

Manufactura biológica e inteligente: atributos de la vida aplicados al desarrollo tecnológico

Biological and intelligent manufacturing: human life-skills applied to technological development

Claudia Nelcy Jiménez Hernández¹, Oscar Fernando Castellanos Domínguez² y Luz Alexandra Montoya Restrepo⁵

RESUMEN

Los entornos altamente dinámicos caracterizados por el predominio del conocimiento como motor del desarrollo hacen que sea necesario abordar problemáticas específicas a través de enfoques multidisciplinarios. En este orden de ideas, mediante la imitación del comportamiento de los seres vivos se han generado técnicas y herramientas aplicadas en contextos como los tecnológicos y productivos para incrementar la eficiencia y la capacidad de respuesta. Este artículo presenta los resultados de una investigación efectuada mediante la aplicación de técnicas cuantitativas y de vigilancia tecnológica, con el fin de evidenciar el impacto que los conceptos y fundamentos de las ciencias de la vida han tenido sobre el desarrollo tecnológico y su gestión. De esta manera se encontró que dicho impacto se ha reflejado principalmente en la generación de conceptos y aplicaciones a temas como la manufactura inteligente, los sistemas biológicos de fabricación, la manufactura holónica y biónica, otorgando atributos de adaptación, autoaprendizaje, flexibilidad y capacidad de evolución a los procesos de fabricación y de manejo de información, lo cual permite concluir que la gestión del factor tecnológico se ha fortalecido con base en campos como el biológico, con repercusiones directas en los procesos productivos.

Palabras clave: sistemas biológicos de fabricación, manufactura inteligente, desarrollo tecnológico, gestión tecnológica, cuantimetría.

ABSTRACT

Highly competitive settings, characterised by development being promoting by the predominance of knowledge, means that multidisciplinary approaches must be adopted for dealing with specific problems. Indeed, techniques and tools have been created by imitating human beings' behaviour and applying them to productive and technological contexts to increase efficiency and enable a quick response. This paper deals with this topic and presents the results of scientometric- and technological surveillance-based research for revealing life sciences' impact on technological development and its management. It was found that such impact has been mainly reflected in producing concepts and applications for topics such as intelligent manufacturing, biological manufacturing systems and holonic and bionic manufacturing, thereby providing manufacturing and information management with human attributes such as adaptation, self-learning, flexibility and the ability to evolve. It may thus be concluded that technological factor management has been strengthened, based on fields such as biology, thereby leading to direct outcomes regarding production.

Keywords: biological manufacturing system, intelligent manufacturing, technological development, technology management, scientometrics.

Recibido: octubre 6 de 2008

Aceptado: junio 16 de 2009

Introducción

El desarrollo tecnológico como concepto y proceso impulsor de la competitividad ha venido evolucionando en la medida en que se han fortalecido las actividades de investigación y desarrollo - I&D, así como la innovación, al enfrentarse e involucrar tecnologías de avanzada como las llamadas tecnologías de información y comunicación —TIC—, la nanotecnología y la biotecnología. En búsqueda

de dinamizar este concepto, la literatura refleja cómo el factor tecnológico ha ido adquiriendo una importancia estratégica, y en años recientes se han identificado nuevas perspectivas orientadas a la inclusión de aportes de campos como la biología en su desarrollo y gestión.

Autores como Lichtenthaler (2003) y Chiaromonte (2004) señalan que en la década de los años noventa se evidenció la integración de la tecnología con las estrategias de I&D en la organización, me-

¹ Ingeniera química y Magíster en Administración, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Profesora, Escuela de Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Investigadora, Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad, BioGestión. cnjimenezh@unal.edu.co

² Ingeniero químico. M.Sc., en Ciencias Técnicas. Magíster en Administración. Ph.D., en Química, Universidad Estatal de Moscú, Rusia. Estudios posdoctorales, en Biotecnología de enzimas, Rusia. Director, Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad, BioGestión. Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. ofcastellanosd@unal.edu.co

³ Administradora de Empresas, Magíster en Administración y candidata a Ph.D., en Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia. Profesora, Escuela de Administración y Contaduría Pública, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Investigadora, Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad, BioGestión. lamontoyar@unal.edu.co

dianter la decisión conjunta entre la gerencia corporativa y la gerencia tecnológica respecto a metas, estrategias, contenidos y presupuestos de la actividad de la I&D en el corto, mediano y largo plazo. Además, a través de la planeación tecnológica se logró la articulación de la tecnología y el mercado, en donde la falta de conocimiento sobre este último en el largo plazo se compensó con el proceso de integración de las necesidades de innovación existentes y con la exploración de nuevos mercados. En este sentido, ya desde hace casi dos décadas autores como Steel (1991) mencionaban la importancia de la I&D y su orientación al mercado como función dependiente de la estructura del sistema productivo y su entorno económico, de los sectores y de la tecnología.

Los sistemas productivos fortalecieron su capacidad de aprendizaje a partir de la planeación tecnológica y la disponibilidad de recursos, basada en la descentralización de la toma de decisiones con la participación del personal de diferentes niveles. En este contexto, la gestión tecnológica se ha enfocado recientemente en la adquisición y difusión de conocimiento, más allá de la obtención o desarrollo de tecnología por sí misma, lo cual se había constituido en su principal aporte hasta hace unos diez años atrás (Chiaromonte, 2004; Jiménez *et al.*, 2007). Actualmente el conocimiento es considerado como impulsor de la productividad y el desarrollo económico, por lo cual resulta muy interesante definir el papel de la información, la tecnología y el aprendizaje en la economía, lo que a su vez ha llevado a hablar de la economía basada en el conocimiento (OCDE, 1996). Por lo anterior, la gestión de la información y su transformación en conocimiento útil para la empresa se han constituido en tareas fundamentales. De esta forma, se han involucrado nuevos conceptos en los procesos de manejo de la variable tecnológica, y se ha buscado la implementación de metodologías como el *benchmarking*, la prospectiva tecnológica, el mapeo y la vigilancia tecnológica, entre otras, buscando cada vez más que la información sea manejada de forma óptima y genere conocimiento como base para la toma de decisiones (Castellanos y Jiménez, 2004).

