecución de las tareas entre la segunda y la tercera máquina. Encontrar un programa de permutación es menos difícil que encontrar un programa en el cual la secuencia cambie entre una máquina y otra. El problema general del *flowshop* con minimización del *makespan* o lapso de producción (C_{max}) puede ser modelado como un programa lineal. El orden de ejecución de los trabajos en las máquinas puede definirse con una variable binaria $x_{jk}=1$ si la tarea j es ejecutada en la posición k del programa, 0 si no. Una solución para el problema de *flowshop* consiste en encontrar la secuencia de ejecución de las tareas en cada una de las máquinas. Las configuraciones más complejas actuales son variantes del problema clásico. Estas características pueden incluir restricciones de tipo bloqueo de máquinas (*blocking*), procesamiento inmediato de las tareas (*no-wait*), uso de robots, entre otras. Aplicaciones comunes se encuentran en industrias químicas, electrónicas, metalmecánica, o en líneas de fabricación de automóviles (Bagchi *et al.*, 2006). Estas configuraciones generalmente pueden resolverse empleando las técnicas de resolución del problema del agente viajero (TSP).

Una generalización del problema de *flowshop* consiste en el taller en serie híbrido o flexible. La realización de un trabajo consiste en la ejecución de m operaciones

en serie y cada operación es realizada en una estación en la cual se tienen varios recursos (idénticos o no) en paralelo. Una vez terminada la operación en una de las máquinas de la estación, el trabajo pasa a la siguiente estación (Ver Figura 3). Esta configuración usualmente se encuentra en sistemas de manufactura como la fabricación de dispositivos electrónicos, las líneas de empaque y en algunos sistemas de manufactura bajo pedido. Este problema es de tipo NP-completo (Gupta, 1988), incluso cuando solo se tienen dos estaciones. En la literatura se han propuesto varios procedimientos de solución exactos (eficientes para instancias pequeñas) o metaheurísticos. Uno de los heurísticos más eficientes es el procedimiento basado en la identificación y explotación de la estación “cuello de botella” (Paternina-Arboleda *et al.*, 2008). Entre los metaheurísticos, destacan los algoritmos genéticos, recocido simulado, búsqueda tabú, y otros (Talbi, 2009; Onwubolu y Mutingi, 1999; Huang y Yao, 2008).

Figura 3
Representación de un *flowshop flexible* (o híbrido) con dos estaciones



Configuración de planta con distribución de posición fija: programación de proyectos

Esta es una distribución en planta en la cual el material y los componentes principales permanecen en un lugar fijo y todas las herramientas, recurso humano y resto de material se lleva hacia él. Es usada para la fabricación de grandes productos como barcos, aviones, edificios, etc., debido a que el tamaño del producto hace ineficiente moverlo entre operaciones en el proceso (Palominos, 2006; Francis y White, 1974). Desde el punto de vista del modelamiento, la programación de operaciones en los sistemas de manufactura con distribución física de productos pueden ser vistos como un problema de programación de proyecto con recursos restringidos (RCPSP, resource-constrained project scheduling problem). Comparado con el problema de planeación de proyectos sin

limitaciones de recursos, el cual puede resolverse empleado el método clásico PERT (project evaluation and review technique) o el método de la ruta crítica CPM (critical path method), según los requerimientos del tomador de decisiones (Evart, 1964; Wasil, 1988; Montoya Torres, 2010a), la configuración del RCPSP consiste en un problema mucho más complejo que requiere de técnicas avanzadas en la investigación de operaciones.

Formalmente, el RCPSP se describe de la siguiente forma. Un proyecto consiste en un conjunto de n actividades numeradas de 1 hasta n , donde cada actividad j debe ser procesada sin interrupción para terminar la ejecución del proyecto. Dos actividades ficticias adicionales son necesarias: $j=0$ y $j=n+1$, representando respectivamente el inicio y fin del proyecto (fuente y destino de la red). La duración de una actividad es representada por p_j , donde $p_0 = p_{n+1} = 0$. Se tienen K tipos de recursos renovables y la disponibilidad de cada tipo de recurso k en cada instante de tiempo es R_k unidades, con $k = 1, \dots, K$. Cada actividad j requiere r_{jk} unidades del recurso k , donde $r_{0k} = r_{n+1,k} = 0$. Existen relaciones de precedencia entre las actividades: si la actividad i precede a la actividad j , entonces j no puede empezar hasta haber terminado la realización de i . Esta estructura del proyecto puede representarse con un grafo $G = (V, A)$ con actividades en los arcos, donde V es el conjunto de actividades a realizar en el proyecto y A es el conjunto de relaciones de precedencia. Se definen S_j y P_j , respectivamente, como el conjunto de sucesores y predecesores de la actividad j . El objetivo en el problema clásico mono-proyecto es encontrar un programa p de ejecución de las actividades, respetando las restricciones de precedencia entre actividades, de forma que se minimice la duración total del proyecto. El problema es clasificado como NP-completo (Blazewicz *et al.*, 1983). El lector interesado en estados del arte puede consultar los trabajos de Icmeli *et al.* (1993), Herroelen *et al.* (1998), Brucker *et al.* (1999), Kolisch y Padman (2001).

Desde el punto de vista empresarial, sin embargo, el problema RCPSP clásico no tiene muchas aplicaciones en contextos realistas. El modelo de programación de proyectos con la incorporación de interrupciones en las tareas y el tratamiento de múltiples proyectos de forma simultánea se acerca mucho más a los contextos reales de las empresas (y en particular a las condiciones de trabajo de los ingenieros de proyectos encontradas en las empresas). Los pocos trabajos encontrados en la literatura científica asumen de forma injustificada que la interrupción de las tareas de un proyecto no puede aportar a la disminución del tiempo total de realización del mismo. El único trabajo en la literatura que considera de forma simultánea tanto de múltiples proyectos como interrupción de las tareas fue propuesto por Montoya Torres *et al.* (2011b). Este procedimiento está basado

en el diseño de una regla de despacho con estrategias de mejoramiento de la solución (búsqueda local).

Conclusiones

Inspirados inicialmente por las aplicaciones encontradas en sistemas de manufactura, hoy en día la programación de producción o programación de operaciones encuentra aplicaciones prácticas en diversos sistemas producción de servicios (telecomunicaciones, distribución energética, asignación de personal, programación de horarios, reservas aéreas o similares, sistemas de computación, manejo de información, etc.). Con el auge en el desarrollo de los sistemas computacionales, y en particular, con los avances en el desempeño de herramientas de optimización computacional, ha sido posible aumentar el tamaño de problemas que son resueltos de forma óptima (o pseudo-óptima) en los sistemas empresariales actuales cada vez más complejos.

Referencias bibliográficas

- ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J.N.D. y ALDOWAISAN, T. (1999). A review of scheduling research involving setup considerations. En: Omega, 27, 219-239.
- ALLAHVERDI, A. y SOROUSH, H.M. (2008) The significance of reducing setup times/setup costs. En: European journal of operational research, 187, 978-984.
- BAGCHI, T.; GUPTA, J.N.D. y SRISKANDARAJAH, C. (2006) A review of TSP based approaches for flowshop scheduling. En: European journal of operational research, 169, 816-854.
- BAKER, K.R. (1974) Introduction to sequencing and scheduling. New York: Wiley.
- BIANCO, L. *et al.* (1988). Scheduling tasks with sequence-dependent processing times. En: Naval research logistics, 35, 177-184.
- BLAZEWICZ, J.; LENSTRA, J.K. y RINNOOY KAN, A.H.G. (1983) Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity. En: Discrete applied mathematics, 5, 11-24.

- BLAZEWICZ, J. *et al.* (1993) Scheduling in computer and manufacturing systems. Berlin: Springer-Verlag.
- BRUCKER, P. (1998) Scheduling algorithms. Berlin, Germany: Springer.
- BRUCKER, P. *et al.* (1999) Resource-constrained project scheduling: notation, classification, models, and methods. En: European journal of operational research, 112, 3-41.
- CHEN, B.; POTTS, C.N. y WOEGINGER, G.J. (1998) A review of machine scheduling: complexity, algorithms and applications. En: D.-Z. Du; PM. Pardalos (eds.), Handbook of combinatorial optimization. Dordrecht, Netherlands: Kluwer. pp. 21-169.
- CONWAY, R.W.; MAXWELL, W.L. y MILLER, L.W. (1967) Theory of Scheduling. Addison-Wiley.
- EVART, H.F. (1964) Introduction to PERT. Allyn & Bacon.
- FRANCIS, R. y WHITE, J. (1974) Facility layout and location. New Jersey, USA: Prentice Hall Inc.
- FRENCH, S. (1982) Sequencing and scheduling. New York: Wiley.
- GILMORE, P.C. y GOMORY, R.E. (1964). Sequencing a one-state variable machine: a solvable case of the traveling salesman problema. En: Operations research, 12, 655-679.
- GONZÁLEZ JR., M.J. (1977). Deterministic processor scheduling. En: Computing surveys, 9, 173-204.
- GRAHAM, R.L. *et al.* (1979) Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey. En: Annals of discrete mathematics, 5, 287-326.
- GUERÉT, C.; PRINS, C. y SEVAUX, M. (2000) Programmation linéaire. Eyrolles.
- GUPTA, J.N.D. (1971). M-stage scheduling problem—a critical appraisal. En: International journal of production research, 9, 39-47.
- _____. (1988). Two stage hybrid flow shop scheduling problema. En: Journal of the operations research society, 38, 359-364.

- HERROELEN, W.; DE REYCK, B. y DEMEULEMEESTE, E. (1998). Resource-constrained project scheduling: a survey of recent developments. En: *Computers & operations research*, 25, 279–302.
- HUANG, J.Y. y YAO, M.J. (2008). A genetic algorithm for solving the economic lot scheduling problem in flow shops. En: *International journal of production research*, 46, 3737-3761.
- ICMELI, O.; ERENGUC, S.S. y ZAPPE, C.J. (1993). Project scheduling problems: a survey. En: *International journal of operations & production management*, 13, 80–91.
- JAIN, A.S. y MEERAN, S. (1999). Deterministic job-shop scheduling: past, present, and future. En: *European journal of operations research*, 113, 309-434.
- KOLISCH, R. y PADMAN, R. (2001). An integrated survey of deterministic project scheduling. En: *Omega*, 29, 249–272.
- LAWLER, E.L. (1982). Recent results in the theory of machine scheduling. En: A. Bachem; M. Grötschel; B. Korte (eds.), *Mathematical programming: the state of the art*. Berlin: Springer. pp. 202-234.
- LAWLER, E.L.; LENSTRA, J.K. y RINNOOY KAN, A.H.G. (1982). Recent developments in deterministic sequencing and scheduling: a survey. En: M.A.H. Dempster; J.K. Lenstra; A.H.G. Rinnooy Kan (eds.). *Deterministic and stochastic scheduling*. Dordrecht, pp. 35-73.
- LAWLER, E.L. *et al.* (1993). Sequencing and scheduling: algorithms and complexity. En: *Handbooks in operations research and management science*, 4, 445-552.
- LASSERRE, J.B. y QUEYRANNE, M. (1992). Generic scheduling poliedra and a new mixed-integer formulation of single machine scheduling. En: *Proceedings of the second conference on integer programming and combinatorial optimization*.
- LENSTRA, J.K. y RINNOOY KAN, A.H.G. (1985). Sequencing and scheduling. En: M. O'hEigartaigh, J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan (eds.). *En: Combinatorial optimization: annotated bibliographies*. Chichester: Wiley. pp. 164-189.

- MONTOYA-TORRES, J.R. (2010a). Modelos y métodos de programación de operaciones. Mc Graw Hill - Lulu e-book. ISBN: 978-958-44-6796-6.
- _____. (2010b). A Monte-Carlo simulation-based approach for single-machine job scheduling with release dates and sequence-dependent setup times. En: Technologies in logistics and manufacturing for small and medium enterprises. G. Mejía (ed.). CD-ROM Chapter 8, July 21, 2010 (ISBN: 978-958-44-7045-4). Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- MONTOYA-TORRES, J.R.; SOTO-FERRARI, M. y GONZÁLEZ-SOLANO, F. (2010). Production scheduling with sequence-dependent setups and job release dates. DYNA, 77 (163), 260-269.
- MONTOYA-TORRES, J.R. *et al.* (eds.) (2011a). Hybrid algorithms for service, computing and manufacturing systems: routing, scheduling and availability solutions. IGI Global, Hershey, USA. To be published in 2011.
- MONTOYA-TORRES, J.R.; SALAZAR-GARCÍA, C. y ALFONSO-LIZARAZO, E. (2011b). Preemption in resource-constrained multiple project scheduling problems: a strategy that works. En: Advanced decision models in operations management, J.R. Montoya-Torres (Ed.). To appear.
- MUTH, J.F. y THOMPSON, G.L. (eds.) (1963). Industrial scheduling. Wiley.
- NANDA, R. y BROWNE, J. (1992). Introduction to employee scheduling. Van Nostrand Reinhold.
- ONWUBOLU, G.C. y MUTINGI, M. (1999). Genetic algorithm for minimizing tardiness in flow-shop scheduling. Production Planning & Control, 10, 462-471.
- PALOMINOS, P. (2006). Distribución física de planta. Notas de clase, Universidad de Santiago de Chile.
- PATERNINA-ARBOLEDA, C.D. *et al.* (2008). Scheduling jobs in a k-stage flexible flowshop. En: Annals of operations research, 164, 29-40.
- PINEDO, M. (1999). Operations scheduling with applications in manufacturing and services. McGraw Hill.
- _____. (2006). Planning and scheduling in manufacturing and services. Springer.

- _____. (2008). Scheduling: theory, algorithms, and systems. 3rd Edition. Springer
- PRESBY, J.T. y WOLFSON, M.L. (1967). An algorithm for solving job sequencing problems. En: Management science, 13, B454-B464.
- SEVAUX, M. (1998). Étude de deux problèmes d'optimisation en planification et ordonnancement. Thèse de doctorat. París, France: Université Pierre et Marie Curie.
- TALBI, E.G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. John Wiley and Sons.
- WASIL, E.A. y ASSAD, A.A. (1988). Project management on the PC: software, applications and trends. En: Interfaces, 18(2), 75-84.
- WEGLARZ, J. (ed.). (1999). Project scheduling: recent models, algorithms and applications. Kluwer Academic Publishers.

Hacia la optimización integral del problema de carga de contenedores

Rafael García

Escuela Colombiana de Ingeniería

Carlos Vega - Juan Caballero

Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá

Introducción

El problema de carga de contenedores (*container loading problem*, CLP) es un problema NP-Hard y consiste básicamente en ubicar un grupo de cajas rectangulares dentro de un contenedor rectangular con dimensiones conocidas, que busca maximizar la utilización de su volumen (Pisinger, 2002), teniendo en cuenta las restricciones básicas enunciadas por Wäscher, *et al.* (2007): (i) todas las cajas deben quedar ubicadas totalmente dentro del contenedor, y (ii) las cajas no se pueden traslapar entre sí. Sin embargo, la solución de problemas reales acarrea mayor complejidad y el problema puede incluso llegar a ser mal concebido si solo se considera estos dos tipos de restricciones (Bischoff y Ratcliff, 1995; Bortfeldt y Gehring, 2001; Eley, 2002).

En este sentido, Bischoff y Ratcliff (1995) enunciaron un conjunto de restricciones prácticas aplicables a situaciones reales: orientación de la mercancía, soporte de la carga, manejo de materiales, estabilidad de la carga, agrupamiento, múltiples destinos, separación de ítems, envíos completos, prioridad de envío, complejidad de patrones de carga, límite de capacidad de carga, y distribución de peso de la mercancía dentro del contenedor. Algunos de estos criterios no

son fácilmente cuantificables por ser de naturaleza cualitativa; al respecto, las aproximaciones tradicionales utilizadas en optimización que cardinalizan los aspectos cualitativos pueden generar pérdida de información importante del criterio, por lo que se recomienda tratar estos de una manera más natural, como lo es a través de aproximaciones ordinales (García, *et al.*, 2009).

El CLP está naturalmente embebido dentro del contexto de optimización integral que contempla la inclusión de criterios cuantitativos y cualitativos en un problema de optimización. La versión CLP propuesta en este trabajo considera además de los criterios cuantitativos fundamentales enunciados por Wäscher, *et al.* (2007), dos criterios considerados relevantes de ser incluidos por Bischoff y Ratcliff (1995): i) no sobrepasar el límite de peso que puede transportar el contenedor; ii) y que una vez cargado el contenedor, su centro de gravedad esté cerca del centro geométrico de su base (distribución de peso).

