

Pertinencia de la aplicación de los elementos biológicos para el mejoramiento de la productividad

Ivone Andrea Otálora Guerrero

Universidad Nacional de Colombia, iaotalorag@unal.edu.co

Diana Cristina Ramírez Martínez

Universidad Nacional de Colombia, dcramirez@unal.edu.co

Oscar Fernando Castellanos Domínguez

Universidad Nacional de Colombia, ofcastellanos@unal.edu.co

Resumen

La productividad ha sido considerada como uno de los factores relacionados con la supervivencia de las organizaciones en el mercado, y a nivel macro, con la calidad de vida de los habitantes de un país. Por lo tanto, medirla, entenderla y propender por su incremento mediante métodos de producción u organizacionales novedosos es un tema importante que implica la respuesta a entornos variables y de decisiones en medios cambiantes. Es así, que con el objetivo de conocer las perspectivas que puede tener la aplicación de elementos biológicos para el incremento de la productividad en contextos de países en vía de desarrollo, se llevó a cabo como primer paso un ejercicio de vigilancia tecnológica utilizando las herramientas suministradas por la Universidad Nacional de Colombia, lo que permitió identificar las tendencias e indicadores de publicación científica en tres ejes: productividad, sistemas de manufactura y sistemas de manufactura biológica. Este ejercicio permitió evidenciar las temáticas más relevantes en los tres ejes, entre las cuales se destacan los factores que afectan la productividad tanto a nivel empresarial como a nivel país, los sistemas de manufactura flexible, la aplicación de la inmunidad, agentes autónomos y autoadaptación como elementos biológicos en los sistemas de manufactura existentes. Por su parte, en el contexto Latinoamericano y Colombiano se destaca la manufactura esbelta y la gestión de la calidad. Se observa además, una relación estrecha entre la medición de la productividad empresarial y la eficiencia de la producción, siendo los indicadores más utilizados los de productividad laboral y productividad de capital.

Palabras clave

Sistemas de manufactura, elementos biológicos, productividad empresarial, pertinencia, vigilancia tecnológica.

1 Introducción

En el actual entorno caracterizado por la rivalidad de precios y la incertidumbre en las decisiones, entre otros, el mejoramiento de la productividad, entendida como el beneficio obtenido del manejo de los recursos, sean estos financieros, humanos, tecnológicos o de otra índole, representados en unidades físicas, se convierte en un elemento clave para la sostenibilidad de las empresas, pues su medición permite disminuir los riesgos en las decisiones, eliminar las ineficiencias, lograr una mejor posición con respecto a los competidores, e incrementar la relación costo-beneficio en la organización. Es así, como los sistemas de manufactura guardan una estrecha relación con el incremento de este indicador al tenerlo como uno de sus objetivos.

Los sistemas de manufactura han presentado una evolución desde los paradigmas tradicionales a los emergentes, estos últimos se caracterizan por ser más flexibles y por estar diseñados para responder a los cambios del entorno, fortaleciendo la innovación hacia organizaciones más productivas y por ende más competitivas; como es el caso de los sistemas biológicos de manufactura (SBM), cuya idea central es la aplicación de conceptos como la auto-organización, el auto-crecimiento y la evolución, traídos de la biología para enfrentar los contextos actuales variables. Esta ponencia, se propone identificar las características de las referencias bibliográficas que tratan temas referentes a los términos de productividad, sistemas de manufactura y sistemas de manufactura biológica mediante un ejercicio de vigilancia tecnológica, como un primer paso para conocer las perspectivas que puede tener la aplicación de elementos biológicos para el incremento de la productividad en contextos de países en vía de desarrollo.

2 Productividad

Con el objetivo de hacer una revisión del estado del arte de la productividad se llevó a cabo un ejercicio de vigilancia tecnológica, utilizando las herramientas bibliográficas suministradas por la Universidad Nacional de Colombia, específicamente la base de datos Scopus de Elsevier.

Para una ventana de observación de 10 años (2004-2014), se obtuvieron 2395 registros. Un análisis de los artículos científicos disponibles en las base de datos Scopus, en los últimos 10 años, muestra que el término ha mostrado una tendencia de crecimiento en la producción científica con un pico en los años 2011-2012, en donde los títulos se centran en los factores que afectan la productividad sectorial y de países (quizás pueda presumirse que esta producción sea el de la crisis económica mundial comprendida entre los años de 2009 a 2012). En estas referencias se identifican como los factores más relevantes que afectan la productividad a la reglamentación, políticas, calidad de vida del trabajador, reglamentación ambiental, globalización e innovación.