Adicionalmente, en lo que Savage (1996) ha identificado como el paso de las organizaciones productivas de la era industrial a la era del conocimiento, estas han tenido que enfrentarse cada vez con mayor frecuencia a las dinámicas cambiantes del entorno, evidenciando la necesidad de una evolución permanente para sobrevivir. En este contexto, en lo que se ha denominado como *el paradigma del cambio constante* (Jiménez y Castellanos, 2009), el proceso de desarrollo tecnológico y su gestión deben continuar fortaleciéndose para hacer frente a los desafíos crecientes, recurriendo a herramientas que faciliten su adaptación y respuesta rápida.

En este artículo se ausculta y analiza el impacto sobre el desarrollo tecnológico de conceptos evolutivos y adaptativos implicados en la manufactura y el procesamiento de información. Esta clase de enfoques se han planteado desde la interdisciplinariedad, que para el fin de la presente investigación se apropiarán principalmente desde la perspectiva de los métodos de procesamiento biológico (Ortiz y Rojas, 1998).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se hizo un estudio de vigilancia tecnológica⁴ a partir de la información disponible en bases de datos de artículos técnicos y científicos, consultadas en el Sis-

⁴ El desarrollo de la vigilancia tecnológica se basa en la aplicación de técnicas cuantitativas y estadísticas para analizar registros de documentos (generalmente artículos científicos y patentes) con el fin de determinar tendencias en investigación científica y desarrollo tecnológico.

tema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia – Sinab (se tomó como referente la base *ScienceDirect*, cuyo acervo es de 2.000 revistas), así como en la base de datos de patentes *PatentScope*, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI. El procedimiento para efectuar este análisis se inicia con la definición de ecuaciones de búsqueda que contienen las palabras más representativas sobre el tema de interés, su introducción a la base de datos seleccionada, la descarga y depuración de los registros encontrados que cumplen con los criterios de búsqueda, y la manipulación de tales registros mediante conteos y otras técnicas cuantitativas (Vargas y Castellanos, 2005).

Se analizaron los registros disponibles entre 1996 y 2009 en las bases de datos mencionadas, obtenidos mediante búsquedas que relacionaban términos como autoorganización, autoaprendizaje, evolución, inteligencia, computación biológica y desarrollo tecnológico. De esta manera, y luego de algunas depuraciones para asegurar que la información obtenida era pertinente para este estudio, los registros seleccionados fueron procesados mediante la generación de indicadores de actividad y relacionales, usando los programas Excel, SPSS y RefViz. Por su parte, para seleccionar y analizar los registros de la base de datos de patentes de la OMPI, se efectuaron búsquedas asociadas a las temáticas principales de los artículos científicos y técnicos examinados previamente, que como se verá a continuación, giraron en torno a la manufactura biológica e inteligente.

Resultados

Como fue indicado en la metodología, se consultaron dos tipos de fuentes: artículos científicos y técnicos, y patentes. En el caso de los artículos analizados, se presentan inicialmente los resultados del análisis a través de indicadores de actividad, en donde, mediante conteo de frecuencias, se identificaron las revistas y autores más destacados, así como las temáticas más importantes abordadas en dichos artículos. Posteriormente se muestra un análisis relacional, para lo cual se generaron mapas tecnológicos que permiten visualizar la relación entre palabras claves de manera gráfica. Por su parte, los resultados del análisis de patentes se basan en indicadores de frecuencia para identificar dinámicas de publicación, áreas tecnológicas principales y titulares de las patentes.

Análisis de artículos científicos y técnicos

Al realizar las búsquedas descritas en la metodología, se encontraron en total 856 registros de artículos científicos y técnicos relacionados con los atributos de la vida en el desarrollo tecnológico. En la Figura 1 se muestran las revistas más relevantes, es decir, aquellas que contienen la mayor cantidad de artículos. Puede observarse que las temáticas de dichas publicaciones se asocian principalmente a la investigación de operaciones, la computación aplicada a la industria y la manufactura inteligente. Cabe resaltar que en el año 2002 se presentó la mayor cantidad de artículos divulgados en una sola revista —IEEE, *Intelligent System and Their Applications*—, cuya edición de tal año tuvo énfasis en la relación entre las ciencias de la computación y la biología.

Las temáticas principales de los artículos analizados giran en torno a la aplicación de conceptos biológicos y de técnicas denominadas inteligentes en la fabricación de bienes, lo cual incluye el empleo de procedimientos y modelos como los algoritmos genéticos y las redes neuronales artificiales en procesos de manufactura.

En este sentido, los resultados de las investigaciones reportadas que abordan el tema de algoritmos genéticos se orientan a su uso para optimizar procesos de manufactura, planeación y programa-

ción de la producción, presentándose una tendencia marcada hacia el diseño de sistemas de manufactura celular. Dichos sistemas corresponden a un nuevo enfoque de la manufactura que se caracteriza por agrupar las máquinas de tal forma que una familia de productos pueda ser procesada en un mismo conglomerado o célula. De esta manera el algoritmo genético es utilizado para reducir al mínimo los movimientos, definir la secuencia de las operaciones, y establecer el tamaño máximo de la célula, entre otras aplicaciones. De otro lado, los trabajos sobre la aplicación de redes neuronales tratan sobre el diseño y optimización de los sistemas de manufactura que tienen características de tipo biológico, así como sobre el control de calidad en procesos, específicamente la detección de defectos en la manufactura.