Por su parte, el criterio cualitativo tenido en cuenta es la fragilidad de la mercancía dentro de cada caja. Finalmente la consideración estocástica se relaciona con la deformidad que puede experimentar la caja, por la carga que puede llegar a soportar, sus características estructurales u otras razones.

Se usa el *integral analysis method* (IAM) (García, *et al.*, 2009) para optimizar el CLP. IAM se adapta bien a problemas de optimización estocástica permitiendo el desarrollo de modelamientos más naturales y complejos, más cercanos al contexto real de un problema.

Este documento está organizado de la siguiente manera: se presenta el análisis de los antecedentes. Luego se desarrolla IAM, en el cual se explica la fase cuantitativa donde se desarrolla el modelo matemático y el método heurístico de solución, además se presentan los resultados computacionales. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Antecedentes

El CLP ha sido estudiado desde los primeros años de la década de los sesenta (Pisinger, 2002). La revisión aquí desarrollada y detallada en la Tabla 1 permitió identificar que los métodos heurísticos y metaheurísticos son las aproximaciones más comunes para solucionar versiones del problema. También se encontraron soluciones, aunque en menor proporción, obtenidas con modelos de programación entera mixta (MIP), programación no lineal (NLP) y algoritmos de aproximación (AA).

Tabla 1
Métodos de solución CLP

Auto	Container filling strategy					Método Exacto		AA		Heurísticas y metaheurísticas						
	Wall Building	Block Building	Column Building	Multi-Faced Building	Caving Degree	NLP	MIP	Next Fit	First Fit	Local Search	Greedy	Algoritmo Evo-lutivo	Algoritmos Ge-néticos	Tabu Search	Tree Search	Propia del autor
Huang y He (2009b)					•						•					
Huang y He (2009a)					•											•
Chien <i>et al.</i> (2009)	•															•
Soak <i>et al.</i> (2008)										•		•				
Wang <i>et al.</i> (2008)		•														•
Birgin <i>et al.</i> (2005)						•										
Chien y Deng (2004)	•															•
Lewis <i>et al.</i> (2004)													•			
Bortfeldt <i>et al.</i> (2003)		•												•		
Lim <i>et al.</i> (2003)				•												•
Mi-yazawa y Wa-kaba-yashi (2003)								•	•							
Eley (2002)		•									•				•	
Pisinger (2002)	•														•	
Bortfeldt y Geh-ring (2001)	•										•		•			
Teng <i>et al.</i> (2001)																•
Davies y Bischoff (1999)	•	•	•													•
Xue y Lai (1997b)							•									
Xue y Lai (1997a)	•															•
Bischoff y Ratcliff (1995)			•													•
Chen <i>et al.</i> (1995)							•									

La técnica de solución y el conjunto de restricciones contempladas en cada uno de estos estudios se encuentran en las Tablas 1 y 2, respectivamente. En cuanto a las restricciones consideradas, se observa que comúnmente se trabajan las básicas definidas por Wäscher, *et al.* (2007): no sobrepasar el volumen del contenedor y no permitir el traslape de cajas. Se registran pocos estudios relacionados con CLP que incluyan algunas de las restricciones definidas por Bischoff y Ratcliff (1995).

Tabla 2
Restricciones incluidas

Autor	Restricciones								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Huang y He (2009b)	•	•							
Huang y He (2009a)	•	•							
Chien <i>et al.</i> (2009)	•	•			•				
Soak <i>et al.</i> (2008)	•	•							
Wang <i>et al.</i> (2008)	•	•							
Birgin <i>et al.</i> (2005)	•	•							
Chien y Deng (2004)	•	•							
Lewis <i>et al.</i> (2004)	•	•							
Bortfeldt <i>et al.</i> (2003)	•	•			•				
Lim <i>et al.</i> (2003)	•	•							
Miyazawa y Wakabayashi (2003)	•	•							
Eley (2002)	•	•	•						
Pisinger (2002)	•	•							
Bortfeldt y Gehring (2001)	•	•	•	•	•			•	•
Teng <i>et al.</i> (2001)	•	•	•		•				
Davies y Bischoff (1999)	•	•	•						
Xue y Lai (1997b)	•	•						•	
Xue y Lai (1997a)	•	•					•		
Bischoff y Ratcliff (1995)	•	•			•	•			
Chen <i>et al.</i> (1995)	•	•	•	•					

1. Container volume
2. Boxes cannot overlap

3. Weight distribution within a container
4. Orientation constraints
5. Load stability
6. Multi-drop situations
7. Shipment frequencies
8. Container weight limit
9. Stacking of boxes

Los trabajos de Eley (2002), Bortfeldt y Ghering (2001), Davies y Bischoff (1999), Xue y Lai (1997b) y Chen *et al.* (1995) son los que incluyen más consideraciones, aunque ninguno contempla el nivel de complejidad tratado aquí. Estos estudios resuelven el CLP buscando minimizar el espacio desperdiciado en el contenedor. Es necesario mencionar que todos los criterios modelados en las versiones del CLP fueron tratadas de manera cuantitativa, incluso aquellas que podrían o serían naturalmente tratadas de forma cualitativa como soporte de la carga debido a la fragilidad de la mercancía, separación de ítems, prioridad de envíos o el patrón de carga.

Optimización integral del CLP

El análisis cuantitativo plantea un modelo de programación matemática para el CLP y el método heurístico para dar solución al problema. En el análisis cualitativo y de integración se utilizan los desarrollos propuestos en IAM.

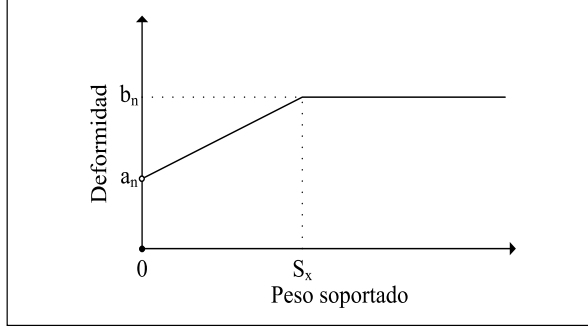
Análisis cuantitativo

El modelo se plantea para carga homogénea (todas las cajas tienen las mismas dimensiones cuando no tienen carga encima) y se incluye la condición estocástica.

Condición estocástica

La altura de cada caja puede verse disminuida por la carga que se ubique encima de ella. Esta deformación podría depender del contenido de la caja y de sus características estructurales. Se asume que la deformidad experimentada por una caja dependerá del peso asociado al número de cajas que soporta y de forma directamente proporcional, es decir, a mayor peso soportado mayor deformidad, así esta habrá alcanzado su máxima deformidad cuando la caja soporta su máximo peso permitido. Adicionalmente se incluye un elemento estocástico que modela la deformidad no explicada por la relación mencionada. El comportamiento determinístico de la deformidad se describe en la Figura 1.

Figura 1
Peso soportado – deformidad



La deformidad se modeló de la siguiente manera:

$$d_{xn} = \begin{cases} 0 & \Leftrightarrow c_x = 0 \vee n = n_{max} \\ a_n + \frac{c_x}{S_x} (b_n - a_n) + \varepsilon_{xn} & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (1)$$

Donde:

- n : nivel donde se encuentra ubicada la caja x , $n \in \{1, 2, \dots, n_{max} = \lceil CH / BH \rceil\}$
- d_{xn} : deformidad experimentada por la caja x en el nivel n , $d_{xn} \geq 0$.
- c_x : peso soportado por la caja x que es igual a $\sum_{j=y+1}^{n_{max}} P_{yj}$, donde P_{yi} es el peso que ejerce la caja y en el nivel i , con $y \neq x$.
- S_x : peso máximo que puede soportar la caja x , con $S_x > 0$.
- a_n : deformidad mínima determinística que se experimenta en el nivel n .
- b_n : deformidad máxima determinística que se experimenta en el nivel n .
- ε_{xn} : parámetro estocástico que explica la deformidad no atribuible a la relación funcional de la caja x cuando se encuentra en el nivel n . El parámetro tiene asociada una función de densidad de probabilidad distinta para cada n , $\varepsilon_{xn} \in \mathbb{R}$ y $\theta_n^{min} \leq \varepsilon_{xn} \leq \theta_n^{max}$.

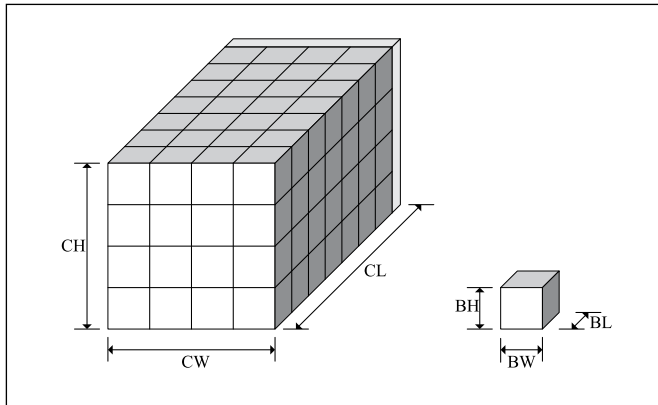
Esta manera de establecer la deformación facilita el modelamiento de instancias en las que una caja pueda deformarse más que otra, así soporten el mismo peso y número de cajas, debido, por ejemplo, a sus características estructurales o las de

la mercancía que almacene en su interior; en síntesis, por razones desconocidas que no pueden ser atribuibles a la razón funcional descrita.

Modelo MIP

Debido a que las cajas tienen las mismas dimensiones, el contenedor puede dividirse en múltiples celdas con las mismas dimensiones de una caja (Ver Figura 2). El modelo no permite la rotación de las cajas, es decir, cada una de las dimensiones de la caja es paralela a su similar del contenedor. Bajo este contexto, un hipotético contenedor puede ser concebido para que contenga perfectamente a las cajas a lo ancho y a largo, porque para efectos prácticos el espacio vacío (zona punteada en la Figura 2) puede ser completado con material de relleno.

Figura 2
División del contenedor

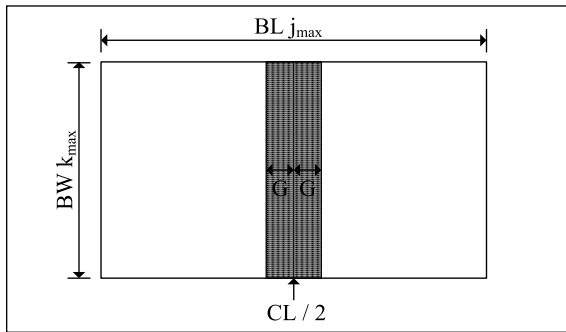


El modelo tiene los siguientes parámetros:

- I : cantidad de cajas a almacenar.
- (CL, CW, CH) : dimensiones del contenedor (largo, ancho, alto).
- (BL, BW, BH) : dimensiones de las cajas (largo, ancho, alto). Se asume que el centro de gravedad de cada caja coincide con su centro geométrico.
- (J, K, L) : número de cajas que pueden caber en el contenedor a lo largo, ancho y alto. Donde $J = \{1, \dots, j_{max} = \lfloor CL / BL \rfloor\}$, $K = \{1, \dots, k_{max} = \lfloor CW / BW \rfloor\}$ y $L = \{1, \dots, l_{max} = \lfloor CH / BH \rfloor\}$.
- P_i : peso de la caja i .

- S_i : máximo peso que puede soportar la caja i , con $S_i > 0$.
- P_c : capacidad máxima de carga del contenedor, medido en unidad de peso.
- G : se requiere que la distancia entre el centro de gravedad de la carga y el centro de gravedad del contenedor se encuentre delimitada por un valor predeterminado (G). Esta distancia solo se tomará sobre el largo del contenedor (Ver Figura 3).

Figura 3
Vista de planta del contenedor



- A_n : mínima deformidad determinística que se experimenta en el n -ésimo nivel del contenedor.
- B_n : máxima deformidad determinística que se experimenta en el n -ésimo nivel del contenedor.
- f_n : función de densidad de probabilidad que determina la deformidad estocástica que experimenta una caja en el n -ésimo nivel del contenedor.
- θ_n^{min} : mínimo valor que puede tomar el parámetro estocástico de deformidad de las cajas ubicadas en el n -ésimo nivel del contenedor.
- θ_n^{max} : máximo valor que puede tomar el parámetro estocástico de deformidad de las cajas ubicadas en el n -ésimo nivel del contenedor.

Las variables utilizadas son:

- $x_{ijkl} = \begin{cases} 1 & \text{si la caja } i \text{ se ubica en la celda } (j, k, l) \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$
- c_{ijkl} : carga total soportada por la caja i cuando se ubica en la celda (j, k, l) .

- ε_{il} : deformidad estocástica experimentada por la caja i cuando se ubica en el nivel l .
- d_{ijkl} : deformidad total experimentada por la caja i cuando se ubica en la celda (j, k, l) .

La función objetivo es la minimización del espacio no ocupado dentro del contenedor:

$$\min z = -BL \cdot BW \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} (BH - d_{ijkl}) x_{ijkl} \quad (2)$$

Las restricciones del modelo son las siguientes:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} x_{ijkl} \leq j_{\max} k_{\max} l_{\max} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} x_{ijkl} \leq 1 \forall i \in \{1, \dots, I\} \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^{l_{\max}} x_{ijkl} \leq 1 \forall j \in J; \forall k \in K; \forall l \in L \quad (5)$$

$$x_{ijkl} \leq \frac{1}{l-1} \sum_{m=1, m \neq l}^{l-1} x_{ijkm} \forall i \in \{1, \dots, I\}; \forall j \in J; \forall k \in K; l \in \{2, \dots, l_{\max}\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I P_i \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} x_{ijkl} \leq P_C \quad (7)$$

$$-2G \leq BL \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} (2j-1) x_{ijkl} P_i}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} \sum_{l=1}^{l_{\max}} x_{ijkl} P_i} - CL \leq 2G \quad (8)$$

$$c_{ijkl} = \sum_{m=1, m \neq l}^{l_{\max}} x_{ijkm} P_m \forall i \in \{1, \dots, I\}; \forall j \in J; \forall k \in K; \forall l \in L \quad (9)$$

$$c_{ijkl} \leq S_i \forall i \in \{1, \dots, I\}; \forall j \in J; \forall k \in K; \forall l \in L \quad (10)$$

$$c_{ijkl} = 0 \forall i \in \{1, \dots, I\}; \forall j \in J; \forall k \in K; l = l_{\max} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{il} = f_i(\theta_i^{\min}, \theta_i^{\max}) \forall i \in \{1, \dots, I\}; \forall l \in L \quad (12)$$

$$d_{ijkl} = A_i + \frac{(B_i - A_i)}{S_i} c_{ijkl} + \varepsilon_{il} \forall i \in I; \forall j \in J; \forall k \in K; \forall l \in \{1, \dots, l_{\max} - 1\} \quad (13)$$

$$d_{ijkl} = 0 \forall i \in I; \forall j \in J; \forall k \in K; l = l_{\max} \quad (14)$$

La restricción (3) establece que no se puede superar el volumen del contenedor; la restricción (4), que cada caja podría ubicarse solo en una celda; la restricción (5), que una celda solo podrá ser ocupada por una caja; la restricción (6), que todas las cajas que se almacenan y no están en contacto con el piso del contenedor deben ser soportadas por otras cajas; la restricción (7), que no puede superarse el límite de peso que puede cargarse en el contenedor; la restricción (8), que el centro de gravedad del contenedor cargado no puede alejarse más de G unidades del centro de la base; las restricciones (9) a (11), las condiciones de soporte de peso de las cajas almacenadas; y las restricciones (12) a (14), la deformidad que experimentan las cajas que soportan peso encima.

Método heurístico

Pese a que la revisión no reportó evidencia de la utilización de la metaheurística GRASP (greedy randomized adaptive search procedure) para la solución de un problema de empaquetamiento en tres dimensiones, esta ha mostrado muy buenos resultados en problemas combinatorios como: programación de la producción (Vega y Caballero, 2010; Binato, *et al.*, 2002); y cadena de abastecimiento (Carreto y Baker, 2002; Delmaire, *et al.*, 1999), etc. En síntesis, la evidencia de buen desempeño de esta metaheurística en la solución de problemas combinatorios definió su uso para la solución de nuestro problema.