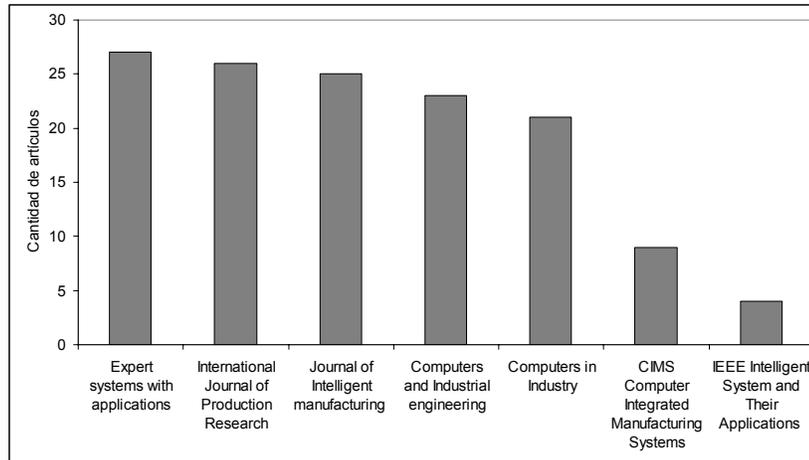


Figura 1. Revistas más importantes sobre el tema de aplicación de atributos de la vida al desarrollo tecnológico

Fuente: Análisis en Excel con base en información de las bases de datos de artículos *Scopus* y *ScienceDirect*, accesibles a través de la Universidad Nacional de Colombia. Periodo: ene./96-abr./09.

Respecto a los investigadores e instituciones más destacados, la Universidad de Kobe en Japón, a la cual pertenecen los autores Ueda, Fujii, Ohkura, Vaario y Hatono (quienes tienen la mayor cantidad de registros sobre la temática analizada), ha desarrollado varios trabajos que se orientan a los *sistemas biológicos de fabricación*, cuyo modelamiento se inspira en el comportamiento, atributos y estructuras de los organismos vivos. Estos sistemas se caracterizan por su habilidad para actuar espontáneamente, por su autonomía, adaptabilidad, aprendizaje y cooperación. Las investigaciones más relevantes en esta temática fueron llevadas a cabo por Ueda (1998), Ueda et al. (1997; 2000; 2001; 2002; 2007), Fujii et al. (2003; 2004), Ohkura y Ueda (1996), Vaario et al. (1996a; 1996b; 1997) y Vaario y Ueda (1998).

Precisamente con relación a lo anterior, en Japón se ha creado un grupo integrado por las firmas Fuji, Fujitsu, Honda, Komatsu, Sony, y las Universidades de Kobe y Kyoto, que lidera un proyecto sobre sistemas biológicos de fabricación, con el objetivo de investigar la utilidad de imitar, dentro de un sistema de manufactura, la autoorganización y la optimización evolutiva de un sistema biológico. En este proyecto el sistema de manufactura se toma como un organismo que puede responder a estímulos externos y crear productos, y que además contiene "información genética" que lo describe (Mill y Sherlock, 2000).

Por su parte, Tharumarajah, Wells y Nemes, quienes también aparecen dentro de los autores que más han publicado en el tema analizado, pertenecen a la división *Manufacturing Science & Technology*, de la *Commonwealth Scientific and Industrial Research*

Organisation —CSIRO—, en Australia. Estos investigadores efectuaron varios trabajos (Tharumarajah et al., 1996; 1998; Tharumarajah, 2003) alrededor de diversos tipos de manufactura relacionados con conceptos biológicos, específicamente con características de adaptabilidad y flexibilidad, proponiendo términos como *manufactura biónica*, *manufactura holónica*, concepto que se basa en la cooperación de entidades autónomas⁵, el cual también es analizado por Leitao y Restivo (2008), y *sistemas fractales de manufactura*, inspirados en la estructura fractal de la proteína. Este último tipo de manufactura también es trabajado por Ryu et al. (2003; 2006) y Shin et al. (2009). Adicionalmente, Vakili y Shu (2001), Hacco y Shu (2002) y Mak y Shu (2004), de la Universidad de Toronto, presentan el concepto de *biomimética*, que hace referencia a la utilización de analogías biológicas para el diseño en ingeniería.

Entre tanto, los investigadores Maione y Naso (2001; 2002; 2003; 2004), del Politécnico Di Bari, de Italia, trabajan en conjunto en un tema denominado *agentes inteligentes autónomos*, en sistemas heterárquicos (en red) de manufactura. Así mismo, Ren et al. (1997; 1999), Lei et al. (2000) y Cheraghi et al. (2004) han escrito artículos relacionados con modelos inspirados en la autoorganización para proveer a los sistemas de manufactura integrados por computador un desarrollo continuo y una capacidad de adaptación al ambiente. Los trabajos de McCarthy et al. (1997), McCarthy (2003) y Rose-Anderssen et al. (2005), de la Universidad de Sheffield, en el Reino Unido, muestran cómo la ciencia de los sistemas complejos proporciona un marco conceptual para entender el proceso de innovación dentro de las organizaciones; además presentan una interesante clasificación de los sistemas de fabricación inspirada en la teoría de la selección natural y en una rama de la biología que determina las relaciones evolutivas entre los organismos a través de las semejanzas compartidas, denominada *cladística*.

Otros autores destacados son Choy, Lee (Hong Kong Polytechnic University), Lo (Honeywell Consumer Products, Hong Kong) y colaboradores, quienes han llevado a cabo investigaciones relacionadas con *sistemas inteligentes de gerencia* (Choy et al., 2002a; 2002b; 2003b; 2003c; 2003a; 2004a; 2004b; 2005). Las publicaciones se enfocan en la introducción de sistemas inteligentes en los procesos productivos y organizacionales, los cuales facilitan el manejo de información y soportan la toma de decisiones. Por otra parte, se trabaja la inteligencia artificial y se aplica un conjunto de herramientas como los sistemas expertos y los agentes inteligentes a la manufactura, proponiendo de esta manera el término *manufactura inteligente*. Este tema lo desarrollan además Gholamian y Ghomi (2007) y Lau et al. (2009).