GRASP consta de un proceso iterativo de dos fases: constructiva y búsqueda local. En la fase constructiva se genera una solución factible, cuya vecindad es examinada hasta que se encuentra un mínimo local. Al final la mejor solución factible encontrada se deja como solución final del problema (Glover, *et al.*, 2003).

Nuestra versión de GRASP resuelve en la etapa de construcción el problema relajado en la restricción de centro de gravedad (8). Para solventar esto, en la etapa de búsqueda local se considera la factibilidad de esta restricción. De esta manera el procedimiento asegura la factibilidad de la solución.

Para la fase de construcción es necesaria la definición de una función de utilidad para evaluar cada elemento que podría conformar la solución inicial. Esta función se utiliza para encontrar los mejores candidatos a ubicar en una posición determinada del contenedor. El llenado del contenedor se realiza de piso a techo. Para cada posición disponible la función de utilidad se define como:

$$f_c(i, j, k, l) = \begin{cases} b_i + \varepsilon_{ij} & \text{si } l = 1 \\ b_i + \varepsilon_{ij} + \sum_{n=1}^{l-1} \sum_{m=1, m \neq i}^l d_{mn} & \text{si } l > 1 \end{cases} \quad (15)$$

Donde:

- i : representa la caja que se está evaluando para la celda (j, k, l) del contenedor.
- b_l : es la máxima deformidad determinística que puede experimentar una caja en el nivel l .
- ε_{il} : es la deformidad estocástica que puede experimentar la caja i ubicada en el nivel l .
- d_{mn} : es la deformidad experimentada por la caja m localizada en la celda (j, k, n) del contenedor.

Cuando $l = 1$, es decir se están examinando las posiciones disponibles en el piso del contenedor, la RCL se construye con las cajas que experimentarían menor deformidad si se les colocara encima el máximo peso que podrían soportar. Para los niveles restantes del contenedor ($l > 1$), la RCL se construye con las cajas que experimentarían la menor deformidad al colocarles encima el peso máximo que podrían soportar y que generarían al mismo tiempo la menor deformidad a las cajas que las soportan.

La fase de búsqueda local de GRASP se diseñó para minimizar la deformidad experimentada por las cajas almacenadas y mejorar el balance de su carga, esto último acercando el centro de gravedad del contenedor cargado al centro geométrico de su base en su dimensión más larga y su longitud. La búsqueda local consta de cuatro etapas:

- Etapa 1: se intercambian las posiciones que se asignaron a pares de cajas con el algoritmo 2-Optimal (Croes, 1958), buscando reducir la deformidad total, para minimizar el volumen desperdiciado.
- Etapa 2: si hay mejoras en la Etapa 1 existe entonces una mejor ubicación de las cajas dentro del contenedor. Esta etapa se encarga de verificar si existen cajas no incluidas en la solución que puedan ser almacenadas. Si existen, se repite la Etapa 1.
- Etapa 3: el contenedor es dividido en j_{max} muros de dimensiones BL , BWk_{max} , BHl_{max} . Estos muros son intercambiados con el algoritmo 2-Optimal, y se escogen los intercambios que permitan un acercamiento entre el centro de gravedad y la mitad de la longitud del contenedor.
- Etapa 4: el contenedor es dividido en K_{max} muros de dimensiones BLj_{max} , BW , BHl_{max} . Cada uno de estos muros es reflejado para acercar el centro de

gravidad a la mitad de la longitud del contenedor. Si hay una mejora en el centro de gravedad se repite la Etapa 3.

Esta implementación de GRASP se probó con un problema de 24 cajas y otro de 72 cajas, con α de 0.05, 0.10, 0.15 y 0.20. Para cada α , GRASP se ejecutó 1000 veces, cada ejecución con 500 iteraciones. Para el problema de 24 cajas los mejores resultados se obtuvieron con $\alpha = 0.15$; para el de 72 cajas, con $\alpha = 0.05$.

Tabla 3
Resumen de resultados

No. Cajas	α	Tiempo pro-medio de 1 ejecución x 500 iteraciones (seg)	Uso del espacio del contenedor (%)			Uso del peso límite del contenedor (%)			Distancia del centro de gravedad de la carga al centro de la base (cm)		
			Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
24	0.15	12.12	89.86	90.17	89.98	98.66	99.95	99.56	0.01	12.79	2.92
72	0.05	53.18	81.32	81.54	81.44	99.18	100.00	99.83	0.00	1.40	0.13

Se realizó un análisis de Pareto sobre las soluciones obtenidas en ambos problemas: para 24 cajas se examinaron el 66 % de las soluciones; y para 72 cajas, el 68 % de las soluciones. Estos porcentajes corresponden a 20 alternativas de cada uno de los problemas, sus probabilidades ajustadas, valor esperado de la función objetivo y desviación estándar del valor de función objetivo, especificados para IAM fueron:

Tabla 4
Frecuencia, probabilidad, valor esperado y desviación de alternativas seleccionadas

i	24 cajas				72 cajas			
	Frecuencia	P(i), α	E(zi)	σZi	Frecuencia	P(i), β	E(zi)	σZi
1	50	0.0765	-27,130,328.4503	0	45	0.0667	-24,497,492.7011	0
2	49	0.0749	-27,069,022.1712	0	39	0.0578	-24,520,440.0663	0
3	47	0.0719	-27,079,711.8588	0	39	0.0578	-24,512,652.0699	0
4	37	0.0566	-27,071,467.0888	0	38	0.0563	-24,516,202.0138	0
5	36	0.0550	-27,066,716.6023	0	38	0.0563	-24,502,754.7084	0
6	35	0.0535	-27,068,471.0632	0	38	0.0563	-24,496,098.7389	0
7	35	0.0535	-27,088,277.5107	0	37	0.0548	-24,504,513.1559	0
8	34	0.0520	-27,072,118.7352	0	36	0.0533	-24,506,201.4630	0

i	24 cajas				72 cajas			
	Frecuencia	P(i), α	E(zi)	σZi	Frecuencia	P(i), β	E(zi)	σZi
9	31	0.0474	-27,052,647.8558	0	35	0.0519	-24,515,697.0110	0
10	30	0.0459	-27,066,675.3657	0	35	0.0519	-24,503,437.4409	0
11	30	0.0459	-27,093,102.3737	0	33	0.0489	-24,499,385.3670	0
12	29	0.0443	-27,075,607.8937	0	33	0.0489	-24,493,609.8728	0
13	29	0.0443	-27,070,443.4751	0	32	0.0474	-24,504,895.3574	0
14	28	0.0428	-27,075,537.4827	0	31	0.0459	-24,491,334.7171	0
15	27	0.0413	-27,065,936.3019	0	30	0.0444	-24,496,901.1626	0
16	27	0.0413	-27,059,497.8935	0	29	0.0430	-24,515,483.4574	0
17	26	0.0398	-27,070,016.2422	0	29	0.0430	-24,507,811.1248	0
18	25	0.0382	-27,091,519.0548	0	27	0.0400	-24,526,575.7616	0
19	25	0.0382	-27,071,515.1479	0	26	0.0385	-24,511,051.1289	0
20	24	0.0367	-27,052,190.1312	0	25	0.0370	-24,495,802.2597	0

Análisis cualitativo

Este análisis se basa en SMAA-O (*stochastic multicriteria acceptability analysis with ordinal data*) (Lahdelma, et al., 2003). La variable cualitativa fue definida como la fragilidad de los elementos dentro de las cajas, que fueron clasificados de acuerdo a una escala de 1 a 3, donde 3 indicó mercancía frágil y 1, mercancía resistente; mientras que 2 se asignó a cajas con materiales de resistencia media. Cada una de las 20 alternativas para cada problema fue calificada según la Tabla 5 que establece penalizaciones para las cajas de acuerdo a sus contenidos y el nivel en que fue ubicada dentro del contenedor.

Tabla 5
Penalización para ubicación de cajas

Penalización para la ubicación de cajas para el problema de 24 cajas				Penalización para la ubicación de cajas para el problema de 72 cajas			
Niveles del contenedor	Resistencia de la mercancía dentro de la caja			Niveles del contenedor	Resistencia de la mercancía dentro de la caja		
	1	2	3		1	2	3
1	1	3	3	1	1	2	3
2	2	1	3	2	2	1	2
3	3	1	2	3	3	3	1
4	3	2	1				

Para cada alternativa se obtuvo la suma total de las penalizaciones asignadas a las cajas almacenadas de acuerdo con la resistencia de su contenido y su ubicación. Los resultados fueron clasificados en 4 categorías de acuerdo con la Tabla 6 (Likert), que muestra los valores ordinales asignados a las diferentes alternativas.

Tabla 6
Tablas Likert para los problemas de 24 cajas y 72 cajas

Tabla Likert para el problema de 24 cajas		Tabla Likert para el problema de 72 cajas	
Criterio	Valor ordinal	Criterio	Valor ordinal
Si total < 37	1	Si total < 109	1
Si $37 \leq \text{total} < 49$	2	Si $109 \leq \text{total} < 145$	2
Si $49 \leq \text{total} < 61$	3	Si $145 \leq \text{total} < 181$	3
Si $61 \leq \text{total}$	4	Si $181 \leq \text{total}$	4

Finalmente, los datos de entrada para IAM se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7
Parámetros ordinales e indicadores

Parámetros ordinales e indicadores para el problema de 24 cajas				Parámetros ordinales e indicadores para el problema de 72 cajas			
a	$F(a)$	$fragilidad, j:1$	b^a_i	a	$F(a)$	$fragilidad, j:1$	b^a_i
1	t: {4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19}	1	1	1	t: {12, 17}	2	1
2	t: {1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 20}	2	0	2	t: {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20}	3	0

Análisis de integración

El SMAA determinístico (Lahdelma & Salminen, 2001) se utiliza para completar el análisis de integración. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 8
Resultados de la fase de integración

Indicadores de integración para el problema de 24 cajas			Indicadores de integración para el problema de 72 cajas		
t	$p_i(e^i)$	d^i_i	t	$p_i(e^i)$	d^i_i
1	0	0.0109	1	0.0667	0.0088
4	0.0566	0.9891	12	0.0489	0.9912
5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19.	α	1	17	β	0
2, 3, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 20.	0	0	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20.	0	0

Los resultados indican que las alternativas 4 y 12 constituyen los patrones de carga más favorables para los problemas de 24 cajas y 72 cajas, respectivamente.

Conclusiones y recomendaciones

Este proyecto utilizó los aportes realizados por IAM (García, *et al.*, 2009) para optimizar integralmente el CLP, incluyendo un conjunto de restricciones que no habían sido trabajadas simultáneamente en los estudios revisados. También se presenta un modelo matemático bastante detallado para el CLP, algo que no se encuentra fácilmente en la literatura del problema. Además, se implementó como método de solución una metaheurística de la cual no se encontró evidencia de su uso para resolver problemas de CLP: GRASP. Finalmente, este trabajo incluye criterios estocásticos y cualitativos dentro del planteamiento del CLP, características que no se encontraron en los estudios de problemas de empaquetamiento dentro de la revisión realizada.

Por último, nuevas perspectivas de investigación podrían surgir del presente proyecto si se tiene en cuenta que: (i) el desempeño y calidad de soluciones del método propuesto aún están por definirse, debido a que dentro de la revisión no se encontraron estudios con las mismas características de este trabajo contra los cuales se pudieran hacer comparaciones; (ii) la definición de la relación funcional para explicar la deformidad de las cajas no fue definida experimentalmente; (iii) se podría sugerir un modelo para carga heterogénea, es decir, para

cajas con diferentes tamaños; y (iv) se podrían incluir restricciones adicionales del conjunto definido por Bischoff y Ratcliff (1995), ya sean de naturaleza cuantitativa o cualitativa.

Referencias bibliográficas

- ALBAUM, G. (1997). The likert scale revisited: an alternative version. En: *Journal of the market research society* 39 (2), 331–348.
- BINATO, S. *et al.* (2002). A GRASP for job shop scheduling. En: C.C. Ribeiro and P. Hansen (eds.), *Essays and surveys in metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, pp. 59-79.
- BIRGIN, E.G.; MARTÍNEZ, J.M. y RONCONI, D.P. (2005). Optimizing the packing of cylinders into a rectangular container: a nonlinear approach. En: *European journal of operational research*, 160, 19-33.
- BISCHOFF, E.E. y RATCLIFF, M.S.W. (1995). Issues in the development of approaches to container loading. En: *Omega, the international journal of management science*, 23, 377-390.
- BORTFELDT, A. y GEHRING, H. (2001). A hybrid genetic algorithm for the container loading problem. En: *European journal of operational research*, 131, 143-161.
- BORTFELDT, A.; GEHRING, H. y MACK, D. (2003). A parallel tabu search algorithm for solving the container loading problem. En: *Parallel computing*, 29, 641-662.
- CARRETO, C. y BAKER, B. (2002). A GRASP interactive approach to the vehicle routing problem with backhauls. En: C.C. Ribeiro and P. Hansen (eds.), *Essays and surveys in metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers, pp. 185-199.
- CHEN, C.S.; LEE, S.M. y SHEN, Q.S. (1995). An analytical model for the container loading problem. En: *European journal of operational research*, 80, 68-76.
- CHIEN, C-F. y DENG, J-F. (2004). A container packing support system for determining and visualizing container packing patterns. En: *Decision support systems*, 37, 23-34.

- CHIEN, C-F. *et al.* (2009). An efficient computational procedure for determining the container loading pattern. En: *Computers & industrial engineering*, 56, 965-978.
- CROES, A. (1958). A method for solving traveling-salesman problems. En: *Operations research*, 5, 791-812.
- DAVIES, A.P. y BISCHOFF, E.E. (1999). Weight distribution considerations in container loading. En: *European journal of operational research*, 114, 509-527.
- DELMAIRE, H. *et al.* (1999) Reactive GRASP and tabu search based heuristics for the single source capacitated plant location problem. *INFOR*, 37, 194-225.
- ELEY, M. (2002). Solving container loading problems by block arrangement. En: *European journal of operational research*, 141, 393-409.
- GARCÍA, R.G.; ARÁOZ, J.A. y PALACIOS, F. (2009). Integral Analysis Method – IAM. En: *European journal of operational research*, 192, 891-903.
- GLOVER, F. y KOCHENBERGER, G.A. (2003). *Handbook of metaheuristics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- HUANG, W. y HE, K. (2009a). A caving degree approach for the single container loading problem. En: *European journal of operational research*, 196, 93-101.
- _____. y _____. (2009b). A new heuristic algorithm for cuboids packing with no orientation constraints. En: *Computers & operations research*, 36, 425-432.
- LAHDELMA, R. y SALMINEN, P. (2001). SMAA-2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. En: *Operations research*, 49 (3), 444-454.
- LAHDELMA, R.; MIETTINEN, K. y SALMINEN, P. (2003). Ordinal criteria in stochastic multicriteria acceptability analysis. En: *European journal of operational research*, 147, 117-127.
- LEWIS, J.E. *et al.* (2004). A distributed chromosome genetic algorithm for bin-packing. En: *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 21, 486-495.

- LIM, A.; RODRIGUES, B. y WANG, Y. (2003). A multi-faced buildup algorithm for three-dimensional packing problems. En: *Omega, the international journal of management science*, 31, 471-481.
- MIYAZAWA, F.K. y WAKABAYASHI, Y. (2003). Parametric on-line algorithms for packing rectangles and boxes. En: *European journal of operational research*, 150, 281-292.
- PISINGER, D. (2002). Heuristics for the container loading problem. En: *European journal of operational research*, 141, 382-392.
- RESENDE, M.G.C. y GONZÁLEZ, J.L. (2003). GRASP: Procedimientos de búsqueda miopes aleatorizados y adaptativos. En: *Inteligencia artificial. Revista iberoamericana de inteligencia artificial*, 7, 19.
- SOAK, S-M. *et al.* (2008). An effective evolutionary algorithm for the multiple container packing problem. En: *Progress in natural science*, 18, 337-344.
- TENG, H-F. *et al.* (2001). Layout optimization for the objects located within a rotating vessel – a three-dimensional problem with behavioral constraints. En: *Computers & operations research*, 28, 521-535.
- VEGA-MEJÍA, C.A. y CABALLERO-VILLALOBOS, J.P. (2010). Uso combinado de GRASP y path-relinking en la programación de producción para minimizar la tardanza total ponderada en una máquina. En: *Ingeniería y universidad*, 14, 1, 79-96.
- WANG, Z.; LI, K.W. y LEVY, J.K. (2008). A heuristic for the container loading problem: A tertiary-tree-based dynamic space decomposition approach. En: *European journal of operational research*, 191, 86-99.
- WÄSCHER, G.; HAUBNER, H. y SCHUMANN, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. En: *European journal of operational research*, 183, 1109-1130.
- XUE, J. y LAI, K.K. (1997a). Effective methods for a container packing operation. En: *Mathematical computing modelling*, 25, 75-84.
- _____ y _____ (1997b). A study on cargo forwarding decisions. En: *Computers industrial engineering*, 33, 63-66.

Modelización de redes virtuales de fabricación global en la industria

Carlos Rodríguez Monroy
José Ramón Vilana Arto

Departamento de Ingeniería de Organización,
Administración de Empresas y Estadística, E.TS.I.I.,
Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

Las redes virtuales de fabricación global (RVFG) están formadas por empresas muy dinámicas que fabrican todo tipo de productos o servicios, las cuales establecen entre sí relaciones de tipo horizontal y vertical, pudiendo incluso ser competidores, donde no es necesario mantener internamente grandes recursos fabriles sino gestionar y compartir eficientemente los recursos de la red. Las relaciones fluidas que existen en las RVFG les permiten alcanzar una organización muy permeable, fácil de conectarse y desconectarse así como colaborar simultáneamente con un grupo variado de participantes con diferentes atributos. El resultado es un sistema altamente flexible, caracterizado por bajas barreras de entrada y salida, flexibilidad geográfica, bajos costes, difusión tecnológica en la red muy rápida, alta diversificación a través de los fabricantes subcontratados y excepcionales economías de escala. Este trabajo propone un modelo teórico que analizará las causas de la formación de estas redes incluyendo sus cuatro pilares básicos: estrategia, estructura, dinámica y cultura. Para ello, se tendrán en cuenta aspectos como las alianzas estratégicas entre empresas competidoras, la naturaleza permeable y difusa de los actores de la red y el riesgo de canibalizaciones de roles, la paradoja inherente de colaborar con competidores, los aspectos culturales a nivel sistémico o las tecnologías de información y comunicación a nivel de red. El modelo teórico propuesto permitirá conocer de una manera ordenada todos los aspectos relevantes de este tipo de redes para esclarecer y

dar perspectiva a uno de los tipos de organizaciones que más está creciendo en los últimos años.

Palabras clave: redes virtuales de fabricación global, alianzas estratégicas, cultura interempresarial.

Introducción

Hoy en día el concepto de fábrica o centro de producción es cada vez más ambiguo. En muchas industrias cada vez se observa más algún tipo de colaboración entre centros de producción o incluso redes de fabricación que intentan responder más eficientemente a las necesidades del mercado más exigente y obtener ventajas competitivas en un entorno cada vez más globalizado. En algunas industrias como la aeronáutica, electrónica o automoción, se habla incluso de redes virtuales de fabricación global (RVFG) basadas en un nuevo modelo de arquitectura de fabricación con un gran potencial de desarrollo para satisfacer un mercado cada vez más exigente y fragmentado.

El entorno global en el que se desarrollan las empresas actualmente, con mercados cada vez más globalizados, consolidaciones de empresas o alianzas estratégicas, está forzando a las empresas a encontrar nuevos modos de colaboración que mejoren la integración y sincronización de las diferentes funciones y etapas de la cadena de valor de sus productos. Las RVFG permiten a las empresas focalizarse en sus competencias específicas, sin prescindir de su participación en el diseño y fabricación de complejos sistemas integrados.

Estas redes se pueden considerar como sistemas de fabricación extendidos donde varias empresas pueden cooperar en un proyecto concreto cuyo resultado sea la fabricación de un producto o servicio y donde cada empresa es experta en una o varias de las áreas que dan valor a ese producto. En estas redes la empresa líder no necesita mantener internamente recursos fabriles para mantener las variaciones impredecibles de la demanda. Al contrario, se basan en relaciones con los diferentes componentes de la red virtual permitiéndole diseñar una cadena de suministro concreta dependiendo de cada cliente o de un contrato determinado. Este tipo de redes, no se basa pues en la propiedad de ciertos recursos propios que condicionan lo que se puede producir, cuándo y cuánto, sino en gestionar y compartir los recursos de la red.

Sin embargo, aunque el potencial de estas organizaciones es evidente, también presenta una serie de inconvenientes que deberán ser resueltos si quieren garantizar su propia supervivencia. Un característica fundamental de las RVFG son las relaciones de tipo horizontal entre sus miembros, en muchos casos

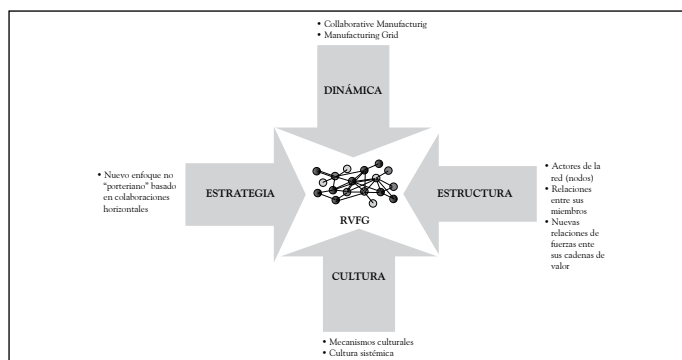
competidores directos, que deciden colaborar en un proyecto de fabricación de un producto o servicio determinado aunque en otros proyectos u otras fases de sus cadenas de valor compitan agresivamente.

Cada vez hay más ejemplos de este tipo de relaciones horizontales entre colaboración y competición. NEC colabora con su competidor Siemens en el campo de I+D y compite agresivamente al comercializar los productos desarrollados bajo esa colaboración. Philips y Sony colaboran en el desarrollo y fabricación de nuevos DVD, al mismo tiempo que compiten de manera muy agresiva en otros productos y mercados (Luo, 2007). En la fabricación de algunos motores aeronáuticos participan la gran mayoría de fabricantes competidores del mercado como el caso del GP 7200 que alimenta el nuevo Airbus 380 cuya fabricación se realiza por una alianza entre General Electric y Pratt & Whitney con colaboraciones de MTU Aero Engines, Snecma y Tech Space Aero.

En las RVFG el riesgo inherente de colaborar con competidores está presente a lo largo de toda la duración de la colaboración, como la aparición de conductas oportunistas a cargo de sus actores que buscan una rentabilidad segura a corto plazo frente al escenario de unas expectativas inciertas de mayores beneficios a largo plazo, las posibles transferencias tecnológicas no deseadas, las canibalizaciones de roles sobre todo en los últimos años con la aparición del fabricante subcontratado, los problemas culturales en las relaciones interempresariales o la paradoja estratégica que se les plantea a sus actores al colaborar con competidores.

En el esquema de la Figura 1 se incluyen los cuatro pilares básicos de las RVFG: estrategia, estructura, dinámica y cultura que cubren todos los aspectos relevantes de estas organizaciones.

Figura 1
Aspectos básicos de las RVFG

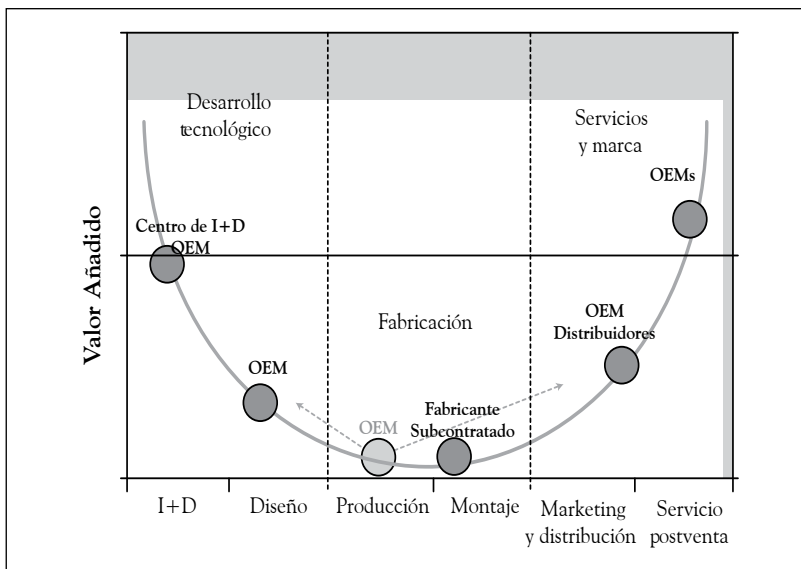


Aspectos estructurales de las RVFG

La estructura de la red incluye la definición de los principales actores que la componen así como el tipo de relaciones que se establecen entre sus miembros. Estas estructuras no deben considerarse como algo estático y rígido, sino como un sistema dinámico en continuo proceso de cambio permeable a factores externos.

Una manera muy clara de entender el origen de las RVFG, los diferentes roles de sus actores y su evolución, es mediante su representación en la curva de Shih indicada en la Figura 2. Stan Shih fue el fundador del fabricante de equipos informáticos Acer y relacionó las diferentes fases secuenciales de la cadena de valor de un producto o servicio con el valor añadido que estas aportan. Según este gráfico los extremos de la cadena de valor son los que más valor aportan al producto, es decir los relacionados con procesos de I+D o las fases finales de la cadena de valor incluyendo la comercialización, marketing y servicios posventa, en detrimento de las fases centrales relacionadas con la fabricación y montaje. Aunque la aplicación original que hizo Shih de esta curva fue para la industria informática, permitiéndole reorientar estratégicamente su empresa al subcontratar el montaje de sus ordenadores y focalizarse en el marketing y la investigación y desarrollo de componentes básicos, se puede aplicar con carácter general a la mayoría de casos donde aparecen las RVFG.

Figura 2
Ubicación de actores de las GMVN en la curva de Stan Shih



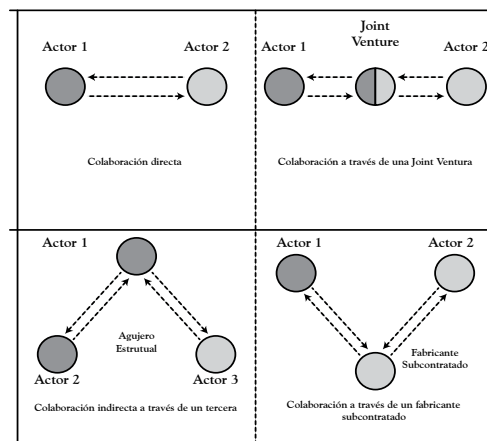
La tendencia del OEM en las RVFG es a abandonar los procesos de fabricación y montaje, que son las fases que menos valor aportan, para dedicarse a procesos como el I+D, marketing o la comercialización de los productos y que constituyen las competencias principales del OEM donde este puede diferenciarse y aportar ventajas competitivas. Mientras que las funciones de fabricación y montaje pasarían a ser realizadas por los fabricantes subcontratados. Este planteamiento puede cuestionar el posible interés del fabricante subcontratado en estas tareas cuando el propio OEM, que es el que mejor conoce los procesos fabriles de su producto, decide abandonarlos. La respuesta estaría en que la curva de Stan Shih aquí expuesta es relativa al punto de vista del OEM, no del fabricante subcontratado. Este actor de la red consigue economías de escala a nivel de red que ningún OEM podría conseguir al realizar productos o procesos muy similares para otros OEM en algunos casos competidores. Por lo tanto, desde el punto de vista del fabricante subcontratado, las fases de fabricación y montaje le proporcionan un valor muy superior al que percibe un único OEM.

El problema surge cuando el fabricante subcontratado va avanzando en su curva de aprendizaje, va reduciendo cada vez más sus costes y accediendo al *know-how* que podría utilizar en el desarrollo de sus propios productos. Por ello, una tendencia natural del fabricante subcontratado será la fabricación de sus propios productos, incluso la creación de su propia marca, convirtiéndose en OEM y competidor de sus antiguos colaboradores. Lenovo (fabricante de ordenadores personales) es un buen ejemplo de esta conversión de fabricante subcontratado en OEM, utilizado canales de distribución propios y existentes en la red, al haberse convertido en líder de su sector.

Otro caso muy reciente es la compra por parte del fabricante subcontratado austríaco-canadiense Magna, que fabrica y monta coches para Mercedes, BMW o Saab del OEM Opel, lo que supondrá una importante transferencia de tecnología y la conversión de Magna en un nuevo OEM que compita con otros fabricantes y clientes suyos. Una variante de esta tendencia es cuando un fabricante subcontratado se convierte en OEM y utiliza la marca y el canal de un distribuidor muy implantado en el mercado.

Las grandes cadenas de distribución como Wal Mart, Carrefour o El Corte Inglés pueden encargar a grandes fabricantes subcontratados fabricar bajo su propia marca de distribución productos de la misma calidad que las grandes marcas pero a precios sensiblemente inferiores. Este proceso se irá viendo cada vez más en productos donde hasta ahora parecía impensable como automóviles o electrodomésticos.

Figura 3
Tipos de colaboración ente actores de una RVFG



La Figura 3 representa los diferentes tipos de colaboración que pueden darse en las RVFG. El primer caso es el más sencillo donde dos o más actores de la red establecen una colaboración para la fabricación en colaboración de un producto o servicio o el uso compartido de recursos. En la fabricación del motor aeronáutico Trent 900 diseñado para alimentar el nuevo Airbus 380, Rolls Royce decidió colaborar con varias empresas debido al riesgo financiero que suponía y a la elevada complejidad tecnológica del proyecto. Algunos de estos colaboradores son Volvo Aero que fabrica la carcasa intermedia del compresor, ITP responsable de la turbina de baja presión o Honeywell responsable de los sistemas neumáticos.

En el segundo caso, la colaboración se materializa mediante la constitución de una joint venture. La colaboración que se estableció entre General Electric y Snecma para la fabricación del motor aeronáutico de rango medio CFM 56, se realizó mediante una nueva empresa con la participación al 50 % de ambas empresas, denominada CFM Internacional. Este tipo de colaboraciones es muy frecuente entre empresas competidoras de un mismo sector ya que minimiza las conductas oportunistas y evita una transferencia tecnológica no deseada (Gulati 1995).

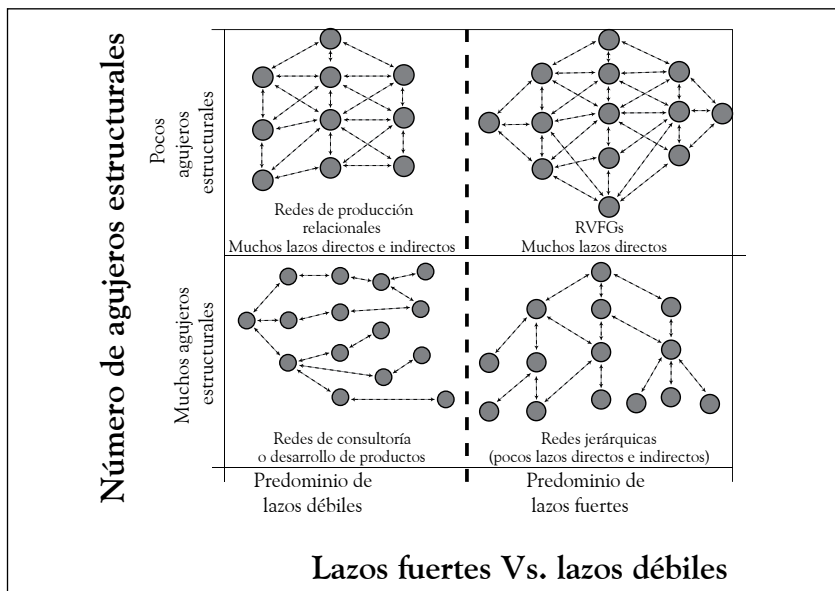
Un tercer tipo de colaboración es a través de lo que Burt (1992) denominó agujeros estructurales consistentes en el establecimiento de relaciones de dos o más actores con un mismo actor sin existir relaciones entre ellos. Estos mecanismos favorecen la diversidad y el flujo de información nueva al actor focal, al evitar

redundancias y solapamientos de las relaciones. Es muy útil en redes de empresas de consultoría o de desarrollo de nuevos productos. Una variante de este caso es el cuarto tipo de relaciones a través de fabricantes subcontratados. Esta relación es permitida por los dos actores que colaboran con el fabricante subcontratado porque los beneficios que obtienen de esa subcontratación, relacionados sobre todo con las enormes economías de escala que se consiguen a nivel de red, son mayores que el riesgo inherente de colaborar con un competidor aunque sea a través de un lazo indirecto. Ericsson y Motorola colaboraron indirectamente a través del fabricante subcontratado Flextronics para la fabricación de unos componentes electrónicos debido a las enormes economías de escala que obtenía este.