También se resaltan autores como Ip et al. (2003) con trabajos sobre aplicaciones de algoritmos genéticos y redes neuronales, así como Brezonick y Balic (2001) y Brezonick et al. (2003; 2004), de la Universidad de Maribor, en Eslovenia, quienes manejan el tema de *sistemas de manufactura flexible* y *sistemas inteligentes*, destacando características como la autoorganización, la adaptación eficiente y la evolución. Adicionalmente, están Mak y Wong (2000), Mak et al. (2000) y Mak y Shu (2004), que centran sus publica-

ciones en la introducción de sistemas inteligentes en los procesos productivos y organizacionales, los cuales facilitan el manejo de información y soportan la toma de decisiones. Por otra parte, se trabaja la inteligencia artificial y se aplica un conjunto de herramientas como los sistemas expertos y los agentes inteligentes a la manufactura, proponiendo de esta manera el término *manufactura inteligente*. Este tema lo desarrollan además Gholamian y Ghomi (2007) y Lau et al. (2009).

⁵ El paradigma holónico trata de imitar el comportamiento de los seres vivos en ambientes sociales e introduce el concepto *holón*. La idea de los sistemas de manufactura holónica es proporcionar procesos de manufactura dinámicos y descentralizados en los cuales los humanos son totalmente integrados (Pérez, 2006).

ciones en la utilización de algoritmos genéticos en el diseño, planeación y optimización de sistemas de manufactura celular.

Otros conceptos biológicos que se identifican en los artículos encontrados se relacionan con la teoría de la evolución, tales como *adaptación, equilibrio y selección*, y se hace referencia a la tecnología como un sistema complejo adaptativo, a la utilización de algoritmos genéticos adaptativos, y al aprendizaje de máquina. Se resalta el de *pronoia organizacional*, formulado por investigadores del Instituto tecnológico de Rochester, en Estados Unidos (Jassawalla y Sashittal, 1998) para denominar la capacidad de adaptación de las organizaciones que facilite el proceso de transferencia de tecnologías.

Análisis relacional

Este tipo de análisis, como su nombre lo dice, permite encontrar relaciones entre las investigaciones realizadas por diversos grupos y en variados contextos. Sin embargo, se encuentran herramientas informáticas que abordan el procesamiento de la información tomando como insumo diferentes discriminadores o campos de los artículos. Por ello, y con el fin de profundizar en el posible aporte y las tendencias de las ciencias biológicas en el desarrollo tecnológico, a continuación se tomarán dos *softwares* para hacer el análisis relacional, el primero de los cuales se basa en las palabras claves y el segundo realiza análisis semántico de los títulos y los resúmenes de cada registro.

En el primer caso, con ayuda del programa SPSS, del universo inicialmente definido de 856 artículos, se seleccionaron a partir de las palabras claves 142 documentos por tener una relación directa y evidente con la temática de atributos de la vida y desarrollo tecnológico. Posteriormente se generaron los mapas tecnológicos en tres dimensiones, permitiendo identificar claramente tres agrupaciones o *clusters*:

En el primer *cluster* se encuentran trabajos relacionados entre sí por hacer referencia a la informática y a la automatización, como despliegue de la **cibernética y los conceptos de la teoría de sistemas** en el manejo de información con técnicas de computación. En el segundo *cluster* se hallan investigaciones relacionadas con los procesos de **manufactura inteligentes**, en los cuales se toman en cuenta su capacidad de autoaprendizaje y el ciclo de vida de los productos. Finalmente, el tercer *cluster* indica la relación entre los **sistemas biológicos de manufactura** con conceptos de la **complejidad** como la **emergencia, la adaptabilidad y la autoorganización**.

Por otra parte, utilizando el *software* RefViz para la elaboración de mapas tecnológicos a partir de análisis semántico, dentro de los 856 artículos analizados, se identificaron 684 que están muy asociados al tema de procesamiento inteligente de información, los cuales fueron procesados. En general, en este caso se observó una dispersión de los registros, indicativo de que la temática de procesamiento inteligente de información y desarrollo tecnológico corresponde a un campo amplio en el cual se aborda una gran diversidad de materias de manera multidisciplinaria. El RefViz permitió encontrar a su vez también tres *clusters* relevantes:

El primero incluyó un total de 69 registros, los cuales abarcaron investigaciones sobre **procesos de manufactura**, específicamente lo que tiene que ver con la **manufactura inteligente** junto con la aplicación de técnicas de **redes neuronales para su optimización**. El segundo *cluster*, que contó con 63 referencias, representa los artículos asociados con la **gestión de procesos de producción inteligentes**, incluyendo **técnicas y modelos de decisión**. Final-

mente, el tercer *cluster*, que reunió 60 artículos, si bien tiene una estrecha relación con el grupo 1, se enfocó en el **entrenamiento y aprendizaje** que deben efectuar las **redes neuronales artificiales** para mejorar el **desempeño y la calidad de los procesos de manufactura**.

Los resultados obtenidos por el procesamiento relacional de los registros tanto por palabra clave como por el análisis semántico tienden a ser coincidentes y evidencian que el aporte de las ciencias biológicas al desarrollo tecnológico se direcciona principalmente hacia el procesamiento de información y la aplicación de las ciencias de la computación, así como en la implementación de sistemas de manufactura. En estos casos se retoman convenientemente aspectos conceptuales tales como la complejidad y sus atributos, sistemas biológicos e inteligencia. A su vez, la metáfora biológica aplicada en ámbitos de la ingeniería particularmente en la producción y la informática, de manera análoga a su adecuación en las ciencias de la gestión (Montoya y otros, 2004), se manifiesta en procesos de toma de decisión, procesamiento de información, sistemas de calidad y procesos de transformación, entre otros.

Análisis de patentes

A continuación se detallan los resultados de las búsquedas realizadas en la base de datos PatentScope, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI, que es de acceso libre y contiene documentos publicados desde 1978. En este caso el objetivo fue el de identificar patentes relacionadas con los temas principales hallados a través del análisis cuantitativo presentado en el acápite anterior. Particularmente, en este artículo se muestran los resultados de dos de las búsquedas hechas: la primera se basó en las palabras clave *Intelligent system* y *manufacturing*, con la cual se encontraron 113 patentes. La segunda búsqueda usó las palabras *holonic manufacturing*, hallando 13 registros en total.