A la hora de definir la tipología de las redes de empresas existen una serie de atributos básicos cuya naturaleza condiciona intensamente la morfología de la red. Estos atributos son tres: 1) lazos fuertes frente a lazos débiles, entendiéndose por fortaleza de un lazo a la intensidad de la colaboración entre dos empresas; 2) lazos directos frente a lazos indirectos, dos empresas se pueden colaborar directamente o a través de un tercero, y 3) los agujeros estructurales consistentes en el establecimiento de relaciones de dos o más actores con un mismo actor sin existir relaciones entre ellos. En función de las variaciones de estos atributos, en la Figura 4 se incluyen las tipologías más generales de redes de empresas.

Las redes compuestas por colaboradores que a su vez tienen pocos lazos con otras empresas se caracterizan por tener muchos agujeros estructurales con predominio de los lazos fuertes, lo que facilita el control sobre los colaboradores directos. Es el caso de redes jerárquicas de proveedores muy utilizadas en los años ochenta por las empresas japonesas en el sector de la automoción. Las redes con muchos lazos interconectados entre todos sus actores se caracterizan por tener pocos agujeros estructurales y mayor peso de los lazos fuertes, lo que favorece la confianza y cooperación entre sus actores evitando posicionamientos de poder de sus miembros. Este tipo de organizaciones es muy aplicado en las redes de industria de alta tecnología y en las colaboraciones horizontales. Las redes con pocos solapamientos y redundancias se caracterizan por tener muchos agujeros estructurales y predominancia de los lazos débiles, lo que proveerá de beneficios de acceso a información como es el caso de las redes de intercambio de información, consultoría o tecnología. Finalmente, las redes con muchas interacciones entre todos sus miembros mediante lazos débiles son lo que Sturgeon (2002) denominó redes de producción relacionales y se caracterizan por la intensa red social que subyace a la red económica y que Granovetter (1985) definió como integración social o “social embeddedness”.

Figura 4
Tipología de redes

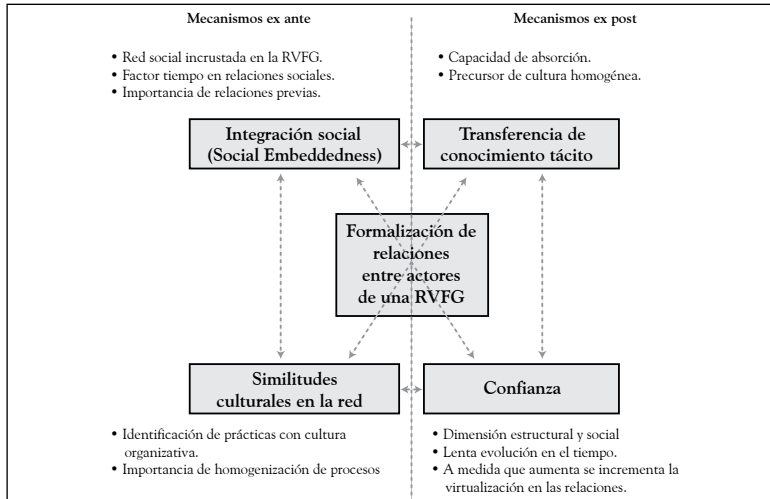


En las RVFG debido al fuerte componente de relaciones horizontales entre competidores, deberán orientarse hacia una tipología cerrada con numerosas e intensas relaciones entre sus actores, con un mayor porcentaje de lazos directos que fomenten el uso de recursos compartidos y el acceso a conocimiento tácito (lazos directos) para, en definitiva, fomentar el desarrollo de la confianza entre sus actores.

La importancia de la cultura interempresarial

La cultura interempresarial incluye los aspectos blandos o “soft factors” de las RVFGs y constituye uno de los pilares fundamentales en el funcionamiento eficiente de las mismas. Muchos autores han intentado demostrar la posible existencia de una cultura organizacional sistémica a nivel de red en la que se puedan identificar todos los actores de la red y poder así fortalecer la pertenencia al grupo o establecer una red social que subyace a la propia RVFG y que facilite e incremente las interacciones entre sus miembros. En la Figura 5 se refleja este planteamiento a través de cuatro mecanismos culturales: la similitud de las prácticas culturales entre sus actores, la integración social (social embeddedness), la transferencia de conocimiento tácito y la importancia de la confianza en la red.

Figura 5
Mecanismos culturales en la RVFG



Existe una interacción constante entre estos cuatro mecanismos culturales tanto antes de la formalización de la colaboración como después, constituyendo un proceso continuo donde estos mecanismos se refuerzan mutuamente. Aunque estos provienen de la disciplina de la cultura organizacional, tienen un significado diferente dentro de las RVFG. Se dividen según su influencia en la formalización de las relaciones en mecanismos ex ante y ex pos. Los mecanismos ex ante condicionan la formación de la RVFG determinando la energía que será necesaria para esa relación, pudiendo incluso anularla. Son dos: las similitudes de prácticas culturales en la red y la integración social o “social embeddedness”. Los mecanismos ex pos facilitan y refuerzan la interacción de los actores en la red una vez formada y son la transferencia de conocimiento tácito y la confianza.

Las similitudes de prácticas culturales en la red proponen que la cultura real en las organizaciones se fundamenta en sus prácticas culturales, basado en las aportaciones de Hofstede *et al.* (1990), en vez del enfoque clásico que afirma que son los valores la esencia de la cultura organizativa aunque éstos no sean fácilmente detectables. Por lo tanto, al elegir colaborar con empresas con prácticas culturales similares se facilita enormemente la interacción ahorrando energía en vencer incompatibilidades que dificultan las probabilidades de supervivencia en la red. El problema surge cuando se intenta formalizar una colaboración dentro de una RVFG y se comprueba que existen fuertes incompatibilidades en una o varias prácticas culturales. De hecho, es muy excepcional

que al encontrar una empresa con la que se desee establecer una colaboración exista una fuerte compatibilidad y similitud de las prácticas culturales ya que éstas no constituyen una de las causas de la formación de la colaboración sino que podría considerarse una condición necesaria para el éxito de la misma. La colaboración entre GE y Snecma para la fabricación del motor aeronáutico CFM 56, solucionó parcialmente este dilema al constituir ex-profeso una serie de departamentos y procesos internos nuevos, idénticos en ambas empresas, relacionados exclusivamente con el nuevo programa para la fabricación del motor CFM 56. Esta medida permitió la formación de subculturas en estos departamentos con prácticas culturales con alto grado de similitud entre las dos empresas. Posteriormente se formó una nueva empresa participada al 50 % por GE y Snecma, lo que facilitó la compatibilidad cultural en sus prácticas.

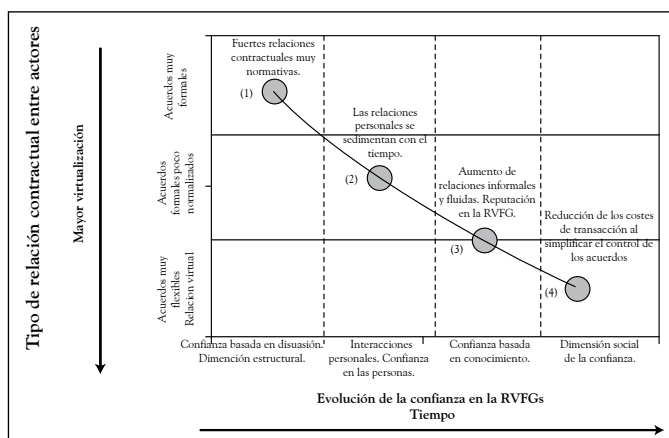
La integración social (social embeddedness) constituye otro mecanismo ex ante que favorece la formación de las RVFG. Estas redes están inmersas en un contexto social de relaciones previas que generan una red social en las que las empresas están integradas y supone una fuente de información inestimable sobre la fiabilidad y capacidad de los actuales y potenciales participantes en la RVFG, mejorando la información sobre nuevas oportunidades en la red. Aunque la formación de esta red social requiere tiempo, es un proceso acumulativo que se va construyendo sobre experiencias anteriores. Por lo tanto, la integración social permite dar información a los actores de las RVFG sobre las capacidades y competencias de posibles nuevos colaboradores de la red, sus necesidades además de aumentar la fiabilidad ante potenciales conductas oportunistas. Estas redes sociales necesitan tiempo para establecerse y sedimentar, y una vez constituidas supondrán un catalizador de las relaciones empresariales en la red. Conocer el mapa de relaciones sociales existentes en la red, además de construir la propia red, es fundamental con el tiempo para tener éxito en la misma. Es muy complejo iniciar una colaboración muy estrecha desde el principio si antes no ha habido relaciones previas menos exigentes que permitan sedimentar una red social incrustada en las relaciones empresariales.

La transferencia de conocimiento tácito constituye una de las ventajas competitivas perdurables más efectivas (Gupta y Govindarajan, 2000). Es uno de los motivos fundamentales de la formación de las RVFG. Permite transferir el conocimiento implícito en la conducta humana y que por lo tanto es difícil de descifrar y comunicar. Solo puede transmitirse a través de la acción, el compromiso y la implicación en tareas o actividades específicas, además está basado en la experiencia. Esto es uno de los factores principales que ayudan a diferenciar a las empresas entre sí. Existen muchas posibilidades de que una transferencia

de conocimiento tácito intensa entre dos actores de la red produzca un acercamiento de sus prácticas culturales y consecuentemente ayude a homogeneizar culturalmente la red. Por lo que una transferencia de conocimiento tácito en la RVFG puede ayudar a constituir una cultura sistémica, al compartir con otros actores de la RVFG un tipo de conocimiento que constituye uno de sus activos más importantes, lo que le da identidad propia y le permite diferenciarse de otras empresas de la red, al diluir y expandir este activo en la red se produce un proceso de homogenización cultural en la misma.

La confianza es también otro efectivo mecanismo cultural ex pos de las RVFG, ya que es un factor clave para dar estabilidad a la red, reduce la complejidad en las transacciones, favorece las relaciones informales, permite que los procesos se hagan cada vez más fluidos y los costes de transacción se reduzcan drásticamente al no basarse en rígidos contratos. La confianza ayuda a resolver potenciales conflictos entre sus miembros, facilita la transferencia de conocimiento tácito y acelera la búsqueda de futuros colaboradores entre los miembros de la red. En la Figura 6 se muestran las diferentes fases de la confianza en las relaciones entre empresas dentro de una RVFG y su relación con el grado de “virtualización”.

Figura 6
Relación entre confianza y “virtualización” de la red



Los mecanismos culturales vistos influyen notablemente en la formación y supervivencia de las RVFG ejerciendo una serie de beneficios culturales que son: 1) la fácil integración de nuevos miembros o colaboradores en la RVFG basada sobre todo en la integración social, es decir, en las referencias o experiencias pasadas de uno o varios actores de la red; 2) el incremento de una cultura homogénea

cada vez más reforzada debido principalmente a la red social de relaciones que se establece, a la similitud de prácticas culturales y a la transferencia de conocimiento tácito, y 3) la disminución de los costes de transacción producida fundamentalmente por el aumento de la confianza entre los actores de la red.

La paradoja estratégica de las RVFG

La estrategia constituye un pilar fundamental en el diseño de las RVFG. En un entorno globalizado las colaboraciones entre sus miembros de tipo horizontal o vertical, incluso con competidores, pueden poner en duda la validez o idoneidad de una estrategia “porteriana” basada en mantener una serie de ventajas competitivas siguiendo el enfoque clásico y endogámico de competencia agresiva de las empresas que deben buscar una ventaja competitiva sostenible en el tiempo para garantizar su supervivencia a largo plazo.

En este tipo de redes es muy frecuente que actores de la red colaboren en un proyecto puntual y al mismo tiempo compitan en otros proyectos o fases de su cadena de valor. Dell y Compaq simultáneamente compiten en el desarrollo de hardware y procesos fabriles y cooperan con los productores de software como Netscape y Microsoft. Cada vez más los OEM (*Original Equipment Manufacturers*) colaboran con los fabricantes subcontratados debido a las economías de escala o de especialización que consiguen al fabricar productos similares para varios OEM competidores. Esta paradoja es permitida por los OEM porque las ventajas obtenidas son muy superiores a los riesgos inherentes a la fabricación subcontratada. Este factor hace que la estrategia de las RVFG siga unos patrones diferentes al enfoque “porteriano” y se busquen nuevas vías estratégicas de colaboración y competición como la “coopetición” (Nalebuf y Branderburger, 1996).

Una manera de resolver esta paradoja estratégica en las RVFG es dividirla en tres perspectivas:

1. Una perspectiva estratégica nodal basada principalmente en un enfoque tradicional endogámico sin considerar los beneficios de colaboraciones externas;
2. Una perspectiva estratégica diádica basada en colaboraciones con otras empresas de la red para alcanzar escenarios de beneficio mutuo evitando conductas oportunistas; y
3. Una perspectiva estratégica sistémica basada en una visión de la red como sistema homogéneo donde el elevado nivel de confianza y el encaje de

actividades específicas de sus actores permitirá que ésta pueda competir eficientemente en el mercado frente a otras redes.

Perspectiva estratégica diádica

Bajo esta perspectiva, el foco de atención se aleja de la propia empresa y se localiza en la colaboración en sí. Es necesario entender las motivaciones y necesidades de los participantes en la relación intentando alejar el riesgo de conductas oportunistas para que esta tenga éxito. Existen muchos enfoques bajo esta perspectiva. Uno de los más estudiados es la “coopetición” (neologismo adoptado del inglés “coopetition”) y tiene su auge a raíz de un trabajo de Nalebuff y Branderburger (1996).

Se basa en la adopción, por parte de las empresas, de estrategias simultáneas de competición para adaptarse el entorno actual competitivo al mismo tiempo que pueden poner en marcha estrategias colaborativas. La “coopetición” es una relación basada en el valor neto que aportan colectivamente los actores que participan en una colaboración incluyendo proveedores, clientes, sustitutivos (competidores) y complementarios y que se representa mediante una red de valor (value net). Los fabricantes de motores aeronáuticos Rolls Royce y GE Avio colaboran intensamente en programas de investigación con la Universidad de Bristol o en la fabricación del modelo F136 para alimentar el caza para el F-35 Lightning II; mientras que compiten agresivamente en el motor que alimenta el nuevo Airbus 380 con el Trent 900 de RR frente al GP7000 fabricado por un consorcio donde participa GE.

No obstante, dentro de la lógica aristotélica que domina el pensamiento de la gestión empresarial, este planteamiento puede presentar una paradoja irresoluble al considerar la posibilidad de que una empresa establezca, por un lado, estrategias agresivas de competición y por otro lado, se establezcan estrategias de colaboración con las mismas empresas. Desarrollar una estrategia de “coopetición” conduce necesariamente a volver a considerar las normas de la interacción entre las empresas. En esta nueva representación se plantean verdaderos problemas de gestión, tanto individual como colectivamente.

La teoría de la “coopetición” se basa en los beneficios mutuos que se obtienen de una potencial colaboración entre competidores si se considera toda la red de valor de la relación incluyendo todos sus participantes (*stakeholders*). Su aportación, sin duda, ha sido de gran utilidad al dar una nueva perspectiva al planteamiento competitivo clásico pero no soluciona el conflicto cognitivo inherente de este tipo de colaboraciones. Supone implícitamente que el bene-

ficio económico global de todos los participantes en la relación será suficiente para salvar las barreras cognitivas y emocionales que surgen al colaborar con competidores. Sin embargo, hacen falta una serie de mecanismos reguladores de la relación que minimicen este dilema que surge al colaborar con competidores. Esta falta de enfoque emocional o personal es lo que ha motivado la ruptura de la mayoría de las alianzas estratégicas entre competidores o, incluso, lo que ha impedido frecuentemente la formación de estas. Es necesario, pues, un enfoque complementario que contemple, entre otros, los aspectos más informales o emocionales de la colaboración.

El enfoque emocional es el que mejores resultados ha obtenido al basarse en cambiar la percepción de los actores sobre el entorno social. Dentro de esta escuela, la línea más interesante es la del dilema social, la cual ha mostrado que la comunicación, sobre todo personal, incrementa la cooperación drásticamente (Zeng y Chen, 2003). Esto se debe en parte a que las discusiones en grupo permiten conocer a los participantes la naturaleza del dilema de manera que todos pueden entender las consecuencias negativas para el grupo de las conductas oportunistas, además de suministrar información de las diferentes alternativas según los diferentes puntos de vista promoviendo aquellas que mejor favorecen a la colectividad.

Perspectiva estratégica sistémica

Existe una tercera perspectiva estratégica que deben plantearse los actores de la red y que se sumaría, por una lado, al enfoque clásico competitivo y endogámico y, por otro, al enfoque diádico, buscando mediante la colaboración con competidores escenarios de beneficio mutuo. Se trata del posicionamiento estratégico frente a otras redes de fabricación o empresas aisladas ajenas y que compiten en nuestro mercado. Este planteamiento estratégico se basa en la búsqueda de una ventaja competitiva a nivel de red basada en una visión global de la misma donde sus recursos internos o el encaje de sus actividades según una combinación específica de competencias de los actores de la red, unido a factores como la transferencia interna de conocimiento o mecanismos culturales a nivel de red, permitan que las RVFG compitan eficientemente en el mercado al mantener una ventaja competitiva difícilmente imitable a lo largo del tiempo.

Este encaje de actividades en el contexto de las RVFG se basa en lo que Doz y Hamel (1998) denominaron “cospecialización” e implica que los actores de la red se focalizan en un número reducido de actividades y habilidades principales que son complementarias a las de otros participantes. Ello implica mejorar el conocimiento o habilidad de un área específica y ceder el desarrollo del resto

de actividades a los otros miembros de la red. A mayor “cospecialización” se consiguen mayores economías de especialización. En las “cospecialización” los participantes en la red se vuelven cada vez menos similares incrementando su complementariedad a medida que las empresas se vuelven menos activas en las áreas tecnológicas cedidas a los miembros de la RVFG. A mayor “cospecialización” mayor disimilaridad en capacidades tecnológicas y mayor virtualización de la red. Sin embargo, el mayor riesgo de la “cospecialización” es la pérdida de la capacidad de realizar un producto íntegramente al ceder únicamente a la RVFG esa posibilidad. En caso de fracaso de la RVFG, los actores que hayan perdido esa capacidad integral deberán reorientar su estrategia, lo que no es factible en el corto o mediano plazo. Por eso, sólo bajo una perspectiva sistémica basada en la elevada confianza entre los actores de la red es plausible una intensa “cospecialización” en la RVFG.

Las RVFG que alcanzan esta perspectiva sistémica consiguen el paradigma de la ventaja competitiva sostenible en el tiempo basado en el encaje de actividades que provoca la “cospecialización”. Además evitan uno de los peligros de estas redes y de las empresas que operan independientemente en el mercado denominado por varios autores como la “trampa de la Reina Roja”. La metáfora de la Reina Roja ha sido estudiada por muchos autores (ej. Barnett y McKendrick, 2004) y se basa en el libro de Lewis Carroll, “Alicia a través del espejo”, donde Alicia comenta que aunque está corriendo todo lo que puede no aparenta moverse de su sitio a lo que la Reina Roja le responde “en mundo que se mueve tan rápido, necesitas correr todo lo que puedas para mantenerte en el mismo sitio”.

Esta metáfora describe el proceso coevolutivo en el que se ven inmersos las empresas en los mercados con libre competencia, donde los actores más fuertes incrementan la competitividad del mercado, por lo que las empresas que sobreviven salen fortalecidas y son cada vez más aptas para, a su vez, incrementar la competitividad en un proceso continuo de reciprocidad causal que se refuerza y acelera mutuamente.

Tal y como sugiere la metáfora de la Reina Roja, la posición relativa de los actores en la red puede ser estable aunque seguramente son necesarias fuertes inversiones en I+D, marketing o desarrollo de nuevos productos para mantener a un coste muy elevado esa posición de aparente inmovilidad. La perspectiva estratégica sistémica a través de la cospecialización evita esta trampa al especializar a cada actor de la red en procesos o componentes únicos complementarios con otros actores de la red, lo que refuerza el encaje de actividades y su posición competitiva frente a otras empresas o redes externas.

Dinámica

El último aspecto relevante de las RVFG es la dinámica que define el funcionamiento de la red incluyendo aspectos como las tecnologías de la información y la comunicación a nivel sistémico. Muchos autores han estudiado este campo como los estudios de Li, *et al.* (2004) sobre mallas de fabricación (manufacturing grids) o la fabricación participativa con fuerte implantación en algunos sectores como la fabricación de ordenadores, la astronomía o la bioinformática (Liu y Shi, 2008). Estos estudios analizan cómo coordinar la utilización de los recursos de diseño y fabricación heterogéneos, independientes y distribuidos por toda la red. Recientemente, varios autores han desarrollado propuestas de modelos conceptuales de la organización de las tecnologías de la comunicación y la información necesarias en este tipo de organizaciones (ej. Camarinha, *et al.*, 2009; Chituc, *et al.*, 2009). No obstante, aún quedan muchos aspectos por desarrollar en este campo, como la necesidad o no de dirigir estas redes o el desarrollo de un modelo prescriptivo global de tecnologías de la información y la comunicación que puedan gestionar las RVFG.

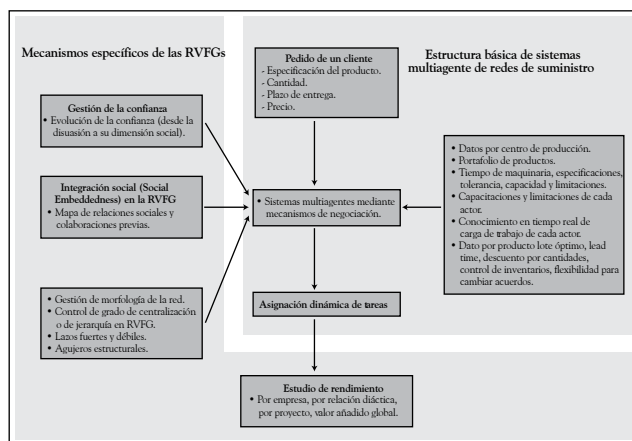
Una línea de investigación muy interesante en este campo es la necesidad de estas redes de ser o no dirigidas. Varias escuelas han desarrollado este campo como la teoría evolutiva de las organizaciones que plantea la dicotomía entre un proceso autorganizativo de las redes frente a otro conscientemente dirigido, o lo que se ha denominado enfoque “darwinista” de autoselección y la denominada ecología de la población evolutiva.

Sin embargo, las RVFG presentan una serie de particularidades que las hacen diferentes de otras organizaciones virtuales entre las que destaca el fuerte componente horizontal de colaboración entre competidores. Cualquier intento de dirigir las RVFG iría en contra de la propia naturaleza de las mismas y generaría unas tensiones internas que pondrían en peligro la supervivencia de la propia red. Por tanto, en un entorno ideal, las RVFG no deberían estar dirigidas ni controladas y deberían tener la posibilidad de emerger y evolucionar por su cuenta hacia un equilibrio dinámico. Aunque en la práctica es frecuente que el entorno provoque cambios sustanciales en la red provocando que esta evolucione hacia tipologías abiertas con muchos lazos débiles y agujeros estructurales cada vez mayores que menoscaban la confianza entre actores, muchos de ellos competidores o que existan actores que busquen posicionamientos centralizados para conseguir posiciones de control o poder. Es necesario, pues, diseñar una serie de mecanismos que eviten estas tendencias y que las tecnologías de la información y la comunicación pueden implantar de forma eficiente. Paradójicamente, estos mecanismos de control en la red tendrán el objetivo de evitar que la red

evolucione hacia tipologías centralizadas, jerarquizadas o abiertas para evitar precisamente que nadie dirija las RVFG. En el diagrama de bloques de la Figura 8 se incluye un modelo conceptual, basado en la tecnología multiagente, de lo que deberían incluir las tecnologías de la información y la comunicación en las RVFG para gestionar su dinámica, evitar posicionamientos de poder y fomentar la confianza entre sus actores.

Figura 8

Diagrama de bloques del modelo conceptual de TIC en las RVFG



Conclusiones

Los beneficios de las RVFG son indudables al constituir un sistema altamente flexible caracterizado por bajas barreras de entrada y salida, flexibilidad geográfica, bajos costes, muy rápida difusión tecnológica en la red, alta diversificación a través de los fabricantes subcontratados y excepcionales economías de escala. Por ello este tipo de organizaciones está creciendo cada vez con más auge en sectores como la automoción, ordenadores, aeronáutica o químico. Sin embargo, existen una serie de riesgos inherentes a este tipo de colaboraciones con competidores que deben evitarse para garantizar la supervivencia de la red. Los cuatro pilares descritos: estructura, cultura, estrategia y dinámica permiten estudiar de una manera ordenada todos los factores relevantes de este tipo de organizaciones y evitar problemas que menoscaben la eficiencia de las mismas. Las estructuras cerradas con muchos lazos fuertes entre sus actores evitan conductas oportunistas entre sus actores aunque reduce el potencial de innovación de estas redes. Las TIC pueden minimizar ese riesgo mediante aplicaciones que hagan más transparentes las conductas de sus actores. La estrategia sistémica

permite alcanzar un estado muy elevado de competitividad si se basa en la “cospecialización”, aunque es importante consolidar la confianza entre todos sus actores. La importancia de los cuatro mecanismos culturales descritos será fundamental para la supervivencia de la RVFG. Si los actores que forman estas organizaciones son capaces de vencer los riesgos inherentes de estas colaboraciones, las RVFGs tendrán un gran auge en los próximos años donde lo importante no serán los recursos fabriles internos que posean las empresas, sino la gestión de las relaciones con otros miembros de la red.

Referencias bibliográficas

- BARNETT, W.P. y MCKENDRICK, D.G. (2004). Why are some organizations more competitive than others? Evidence from a changing global market. En: *Administrative science quarterly*, Vol. 49, No. 4 (Dec., 2004), pp. 535-571
- BURT, R. (1992). *Structural holes: the social structure of competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- CAMARINHA-MATOS, L.M. *et al.* (2009). Collaborative networked organizations – Concepts and practice in manufacturing enterprises. En: *Computers & industrial engineering*.
- CHITUC, C.M.; TOSCAZO, C. y AZEVEDO, A. (2008). Interoperability in collaborative networks: independent and industry-specific initiatives – The case of the footwear industry. En: *Computers in industry*. 59 741–757.
- DOZ, Y.L. y HAMEL, G. (1998). *Alliance Advantage*. Harvard Business Press.
- GRANOVETTER, M. (1985). Economic action and social structure: the problem of embeddedness. En: *The american journal of sociology*, Vol. 91, No. 3, pp. 481-510.
- GULATI, R. (1995). Does familiarity breed trust? The implications of repeated ties for contractual choice in alliances. En: *The academy of management journal*, Vol. 38, No. 1.
- GUPTA, A.K. y GOVINDARAJAN, V. (2000). Knowledge flows within multinational corporations. En: *Strategic management journal*, Vol. 21, No. 4, abril, pp. 473-496.

- HOFSTEDE, G. *et al.* (1990). Measuring organizational cultures: a qualitative and quantitative study across twenty cases. En: *Administrative science quarterly*, Vol. 35, No. 2, june, pp. 286-316.
- LI, R.; YU, T. y FANG, M. (2004). The Reliability Management of Manufacturing Grid, CIMS and Robot Center, Shanghai University, Shanghai, China, Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2004, Toronto, Canada.
- LIU, Q. y SHI, Y.J. (2008). Grid manufacturing for cross-enterprise. En: *Int J Adv Manuf Technol* 36:205–212.
- LUO, Y. (2007). A competition perspective of MNC-host government relations. En: *Journal of international management*, vol. 10, n° 4, 2004, p. 431-451.
- NALEBUFF, B.J. y BRANDENBURGER, A.M. (1996). *La competition, une révolution dans la manière de jouer concurrence et cooperation*. París: Village Mondial.
- STURGEON, J. (2002). Modular production networks: a new American model of industrial organization. En: *Industrial and corporate change*, Volume 11, Number 3, pp. 451-496
- ZENG, M. y CHEN, X.P. 2003. Achieving cooperation in multiparty alliances: a social dilemma approach to partnership management. En: *The academy of management review*, Vol. 28, No. 4, pp. 587-605.

Diseño de un sistema de pronósticos de medicamentos para ítems clase A en una clínica de la ciudad de Cali

Mario Fernando Acosta Ríos

Universidad de San Buenaventura Cali. mfacosta@usbcali.edu.co

Raúl Antonio Díaz Pacheco

Docente Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
diazpa@gmail.com

El sector salud presenta similitudes desde el punto de vista empresarial frente a los otros sectores, en cuanto que deben ser competitivos y generar utilidades, para ello deben superar las expectativas de sus clientes diseñando estrategias y ventajas competitivas a los más bajos costos. A pesar de ello, para lograr esas metas existen marcadas diferencias en la formulación y ejecución de sus estrategias, debido a la naturaleza de los sectores y a los servicios que prestan, así como de los usuarios, por ende, tanto las herramientas como los modelos de gestión empresarial, para el logro de sus objetivos, requieren la consideración de variables específicas del sector para el gerenciamiento de los procesos a todo nivel.

El cumplimiento de las metas empresariales está determinado por la satisfacción del cliente, y desde el punto de vista de la logística, este nivel de servicio está determinado por el nivel de inventarios disponible, el cual presenta problemas de desbalanceo por varias razones a saber, entre otras:

- El costo unitario del ítem: medicamentos citostáticos y antibióticos son medicamentos altamente costosos y de baja rotación, pero no pueden faltar, en otras palabras, son ítems clase A de baja rotación que causan un impacto en el área financiera y en el servicio.
- Los medicamentos críticos: son aquellos que deben estar disponibles porque se requieren para atender urgencias donde se puede ver comprometida la vida o la motricidad del paciente, y de los cuales debe garantizarse un stock que conserve el equilibrio entre el servicio y los costos.
- Comportamiento de la demanda: debido a que la demanda de medicamentos está asociada al perfil epidemiológico de la región, se presenta una variabilidad compleja de predecir, y por lo tanto, de planear el aprovisionamiento y las políticas de inventarios.

Teniendo en cuenta estas principales variables entre otras que son características del sector salud, se define que los pasos a seguir son:

- Clasificación ABC del inventario: en vista que se trata de una amplia cantidad de ítems, se deben seleccionar los que causan un mayor impacto tanto en el servicio como en los niveles de inventarios.
- Pronósticos de demanda: una vez se seleccionen los ítems de mayor impacto con la clasificación del inventario, se procede a pronosticar la demanda de dichos ítems para analizar el comportamiento de la demanda y a su vez predecir el consumo de dichos ítems en el corto plazo.
- Política de inventarios: al pronosticar la demanda con el método más preciso, el paso a seguir es determinar la política de control que permita disponer del nivel de inventarios adecuado que conserve el equilibrio entre los costos y el nivel de servicio.

Aclarando la metodología a desarrollar, se resalta la importancia de aplicar técnicas de análisis de decisión en ambientes multicriterio (MCDA por sus siglas en inglés) que logren una mayor exactitud en los cálculos a realizar.

La relación entre los pasos a seguir y las técnicas a aplicar se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1
Relación entre los pasos a seguir y las técnicas a aplicar

Pasos	Técnica MCDA a aplicar
Clasificación del inventario	Clasificación ABC Multicriterio Tradicional
	Matriz de dos criterios de Flores
	Analityc Hierarchy Process (AHP)
	Optimización lineal ponderada de Ramanathan
	Optimización lineal ponderada alternativa de Wang Lu
	Redes Neuronales (Mapas autororganizativos de Kohonen)
Pronósticos de demanda	Promedio móvil simple para 3 periodos
	Suavización exponencial simple
	Suavización exponencial doble
	Redes neuronales multicapa
Política de inventarios	Cálculo de costos de ordenar y mantener
	Sistema (s,Q)

Luego de desarrollar los pasos mencionados se llegan a las siguientes conclusiones:

Siendo la clasificación ABC de vital importancia en el tema de la gestión de inventarios como punto de partida para un posterior diseño de la política adecuada de control y gestión que permita incrementar el nivel de servicio al cliente sin incurrir en mayores costos; se requiere que dicha clasificación cuente con criterios adicionales a los tradicionales para responder más acertadamente a la complejidad del mundo empresarial, máxime en el sector salud donde el volumen es un criterio importante, pero por ello no pueden desconocerse otros tales como criticidad, entre otros, los cuales son influyentes a la hora de concentrar esfuerzos de control y gestión en los ítems de mayor relevancia para la organización.