En la figura 2 se muestra la dinámica de publicación de documentos de patentes relacionados con el tema de procesos de manufactura que involucran sistemas inteligentes. Se observa que, según los registros de la OMPI, en 1987 se presentó la primera solicitud y luego de un periodo sin registros, a partir de 1993 se aprecia una tendencia prácticamente creciente hasta la actualidad, lo cual coincide con los resultados del análisis efectuado en artículos científicos y técnicos. Los principales solicitantes son grandes corporaciones como Whirlpool y 3M, de Estados Unidos, así como empresas relacionadas con la salud humana como Bodymedia y Sensys Medical.

La segunda búsqueda que se referencia se basó en la búsqueda por las palabras clave *holonic manufacturing*, con lo cual se obtuvieron 13 registros de patentes solicitadas. En la Figura 3 se aprecia la dinámica de publicación de dichas patentes, que es muy reciente e incluso tuvo una tendencia decreciente en sus primeros años. Se observa además que desde 2007 se reactivó la solicitud de patentes en esta área. En 2009 aún no se registran documentos relacionados. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en el caso de los artículos analizados en el numeral anterior relativos al tema de manufactura holónica, se aprecia que la investigación en dicho tema ha precedido su protección por patentes, ya que los artículos encontrados se ubican principalmente en el periodo 1996 a 2003, año en el cual se inicia la solicitud de patentes. Igualmente, se ve en el análisis de artículos una reactivación en el 2008, tal como ocurre con las patentes, siendo en este último caso simultáneas la investigación y la protección.

La empresa líder en el patentamiento en esta temática es Kimberly-Clark, fábrica de origen estadounidense de productos de

papel en varias líneas. Entre otros titulares se encuentra una compañía de electricidad y control automático (Schneider Electric Automation GmbH), una empresa de *software* (Sap Ag) y un inventor particular (Thomas Gaasenbeek), que pertenece a otra compañía de *software* y automatización llamada Memex Electronics Inc.

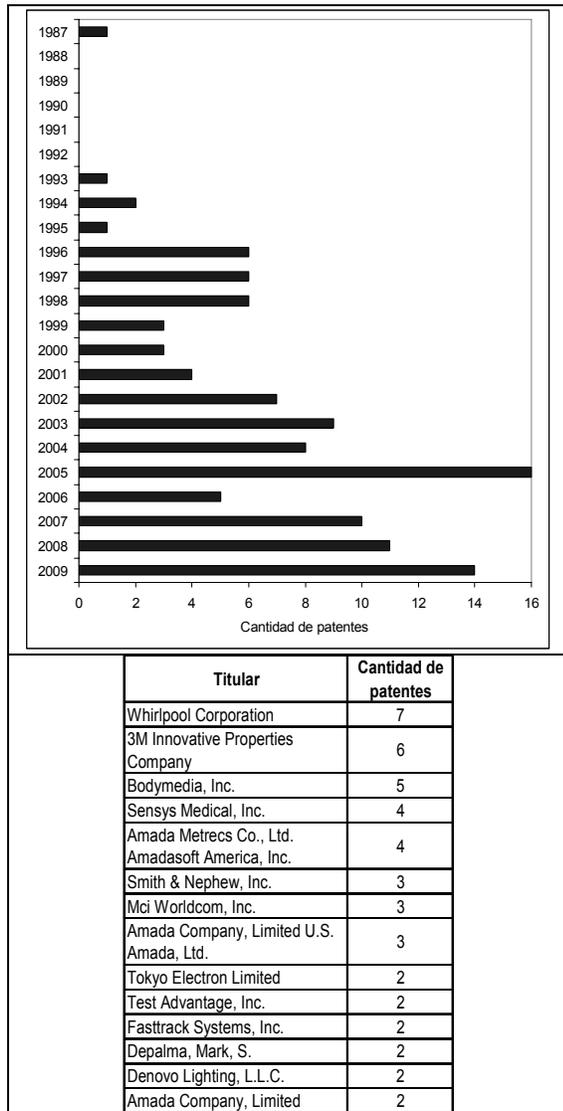


Figura 2. Patentes solicitadas en el tema de manufactura inteligente y sus titulares. Fuente: Análisis en Excel con base en información de la base de datos de patentes PatentScope, de acceso libre. Periodo 1978-2009.

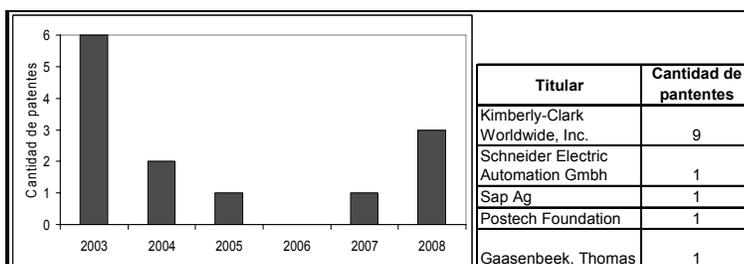


Figura 3. Patentes solicitadas en el tema de manufactura holónica y sus titulares. Fuente: Análisis en Excel con base en información de la base de datos de patentes PatentScope, de acceso libre. Periodo 1978-2009.

Respecto a las áreas tecnológicas que cubren las patentes obtenidas por medio de las anteriores búsquedas, en la figura 4 se observan las principales, de acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes, CIP (o IPC, por sus iniciales en inglés). En la Tabla 1 se presenta la descripción de cada una de estas áreas, y puede apreciarse que la mayoría de ellas hacen referencia al manejo y procesamiento digital de datos e información, que precisamente son actividades fundamentales en la manufactura inteligente y biológica, ya que buscan imitar el comportamiento de los organismos vivos, en especial el proceso de inteligencia.