La clasificación ABC multicriterio aplicada en el presente proyecto para los ítems objeto de estudio, es una herramienta clave para el Tomador de decisiones (decisor maker, DM), ya que al tener en cuenta criterios adicionales a los tradicionales, arroja resultados clave para la posterior toma de decisiones.

Es de resaltar que, aunque las técnicas aplicadas al presente estudio clasifican más acertadamente los ítems del inventario que el método tradicional, entre estos métodos existen unos más robustos que otros; como por ejemplo, el mé-

todo de Wan Lung, el cual ofrece ventajas tales como: primero, es de muy fácil comprensión y aplicación por personal con poca experiencia en la modelación matemática; además, a diferencia del AHP, excluye el componente de subjetividad al asignar los pesos automáticamente.

La clasificación ABC basada en redes neuronales artificiales es igualmente valiosa que los demás métodos de clasificación, ya que mediante su aplicación se corroboró la consistencia entre los resultados arrojados por los diferentes métodos; pero requiere para su implementación conocimientos y experiencia en el tema, lo cual es poco común entre el personal encargado de la toma de decisiones.

Si bien es cierto que la selección de las redes neuronales artificiales cuenta con características que le otorgan una puntuación favorable frente a los demás sistemas de pronósticos como la habilidad para establecer relaciones no lineales en ambientes complejos, además de la adaptabilidad, el autoaprendizaje entre otras particularidades, es de anotar que esta técnica aún no se ha adoptado en su totalidad por el sector académico y empresarial como herramienta de pronósticos por varias razones, entre las cuales resaltan: que aún no se ha determinado un método para construir sistemáticamente una red acorde con el problema a abordar, así como el hecho que las redes requieren un entrenamiento para obtener resultados, y estos no siempre son igualmente satisfactorios para todos los casos.

El campo de investigación que se vislumbra en los temas abordados en el presente proyecto, es amplio e interesante para decidir continuar en la búsqueda y aporte al conocimiento en temas complejos, como respuesta a los problemas que aquejan al sector productivo para medir entre todos al incremento del nivel de competitividad empresarial y al desarrollo socioeconómico de la región y de la nación.

Referencias bibliográficas

- CHEN, Y. (2006). Multiple criteria decision analysis: classification problems and solutions. Depart-ment of Systems Design Engineering. Tesis doctoral. Canadá: University of Waterloo.
- CHENG, Ch. y WANG, J.Ch. (2008). Forecasting the number of outpatient visits using a new fuzzy time series based on weighted-transitional matrix. Expert Systems with Applications. Vol. 34 N°4 pp. 2568-2575.

- FLORES, B.E. y WHYBARK, D.C. (1987). Implementing multiple criteria ABC analysis. En: *Journal of operations management*. Vol. 7 N° 1. pp. 79-84. 1987.
- GARDNER Jr, E.S. (2006). Exponential smoothing: the state of the art. Part II. En: *International journal of forecasting*. Vol. 22, N° 4. pp. 637-666.
- GUOQIANG, Z.B. *et al.* Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. En: *International journal of forecasting*. Vol. 14 pp. 35–62. 1998.
- HILERA, J.R. y MARTÍNEZ, V.J. (1995). *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. Editorial RAMA.
- O'BRIEN PALLAS, L. *et al.* Forecasting models for human resources in health care. En: *Journal of advanced nursing*. Vol. 33 N° 1. pp. 120-129. 2001.
- PARTOVI, F y BURTON, J. (1993). Using the analytic hierarchy process for ABC analysis. En: *International journal of operations & production management*. Vol. 13 N° 9 pp. 29-44. 1993.
- RAMANATHAN, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weight linear optimization. En: *Computers and operations research*. Vol. 33 pp. 695–700.
- VIDAL, C. J. (2006). *Fundamentos de gestión de inventarios*. Cuarta edición. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- WAN LUNG, NG. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. En: *European journal of operational research*. Vol. 177 pp. 344–353. 2007.
- WANG, W. (2007). An adaptive predictor for dynamic system forecasting. En: *Mechanical systems and signal processing*. Vol. 21 N° 2 pp. 809-823. 2007.

La implementación del Balanced Scorecard en las pymes

Janneth Lorena Torres, MBA.

Profesora Asociada, Facultad de Ingenierías.
Universidad de San Buenaventura Cali

Resumen

Este artículo de revisión bibliográfica busca identificar la mejor implementación del *Balance Scorecard* en las pymes. Para esto se parte de conceptos generales, hasta llegar a la adecuada implementación del BSC en las pymes, las cuales varían según las características y necesidades de las empresas. A partir de dicha revisión se observó que una adecuada implementación del BSC contribuye a mejorar la satisfacción de los clientes y la rentabilidad de las empresas. Los principales obstáculos para la implementación del BSC en las empresas es la cultura de la organización y la inadecuada estructuración de los procesos.

Palabras clave: Balanced Scorecard, pymes.

Introducción

Una de las herramientas más útiles para establecer el direccionamiento estratégico de las compañías es el Balanced Scorecard (conocido como cuadro de mando integral).

El Balanced Scorecard es una herramienta introducida en 1990 por Kaplan y Norton, se basa en la identificación de los indicadores de gestión, que se clasifican en cuatro dimensiones: financiera, enfoque al cliente, procesos internos y aprendizaje e innovación.

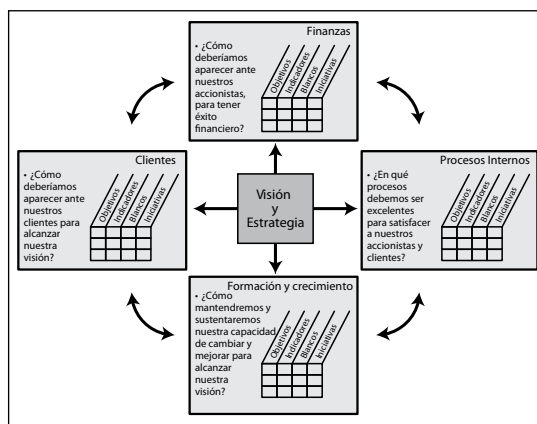
Los indicadores deben ser coherentes con la misión y visión de la compañía y deben tener claramente definidos los objetivos y estrategias para llevarlos a cabo. En la Figura 1 se muestra claramente el Balanced Scorecard desarrollado por Kaplan y Norton.

Antes de la introducción del Balance Scorecard, las organizaciones dependían de las mediciones financieras para evaluar su rendimiento, el problema era que estas mediciones financieras no evaluaban realmente el direccionamiento estratégico de la compañía.

Las pymes y la planeación estratégica

Las herramientas tradicionales de planeación estratégica son diseñadas para las necesidades de los negocios sin considerar los retos de las pymes (Carlock & Ward, 2007). Por tanto en aras de adecuar el Balance Scorecard para ser utilizado por las empresas pymes, es importante analizar cómo se comportan estos.

Figura 1
Diagrama del cuadro de mando integral



Fuente: Kaplan & Norton

Cuando se trata de pymes es fundamental comprender la importancia de la planeación estratégica. La continuidad de los negocios y el plan estratégico deben desarrollarse paralelamente, de esta forma se asegura que el negocio puede estar en capacidad de explorar nuevas oportunidades (Amaratunga, *et al.*, 2001).

Un aspecto fundamental es desarrollar a los directivos de las pymes como líderes efectivos y creadores de conocimiento.

Metodología

La estrategia seleccionada para llevar a cabo esta investigación, fue de tipo analítico. La metodología adoptada consiste en una revisión de literatura de estudios sobre el Balanced Scorecard aplicada a las pymes. El propósito de esta exploración es:

- Determinar cómo se puede realizar la interacción entre el Balanced Scorecard con las pymes.
- Seleccionar los aspectos de la forma de operación de las pymes que puedan llegar a tener mayor impacto en las perspectivas del Balanced Scorecard.

Presentación y discusión de resultados

A continuación se presentan las modificaciones al Balanced Scorecard de las cuatro perspectivas:

Incluyendo la dimensión pymes al Balanced Scorecard

Con el fin de realizar una adecuada implementación del Balance Scorecard con enfoque a las pymes es esencial incluir el enfoque estratégico a sus respectivas perspectivas. Lo anterior se puede resumir así:

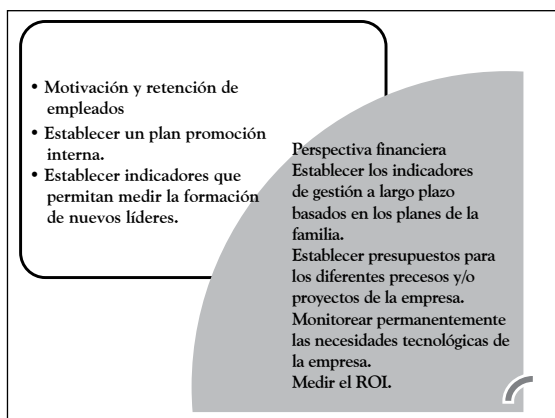
Perspectiva financiera:

Se pueden encontrar muchas diferencias entre pymes y grandes empresas. Una de las principales diferencias es que en las pymes los presupuestos e indicadores anuales no son tan importantes como en las no-pymes, debido a que como hemos mencionado anteriormente, su visión es a largo plazo.

Otro aspecto financiero importante es la percepción de las pymes hacia los préstamos. Las pymes no tienden a adquirir préstamos, lo cual es una buena estrategia en algunos casos, pero algunas veces esto podría ser una debilidad estratégica en caso de que la empresa necesite mejorar sus procesos internos tecnológicamente (Craig & Moores, 2005).

En la Figura 2 se puede observar la perspectiva financiera del *Balance Scorecard* para pymes.

Figura 2
Perspectiva financiera

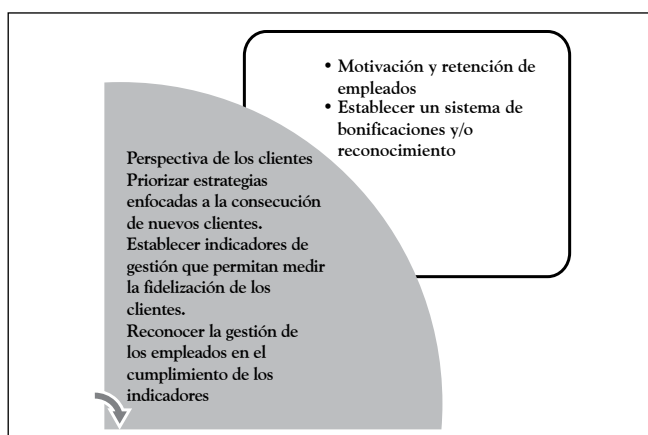


Perspectiva de los clientes

La percepción de los clientes hacia las pymes les da una ventaja competitiva hacia otros negocios, el inconveniente en esta perspectiva es que las pymes tienden a mantener viejos clientes pero les cuesta empezar nuevas relaciones.

Por tanto es importante priorizar las estrategias enfocadas a la consecución de nuevos clientes y a la medición de la fidelización de estos. En la Figura 3 se puede observar la perspectiva de los clientes del Balance Scorecard para pymes.

Figura 3
Perspectiva de los clientes

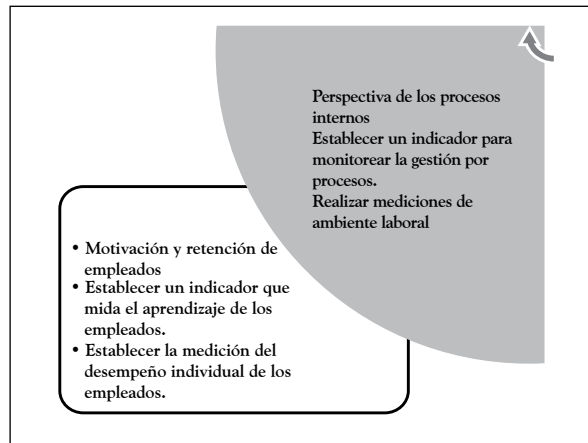


Perspectiva de los procesos internos

El principal enfoque de esta perspectiva es la innovación. Por tanto esta perspectiva representa un reto para las pymes debido a que estas tratan de mantener su estabilidad evitando el riesgo. Es esencial integrar las necesidades de los procesos internos con las necesidades y visión de la gerencia, con el fin de ayudar a estas empresas a sobrevivir y prosperar. Como se mencionó anteriormente el miedo al cambio es lo que genera que las empresas familiares no crezcan.

En la Figura 4 se puede observar la perspectiva de los procesos internos del Balance Scorecard para pymes.

Figura 4
Perspectiva de los procesos internos



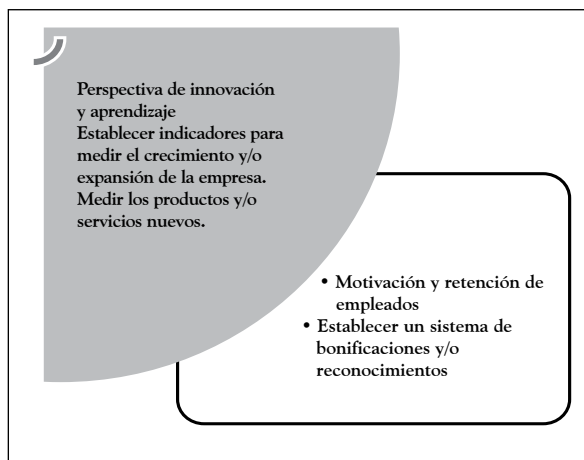
Perspectiva de innovación y aprendizaje

Este es el mayor factor de éxito en los negocios actualmente. Las organizaciones más exitosas tienen una cultura de innovación y desarrollo, la cual les permite afrontar efectivamente los cambios del mercado.

En esta perspectiva se puede integrar otro aspecto que tiene que ver con el desarrollo de profesionales con el fin de posicionarlos posteriormente en cargos directivos. Una recomendación podría ser contratar asesores gerenciales que colaboren en el desarrollo de las habilidades gerenciales de los directivos de las pymes.

En la Figura 5 se puede observar la perspectiva de innovación y aprendizaje del Balance Scorecard para pymes.

Figura 5
Perspectiva de innovación y aprendizaje



Incluyendo aspectos motivacionales al Balance Scorecard

La motivación de los empleados y por tanto la retención de estos, han sido identificados como factores críticos de éxito en cualquier organización. Actualmente muchas organizaciones han integrado la retención de sus empleados a su plan estratégico.

La motivación juega un papel importante en los individuos y en el rendimiento de las empresas. Un buen empleado bien entrenado no es tan eficiente si no está motivado” (Porter & Steers, 1983).

Por tanto se considera esencial integrar al Balanced Scorecard componentes relacionados con la motivación, tales como:

- Establecer un sistema de bonificaciones o reconocimientos.
- Establecer la medición del desempeño individual de los empleados: estas mediciones pueden ser consideradas como una herramienta de retroalimentación entre los directivos y los empleados.
- Establecer un indicador que mida el aprendizaje de los empleados.
- Establecer un plan de promoción interna.
- Establecer indicadores que permitan medir la formación de nuevos líderes.

Conclusiones

Uno de los grandes aportes del Balance Scorecard es que puede ayudar a tomar decisiones gerenciales traduciendo las estrategias a largo plazo en estrategias a corto plazo.

- **Perspectiva financiera:** las pymes deben promover la elaboración de presupuestos y establecer mediciones a corto y largo plazo.
- **Perspectiva de los procesos internos:** la importancia de esta perspectiva para las pymes es desarrollar habilidades gerenciales para los directivos.
- **Perspectiva de los clientes:** esta es una de las principales ventajas de las pymes, por tanto se debe explotar esta fortaleza preparando a la empresa para una expansión y por tanto para la consecución de nuevos clientes.
- **Perspectiva de innovación y aprendizaje:** desarrollando y profesionalizando el recurso humano, se preparara a la organización para la innovación y la gestión del conocimiento.

Referencias bibliográficas

- AMARATUNGA, D.; BALDRY, D. and SARSHAR, M. (2001) Process improvement through performance measurement, *Work study*, 50:5, 179-188.
- CARLOCK, R. y WARD, J. (2001) Strategic planning for the family business: parallel planning to unify the family and business, Palgrave, Basingstoke.
- CRAIG, J. y MOORES, K. (2005) Balanced Scorecard to drive the Strategic Planning of Family Firms. En: *Family business review*, XVIII: 2, 105-122.
- KAPLAN, R y NORTON, D. (1992). "The Balanced Scorecard - Measures That Drive Performance", *Harvard Business Review*, 70:1,71-79.
- PORTER, L. y STEERS, R. (1983). *Motivation and work behaviour* (3rd edn). McGraw Hill.

Caso exitoso: aplicación de la metodología Taguchi en la mejora de la calidad del ácido cítrico

**Reseña por Mario Bravo Castillo
Armando Mejía Giraldo**

Profesores Asociados, Programa de Ingeniería Industrial
Universidad de San Buenaventura Cali

Genichi Taguchi es uno de los pensadores del concepto de calidad que ha hecho importantes aportes para el desarrollo de lo que se conoce como ingeniería de valor, reconocido por sus aportes en las metodologías para optimizar la calidad en la etapa de diseño (diseño robusto) y por la formulación de la función de pérdida de calidad. Ha ganado el premio Deming y otros por sus aportes en este campo.

Genichi Taguchi considera que la pérdida de calidad debe considerarse durante todo el camino hasta el cliente, incluyendo el costo de desechos, reprocesos, el tiempo de inactividad, los reclamos de garantía, lo que finalmente impactará la promesa de valor al mercado.

La función de la pérdida de calidad da un valor financiero de la insatisfacción de los clientes cada vez que el rendimiento del producto está por debajo del rendimiento deseado.

Los métodos de Taguchi hacen hincapié en la calidad a través de un diseño robusto, no la calidad mediante la inspección. Propone el proceso de diseño en tres etapas:

1. El diseño del sistema: implica la creación de un prototipo de trabajo.
2. Reconocer los parámetros de diseño: consiste mediante el diseño de experimentos encontrar qué factores influyen en el rendimiento del producto.
3. Diseño de la tolerancia: consiste en fijar límites estrictos de tolerancia para los factores críticos y más flexibles a los límites de tolerancia de los factores menos importantes.

El diseñador puede centrarse en la reducción de la variación de los factores importantes o críticos. Los factores que tienen un impacto insignificante en el rendimiento del producto pueden ser ignorados.

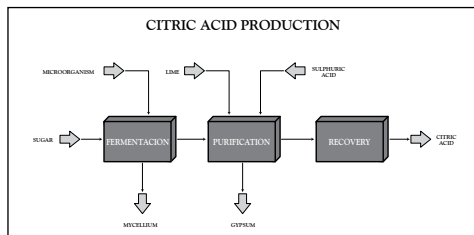
Taguchi divide los factores que afectan a cualquier sistema en dos categorías: los factores de control y los factores de ruido. Factores de control son aquellos que perturban a un sistema y se configuran y controlan fácilmente por el experimentador. Por ejemplo, si en un proceso químico el tiempo de reacción resulta ser un factor que afecta el rendimiento, este factor es un factor de control, ya que puede ser fácilmente manipulado por el experimentador como ente decisorio. El experimentador se enfoca en elegir el ajuste del tiempo de reacción que maximiza el rendimiento. Los factores de ruido son factores que afectan a un sistema que son difíciles o imposibles de controlar.

Por ejemplo, la temperatura ambiente puede tener un efecto sobre el rendimiento de un proceso químico, y puede ser un factor de ruido, si está fuera del control del experimentador. Por lo tanto, el cambio en la temperatura ambiente dará lugar a variaciones en el rendimiento, pero estas variaciones no son deseables. Y ya que el investigador no tiene control alguno sobre los cambios en la temperatura ambiente, se necesita encontrar un ajuste en el tiempo de reacción en la que hay una variación mínima de rendimiento debido al cambio en la temperatura ambiente, es decir, hallar un diseño robusto.

El ácido cítrico es un producto importante a nivel industrial y la tendencia creciente en su uso mantiene un aumento anual de 2.3 %. La demanda de esta particular materia prima está aumentando día a día, lo cual requiere unos procesos mucho más eficientes no sólo en rendimiento sino también en calidad.

En Colombia, la única empresa que fabrica el producto es Sucromiles S.A., ubicada en la recta Cali – Palmira, en un proceso que consta de tres etapas principales: Fermentación, Purificación, Recuperación (Ver diagrama en la Figura 1).

Figura 1
Diagrama esquemático del proceso de producción de ácido cítrico



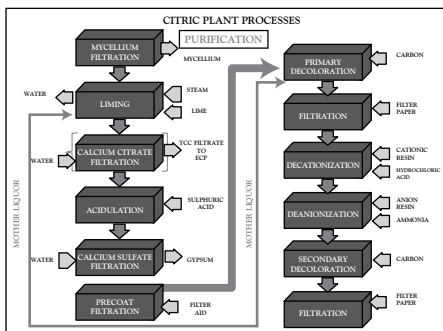
Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

El ácido cítrico es obtenido principalmente en la industria mediante un proceso biotecnológico, gracias a la fermentación de azúcares como la sacarosa o la glucosa, realizada por un microorganismo llamado aspergillus niger (Ver Figura 2).

El proceso de obtención tiene varias fases como la preparación del sustrato de melaza, la fermentación aeróbica de la sacarosa por el aspergillus, la separación del ácido cítrico del sustrato por precipitación al añadir hidróxido de calcio o cal apagada para formar citrato de calcio. Después se añade ácido sulfúrico para descomponer el citrato de calcio.

La eliminación de impurezas se realiza con carbón activado o resinas de intercambio iónico, se continúa con la cristalización del ácido cítrico, el secado o deshidratación y el emvasado del producto, el cual, es usado en las industrias de gaseosas, de refrescos en polvo y farmacéutica (Ver Figura 2).

Figura 2
Diagrama de flujo del proceso productivo en la planta de ácido cítrico de la Industria Sucromiles S.A.



Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

En la conferencia se desarrolla la aplicación del Método Taguchi al mejoramiento de la calidad en la producción de ácido cítrico en la industria Sucromiles S.A. para reducir el contenido de carbonizables en el producto terminado mediante la aplicación de diseño de experimentos donde se combinan cuatro factores: flujo de agua (l/h), temperatura del agua en grados centígrados, espesor torta en cm y velocidad tela en Hz, y como etapa clave se considera la filtración del Citrato Tricálcico; esta aplicación constituye un interesante aporte, que nos muestra el potencial de estos métodos al mejoramiento continuo de los resultados de todo tipo de industrias. El caso aplicado se presentó con las siguientes especificaciones:

Proyecto: “Mejoramiento de la calidad del ácido cítrico”.

Objetivo: reducir el contenido de carbonizables del producto terminado

Etapla clave: Filtración de Citrato Tricálcico.

De acuerdo con los parámetros de la función de pérdida desarrollada por Genichi Taguchi, se tiene que:

$$L = k (Y-m)^2$$

Donde:

L = Es el dinero que se pierde

K = Es una constante

m = La especificación del parámetro

Y = Es la medición real del parámetro

$(Y-m)$ = Es la desviación $y < LSE$; $y > LIE$

Esta función castiga cualquier desviación del valor nominal, incluso las pequeñas. El Ingeniero Fernando Montaña aclara que: “Esto se desvía del pensamiento tradicional que impone penalidades sólo a los casos en que se está fuera de las especificaciones (superior/inferior) y es consistente con el concepto de mejora continua (Deming)”.

Entonces, en la filosofía de Taguchi se consideran tres etapas en el desarrollo de un producto o proceso:

1. Diseño del sistema.

2. Diseño de parámetros.

3. Diseño tolerancias.

En el diseño del sistema se emplean los conocimientos científicos y de ingeniería para determinar una configuración básica.

El diseño de parámetros determina los valores específicos de los componentes del sistema.

El diseño de tolerancias determina la tolerancia de los parámetros.

Medidas de la relación S/N (señal/ruido)

Las expresiones de la relación S/N se deducen a partir de la función cuadrática de pérdida. Tres de ellas se consideran estándar y ampliamente aplicables. Situaciones:

1. Cuando el valor nominal es lo mejor.
2. Cuando lo mejor es una respuesta grande.
3. Cuando lo mejor es una respuesta pequeña.

Se expresan en dB Los niveles óptimos de los factores son aquellos que maximizan la relación S/N. En el Cuadro 1 aparecen las relaciones S/N utilizadas.

Cuadro 1
Relaciones S/N utilizadas en el experimento

DISEÑO ROBUSTO - METODOLOGÍA TAGUCHI	
Relaciones señal a ruido (S/N) utilizadas:	
1) Nominal lo mejor	$SN_t = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right)$
2) Más grande lo mejor	$SN_L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$
3) Más pequeño lo mejor	$SN_s = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

Para analizar los datos Taguchi recomienda:

1. Analizar el valor medio de la respuesta para cada experimento.
2. Analizar la variación empleando una razón de señal/ruido.

Algunas limitaciones de este método hacen referencia a la calidad y disponibilidad de los datos de proceso y la comprensión del sistema de causas subyacentes, las bases de datos diseñadas podrían no enfocarse en la generación de información para la mejora de los procesos, lo cual, no permitiría hacer análisis de homogeneidad y variabilidad en los outputs de los procesos, resultando en posibles dificultades para la aplicación de la técnica Taguchi.

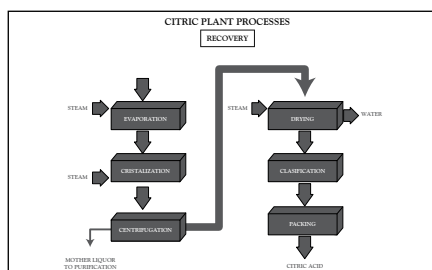
La aplicación de la metodología Taguchi implicó las siguientes etapas:

- Identificación del problema.
- Sesión(es) de lluvia de ideas.
- El diseño experimental.
- La experimentación.
- El análisis.
- El experimento confirmatorio.

Como se planteó, la etapa clave es la filtración del citrato tricálcico (Ver Figuras 3 y 4).

Figura 3

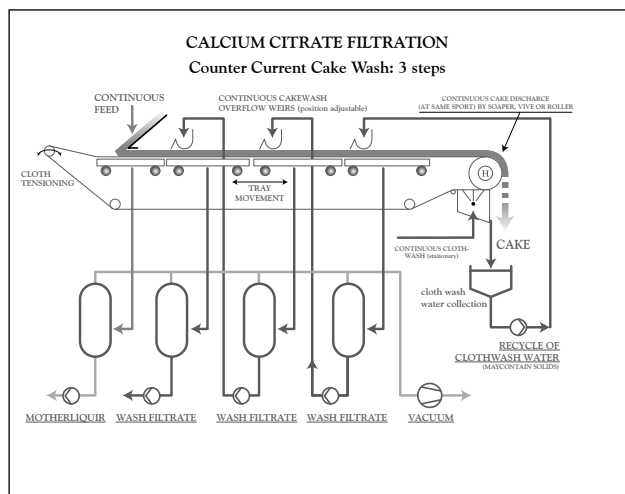
Diagrama de flujo etapa de recuperación del proceso productivo en la planta de ácido cítrico de la Industria Sucromiles S.A.



Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso a contracorriente de filtración de citrato tricálcico en la producción de ácido cítrico



Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

En la Tabla 1 aparecen los factores tenidos en cuenta para la aplicación del método de Taguchi.

Tabla 1

Factores y niveles aplicados con el método Taguchi para el proyecto:
Mejoramiento de la calidad del ácido cítrico

Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
A. Flujo Agua (l/h)	3000	1000	5000
B. Temp. Agua (oC)	50	40	30
C. Espesor Torta (cm)	2	3	4
D. Velocidad tela (Hz)	30	35	40

Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

La función a maximizar fue: $Np = -10 \log (\text{Sumatoria } Y_i^2 / n)$.

En la Tabla 2 aparecen los experimentos y resultados obtenidos.

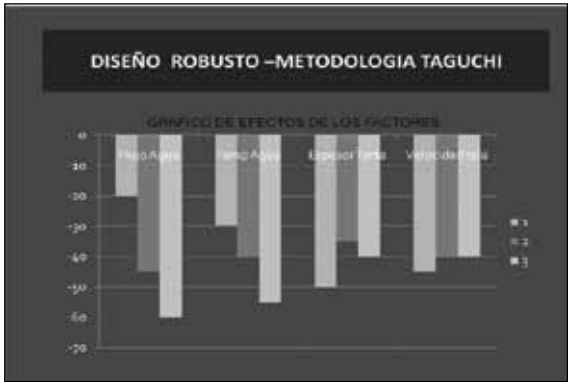
Tabla 2
Diseño experimental y resultados del experimento

OBS #	A	B	C	D	Np i
1	1	1	1	1	-20
2	1	2	2	2	-10
3	1	3	3	3	-30
4	2	1	2	3	-25
5	2	2	3	1	-45
6	2	3	1	2	-65
7	3	1	3	2	-45
8	3	2	1		-65
9	3	3	2	1	-70

Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

En la Figura 5 se puede observar el efecto de los factores flujo de agua, temperatura del agua, espesor de torta y velocidad tela.

Figura 5
Gráfico de efectos de los factores

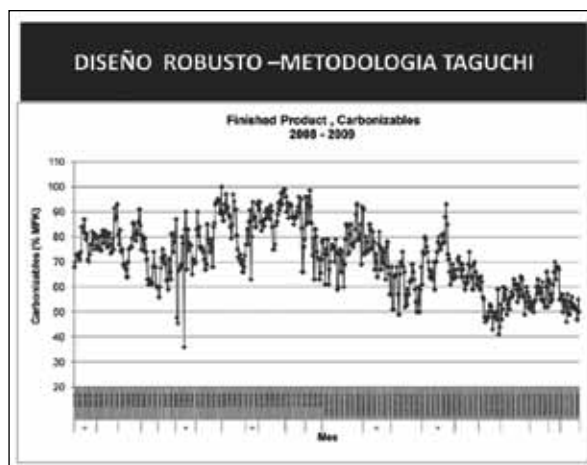


Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.)

Finalmente, en la Figura 6 se puede apreciar el mejoramiento de la cantidad de carbonizables en el producto terminado y cómo este parámetro de calidad logra reducirse a niveles aceptables.

Figura 6

Gráfico de comportamiento del % de carbonizables en producto terminado durante los años 2008 – 2009



Fuente: Ingeniero Fernando Montaña, Sucromiles S.A.

Conclusión

Se puede concluir a partir de la información suministrada por el conferencista, entre otros aspectos, que el mayor aporte de Taguchi fue considerar la variabilidad como un indicador de calidad. Por otra parte, que generalmente en la optimización de procesos se consideraba maximizar o minimizar determinada función objetivo para lograr el mejoramiento; en este caso presentado y como lo considera Taguchi, se puede optimizar el proceso no sólo maximizando o minimizando la función objetivo sino también disminuyendo la variabilidad del proceso.

Conferencia ofrecida por el Ingeniero Fernando Montaña.
Superintendente Planta de Acido Cítrico, Sucromiles S.A. - Cali

Este libro recoge publicaciones y reseñas en las cuales se basaron algunas de las conferencias del *II Seminario Internacional Sistemas Avanzados de Gestión: Herramientas de Ingeniería Industrial para la Innovación y el Mejoramiento*, que representa el espacio necesario en el cual se contextualizan y validan las diferentes tendencias relacionadas con la gestión estratégica de las organizaciones.

De esta manera se hace énfasis en la importancia de la aplicación de la investigación de operaciones a problemas dentro de una organización para permitir la toma de decisiones acertadas como soluciones convenientes o favorables.

También se destaca que en la actualidad la innovación, el diseño y el desarrollo de nuevos productos y servicios es factor primordial para el éxito; por esta razón, las grandes empresas se están preocupando por invertir más en la investigación y desarrollo y, aún las pymes lo están tratando de hacer mediante estrategias asociativas a través de la creación de centros de innovación en aras de capitalizar la relación universidad-empresa-Estado.



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
SECCIONAL CALI**

La Umbría, carretera a Pance
PBX: 318 22 00 - 488 22 22
Fax: 555 20 06 - A.A. 7154 y 25162
www.usbcali.edu.co

ISBN: 978-958-8436-83-8



9 789588 436838