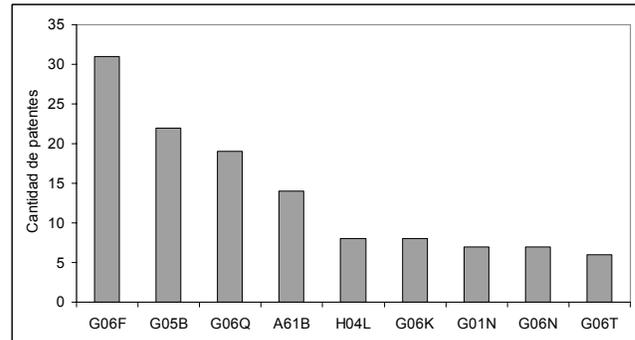


Figura 4. Principales áreas tecnológicas de las patentes analizadas. Fuente: Análisis con base en información de la base de datos de patentes PatentScope

Conclusiones

Con base en el análisis efectuado es posible identificar las áreas en las que han ocurrido los mayores aportes de los atributos de la vida al desarrollo tecnológico. Se destaca lo relacionado con el proceso de fabricación, al cual se le atribuyen características de los seres vivos como la autonomía, el autoaprendizaje, la autoorganización, la adaptación y la inteligencia. Se observa, entonces, cómo muchos de los autores citados en este documento han desarrollado conceptos como los sistemas biológicos de manufactura, la manufactura biónica y la manufactura inteligente.

Así mismo, los algoritmos genéticos y las redes neuronales son técnicas a través de las cuales se ha dado una interacción explícita entre la biología y el desarrollo tecnológico. Precisamente, se han identificado varios campos de aplicación de este tipo de avances: planeación, programación y optimización de la producción, con énfasis en los sistemas de manufactura celular, mientras que las redes neuronales permiten optimizar estos sistemas y pronosticar comportamientos de la industria.

Estas y otras técnicas, como la lógica difusa y los sistemas expertos, muestran que los progresos respecto al procesamiento de información representan un amplio potencial para el aporte conceptual e instrumental de variadas ciencias al desarrollo tecnológico (Gen y Cheng, 2000; Wang y Fisher, 2000; Krichebskiy, 2005). El incesante progreso de las tecnologías de información y comunicación, TIC, y el papel cada vez más trascendental del conocimiento en el desarrollo económico, tecnológico y social tanto en el nivel empresarial como en las sociedades y los países, permite inferir que dentro de la evolución futura de la gestión del factor tecnológico continuará prevaleciendo el tipo de aportes hechos por las ciencias biológicas que se han reseñado en los párrafos previos, indicando que la potencialidad es alta y que es fundamental que investigadores de origen y formación diversos se involucren en estas temáticas.

Tabla 1. Descripción de las áreas tecnológicas principales de las patentes analizadas

IPC*	Descripción
G06F	Tratamiento de datos digitales eléctricos (computadores en los que una parte del cálculo se efectúa hidráulica o neumáticamente; ópticamente; sistemas de computadores basados en modelos de cálculo específicos; redes de impedancia que utilizan técnicas digitales).
G05B	Sistemas de control o de regulación en general; elementos funcionales de tales sistemas; dispositivos de monitorización o ensayos de tales sistemas o elementos; dispositivos obturadores en sí; caracterizados por particularidades mecánicas solamente; elementos sensibles, elementos de corrección.
G06Q	Métodos o sistemas de procesamiento de datos especialmente adaptados para fines administrativos, comerciales, financieros, de gestión, de supervisión o de pronóstico; métodos o sistemas especialmente adaptados para fines administrativos, comerciales, financieros, de gestión, de supervisión o de pronóstico, no previstos en otro lugar.
A61B	Diagnóstico; cirugía; identificación.
H04L	Transmisión de información digital, p. ej.: comunicación telegráfica (máquinas de escribir; transmisores de órdenes telegráficas, sistemas telegráficos de incendio o de policía; telegrafía óptica; sistemas teleautográficos; aparatos de cifrar o descifrar en sí; codificación, decodificación o conversión de códigos, en general; disposiciones comunes a las comunicaciones telegráficas y telefónicas; selección; redes de comunicación inalámbricas).
G06K	Reconocimiento de datos; presentación de datos; soportes de registros; manipulación de soportes de registros (selección postal); radar secundario de vigilancia; detección de la presencia de transpondedores o de marcas o etiquetas de identificación).
G01N	Investigación o análisis de materiales por determinación de sus propiedades químicas o físicas (separación de constituyentes de materiales en general; aparatos enteramente previstos en una sola subclase; procedimientos de medida, de investigación o de análisis diferentes de los ensayos inmunológicos, en los que intervienen enzimas o microorganismos; estudio de los suelos de cimentación <i>in situ</i> ; dispositivos de control o diagnóstico para los aparatos de tratamiento de gases de escape; percepción de variaciones de humedad para compensar las medidas de otras variables o las lecturas de instrumentos que miden las variaciones de la humedad; ensayo de elementos que componen los reactores nucleares).
G06N	Sistemas de computadores basados en modelos de cálculo específicos.
G06T	Tratamiento o generación de datos de imagen, en general (especialmente adoptados para aplicaciones particulares).

Fuente: OMPI (2009) * IPC: International Patent Classification (Clasificación Internacional de Patentes)

Si bien la presente investigación constituye un primer paso en la indagación sobre el papel y aporte de otros campos, como las ciencias de la vida, al proceso de desarrollo tecnológico y su gestión, resulta sorprendente el hallazgo sobre la importancia que en países desarrollados se le ha dado a este tema y los avances reportados tanto en investigación como en soluciones de aplicación industrial, evidenciadas a través de patentes, lo cual debe motivar a grupos de investigación en países con economías emergentes para profundizar en este análisis. A este respecto llama la atención que en la literatura especializada tanto en artículos como en patentes es casi nulo el aporte de autores e instituciones de origen hispanoamericano. Por lo anterior, se identifica como reto evidente para las escuelas de ingeniería en la región el llevar a cabo procesos de investigación tecnológica y generación de técnicas que tomen como base los fundamentos biológicos para impactar positivamente los procesos productivos y el desarrollo tecnológico

Bibliografía

- Brezocnik, M., Kovacic, M., Ficko, M., Prediction of surface roughness with genetic programming., *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 157-158, 1, 2004, pp. 28-36.
- Brezocnik, M., Balic, J., A genetic-based approach to simulation of self-organizing assembly., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 17, 1-2, 2001, pp. 113-120.
- Brezocnik, M., Balic, J., Brezocnik, Z., Emergence of intelligence in next-generation manufacturing systems., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 19, 1-2, 2003, pp. 55-63.
- Castellanos, O., Jiménez, C., Importancia de la inteligencia en la gestión tecnológica de las organizaciones contemporáneas., En *memorias de XXIII Simposio de Gestión de la Innovación tecnológica*, Curitiba, Brasil, 2004.
- Cheraghi, S. H., Sheelavant, R. R., Liu, W., Adaptive process planning in discrete parts manufacturing environment., *IIE Annual Conference and Exhibition 2004*, 2004, pp. 1415-1420.
- Chiaromonte, F., From R&D to strategic technology management - Evolution and perspectives., *Teletronikk*, Vol. 2, 2004, pp. 33 - 41.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H. C. W., Lu, D., Lo, V., Design of an intelligent supplier relationship management system for new product development., *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, 8, 2004a, pp. 692-715.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, Henry C. W., Choy, L. C., A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing., *Knowledge-Based Systems*, Vol. 18, 1, 2005, pp. 1-17.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lo, V., Development of a case based intelligent customer-supplier relationship management system., *Expert Systems with Applications*, Vol. 23, 3, 2002a, pp. 281-297.
- Choy, K. L.; Lee, W. B. y Lo, V., Design of an intelligent supplier relationship management system: a hybrid case based neural network approach, *Expert Systems with Applications*. Vol. 24, 2, 2003a. 225-237.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lo, V., An intelligent supplier relationship management system for selecting and benchmarking suppliers., *International Journal of Technology Management*, Vol. 26, 7, 2003b, pp. 717-742.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lo, V., Development of a case based intelligent supplier relationship management system - Linking supplier rating system and product coding system., *Supply Chain Management*, Vol. 9, 1, 2004b, pp. 86-101.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lo, V., An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing., *Expert Systems with Applications*, Vol. 22, 3, 2002b, pp. 213-224.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lo, V., Design of a case based intelligent supplier relationship management system--the integration of supplier rating system and product coding system., *Expert Systems with Applications*, Vol. 25, 1, 2003c, pp. 87-100.
- Fujii, N., Hatono, I., Ueda, K., Reinforcement learning approach to self-organization in a biological manufacturing system framework., *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218, 6, 2004, pp. 667-673.
- Fujii, N., Hatono, I.; Vaario, J., Ueda, K., A study on development of line-less production system using self-organization., *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering.*, 69, 6, 2003, pp. 820-824.

- Gen, M., Cheng, R., Genetic algorithms and engineering optimization., New York, 2000.
- Gholamian, M. R., Ghomi, S. M. T. Fatemi, Meta knowledge of intelligent manufacturing: An overview of state-of-the-art., Applied Soft Computing, Vol. 7, 2007, pp. 1-16.
- Hacco, E., Shu, L. H., Biomimetic concept generation applied to design for remanufacture., Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, 3, 2002, pp. 239-246.
- Ip, W. H., Huang, M., Yung, K. L., Wang, D., Genetic algorithm solution for a risk-based partner selection problem in a virtual enterprise., Computers and Operations Research, Vol. 30, 2, 2003, pp. 213-231.
- Jassawalla, A. R., Sashittal, H. C., Accelerating technology transfer: Thinking about organizational pronoi., Journal of Engineering and Technology Management - JET-M, Vol. 15, No. 2-3, 1998, pp. 153-177.
- Jiménez, C., Castellanos, O., Exploring the use of biological metaphor upon Technology Management research within the new paradigm of ongoing change., Portland International Conference on Management of Engineering and Technology PICMET 09, Portland, Oregon, USA, 2009.
- Jiménez, C., Castellanos, O., Fonseca, S., Gestión tecnológica: de un enfoque tradicional a la gestión del conocimiento. Consideraciones y retos para Latinoamérica., XII Seminario Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica ALTEC, Argentina, 2007.
- Krichebskiy, M. L., Intellectual methods applied to management., Saint Petersburg, Russia, Piter, 2005.
- Lau, H. C. W., Chan, T. M., Tsui, W. T., Ho G. T. S., Choy, K. L., An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations., Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009, pp. 4296-4312.
- Lei, L., Wang, W., Ren, S., Liu, W., Research of supply chain decision supporting system based on self-organization., Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2000, pp. 1926-1930.
- Leitao, P., Restivo, F., A holonic approach to dynamic manufacturing scheduling., Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 24, 2008, pp. 625-634.
- Lichtenthaler, E., Third generation management of technology intelligence processes., R&D Management, Vol. 33, 4, 2003, pp. 361-375.
- Maione, B., Naso, D., Evolutionary adaptation of dispatching agents in heterarchical manufacturing systems., International Journal of Production Research, Vol. 39, 7, 2001, pp. 1481-1503.
- Maione, G., Naso, D., Adaptation of multi-agent manufacturing control by means of genetic algorithms and discrete event simulation., Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002, pp. 529-534.
- Maione, G., Naso, D., A genetic approach for adaptive multiagent control in heterarchical manufacturing systems., IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, Vol. 33, 5, 2003, pp. 573-588.
- Maione, G., Naso, D., Modelling adaptive multi-agent manufacturing control with discrete event system formalism., International Journal of Systems Science, Vol. 35, 10, 2004, pp. 591-614.
- Mak, K. L., Wong, Y. S., Genetic design of cellular manufacturing systems., Human Factors and Ergonomics In Manufacturing, Vol. 10, 2, 2000, pp. 177-192.
- Mak, K. L., Wong, Y. S., Wang, X. X., Adaptive genetic algorithm for manufacturing cell formation., International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, 7, 2000, pp. 491-497.
- Mak, T. W., Shu, L. H., Abstraction of biological analogies for design, CIRP Annals - Manufacturing Technology., 53, 1, 2004, pp. 117-120.
- McCarthy, I., Leseure, M., Ridgway, K., Fieller, N., Building a manufacturing cladogram., International Journal of Technology Management, Vol. 13, 3, 1997, pp. 269-286.
- McCarthy, I. P., Technology management - A complex adaptive systems approach., International Journal of Technology Management, Vol. 25, 8, 2003, pp. 728-745.
- Mill, F., Sherlock, A., Biological analogies in manufacturing, Computers in Industry., Vol. 43, No. 2, 2000, pp. 153 -160.
- Montoya, A., Castellanos, O., Montoya, I., La gerencia genética: una metáfora biológica aplicada a la gestión., Revista de Ciencias Administrativas y Sociales - Innovar, 24, 2004.
- OCDE., The knowledge-based economy. En La innovación: Un factor clave para la competitividad de las empresas., Comunidad de Madrid, 1996.
- Ohkura, K., Ueda, K., Solving production scheduling problems with a simple model of biological-oriented manufacturing systems., Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, 62, 1996, pp. 595.
- OMPI., Clasificación Internacional de Patentes CIP, Oficina Española de Patentes y Marcas., extraído el 12 de febrero de 2009. Disponible en: <http://www.wipo.int/classifications/ipc/ipc8trans/es/ipcpub/?lang=es&menulang=ES>, 2009.
- Ortiz, E., Rojas, C., Fundamentos de computación con ADN., Ingeniería e investigación, No.40, 1998, pp. 25-44.
- Pérez, L., Técnicas emergentes para la automatización integrada de procesos industriales. Modelos de automatización., Fondo Nacional de ciencia, tecnología e investigación Fonacit, 2006. Extraído el 3 de julio de 2007, Disponible en: <http://sistemas.fsl.fundacite-merida.gob.ve/docman/view.php/16/21/ModelosAutomatizacion.pdf>.
- Ren, S., Liu, W., Liu, Z., Dong, J., Self-organization-basic model for advanced manufacturing systems., Qinghua Daxue Xuebao/ Journal of Tsinghua University, Vol. 39, No. 1, 1999, pp. 87-90.
- Ren, S., Zhang, X. D., Zhang, X. P., A new generation of decision support systems for advanced manufacturing enterprises., Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 8, No. 5, 1997, pp. 335-343.
- Rose-Anderssen, C., Allen, P. M., Tsinopoulos, C., McCarthy, I., Innovation in manufacturing as an evolutionary complex system, Technovation, Vol. 25, No.10, 2005, pp.1093-1105.
- Ryu, K., Yucesan, E., Jung, M., Dynamic restructuring process for self-reconfiguration in the fractal manufacturing system., International Journal of Production Research, 44, 15, 2006, pp. 3105-3129.
- Ryu, K., Son, Y., Jung, M., Modeling and specifications of dynamic agents in fractal manufacturing systems., Computers in Industry, Vol. 52, No. 2, 2003, pp. 161-182.
- Savage, Ch. M., Fifth Generation Management: Co-Creating through Virtual Enterprising., Dynamic Team and Knowledge Networking, Boston, USA, Butterworth-Heinemann, 1996.
- Shin, M., Mun, J., Jung, M., Self-evolution framework of manufacturing systems based on fractal organization., Computers and Industrial Engineering, Vol. 56, 2009, pp. 1029-1039.

- Steel, L. W., New Paradigms for R&D., *Research Technology Management*, Vol. 34, No. 4, 1991, pp.13-21.
- Tharumarajah, A., A self-organizing view of manufacturing enterprises., *Computers in Industry*, Vol. 51, No. 2, 2003, pp. 185-196.
- Tharumarajah, A., Wells, A., Nemes, L., Comparison of the bionic, fractal and holonic manufacturing system concepts., *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, 1996, pp. 217-226.
- Tharumarajah, A., Wells, A., Nemes, L., Comparison of emerging manufacturing concepts., *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1, 1998, pp. 325-331.
- Ueda, K., Manufacturing as emergent system., *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 64, No. 10, 1998, pp. 1431-1434.
- Ueda, K., Fujii, N., Hatono, I., Kobayashi, M., Facility layout planning using self-organization method., *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 51, No. 1, 2002, pp. 399-402.
- Ueda, K., Fujii, N., Inoue, R., An Emergent Synthesis Approach to Simultaneous Process Planning and Scheduling., *Annals of the CIRP*, Vol. 56, 2007, pp. 463-466.
- Ueda, K., Hatono, I., Fujii, N., Vaario, J., Reinforcement learning approaches to Biological Manufacturing System., *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 49, No. 1, 2000, pp. 343-346.
- Ueda, K., Hatono, I., Fujii, N., Vaario, J., Line-less production system using self-organization: A case study for BMS., *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 50, No. 1, 2001, pp. 319-322.
- Ueda, K., Vaario, J., Ohkura, K., Modelling of biological manufacturing systems for dynamic reconfiguration., *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 46, No. 1, 1997, pp. 343-372.
- Vaario, J., Fujii, N., Scheffter, D., Mezger, M., Ueda, K., Factory animation by self-organization principles., *Proceedings of the Annual International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM*, 1997, pp. 235-242.
- Vaario, J., Ueda, K., Biological concept of self-organization in flexible automation systems., *Proceedings of APMS'96 (Advanced Product Management Systems)*, 1996a, pp. 33 - 88.
- Vaario, J., Ueda, K., Self-organization in manufacturing systems., *Proceedings of the Japan/USA Symposium on Flexible Automation*, Vol. 2, 1996b, pp. 1481-1484.
- Vaario, J., Ueda, K., An emergent modelling method for dynamic scheduling., *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 9, No. 2, 1998, pp. 129-140.
- Vakili, V., Shu, L. H., Towards biomimetic concept generation., *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, Vol. 4, 2001, pp. 327-335.
- Vargas, F., Castellanos, O., Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico. Caso: Sector de empaques plásticos flexibles., *Ingeniería e Investigación*, Vol. 25 No. 2, 2005.
- Wang, G., Fisher, P. S., Knowledge acquisition: Neural network learning., *Proceeding of SPIE*, Vol. 4057, 2000, pp.117-128.