El 42% de las publicaciones encontradas son producto del trabajo académico de 6 países: China, India, Estados Unidos, Taiwán, Japón y España. Sin embargo, la diferencia es amplia en cuanto al número de registros de China, que lidera con 450 registros al segundo que es India con un total de 190. Tras analizar la agrupación de los términos clave utilizados en cada registro bibliográfico, se identificaron 3 clústeres para los cuales se puede concluir lo siguiente:

Los indicadores de la productividad parcial, más usados, son el de la productividad laboral y el de la productividad del capital, puesto que la agrupación más voluminosa se refiere a estos dos indicadores parciales y su relación con la comparación entre países para el análisis de la crisis económica. Con la productividad laboral se desarrollan las comparaciones entre países y el promedio de la industria y corresponde a la relación entre el valor agregado (medido en pesos) y las horas hombre empleadas para la producción; se pretende que este indicador aumente proporcionalmente al numerador con estrategias como el incremento en ventas, inclusión de características importantes para el consumidor al producto, capacitación y mejoramiento de la tecnología, manteniendo constante el denominador. La productividad del capital se define como la relación entre el valor agregado y el valor del capital operativo que es la suma de los activos corrientes y los activos fijos y, los demás activos usados directamente en la producción; el incremento de este índice es proporcional al grado de utilización de la planta, la disminución de los tiempos muertos y de reproceso (Centro Nacional de Productividad de Colombia, 2008).

Un concepto más común a nivel macroeconómico es el de la productividad total de los factores o productividad del valor agregado, esta premisa se validó mediante el análisis de clústeres de los artículos científicos encontrados para temática de productividad empresarial, ya que este término constituye una de las agrupaciones más importantes en conjunto con los términos eficiencia y capital, lo que a su vez constata su estrecha relación con la eficiencia producto de la relación que la PTF representa. Este concepto según Colmenares (2007) fue introducido por J. Tinbergen al inicio de la década de los años cuarenta, desarrollado por J. Stigler, y posteriormente utilizado y reformulado en los años cincuenta y los sesenta por diversos autores, entre los que destacan R. Solow (1957), J. W. Kendrick (1961) y E. F. Denison (1962). Más recientemente, resaltan las contribuciones de H. Lydall, W. E. Diewert, L. R. Christensen y D. Jorgen, que mantiene ésta línea de investigación (Hernández, 1993), y han definido a la PTF como la razón entre la

producción neta a la que también se le conoce como valor agregado de producción y la suma de los insumos de trabajo y de capital expresadas en unidades monetarias deflactadas; este indicador es el resultado de la medida simultánea de la eficiencia en la utilización conjunta de los recursos, por lo que se conoce por la relación del índice de crecimiento del valor agregado con un índice de crecimiento de los insumos primarios valor que es ponderado por su participación en los gastos del año o el periodo que se está midiendo; los cambios en este indicador reflejan cambios en la eficiencia derivados normalmente de la introducción de innovaciones tecnológicas, que pueden ser de las denominadas tecnologías duras o blandas, cambios en la escala de producción o cambios en el capital intangible (capacitaciones, seguridad industrial) que se reflejan en el capital tangible (Martínez M. E., 2006).

La revisión de la evolución del término permitió establecer los aportes que se han tenido al concepto de productividad industrial en línea de tiempo, la cual se muestra a continuación en la Figura 1.

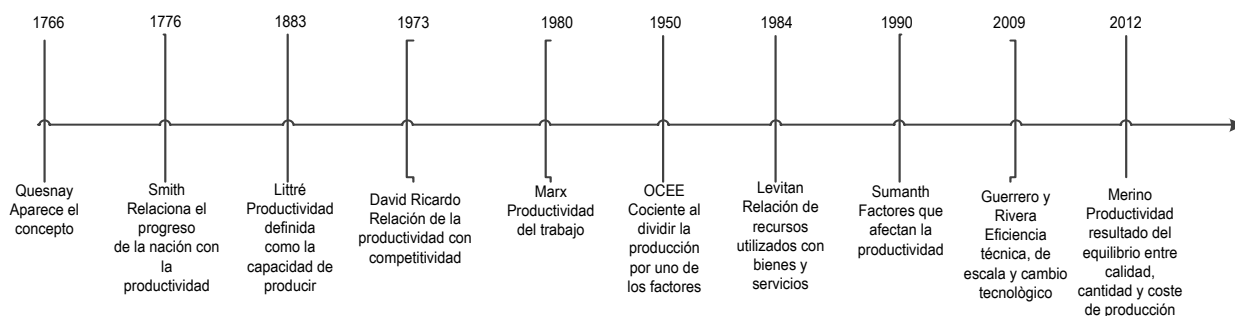


Figura 1. Evolución histórica del término de productividad. Fuente: Elaboración propia, a partir de (Hannula, 2002; Shape, 2002; González & Urdaneta, 2007; Guerrero & Rivera, 2009; Merino, 2012).

Esta ponencia buscó establecer la correlación que permitiera evaluar la pertinencia de los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos para el incremento de la productividad, por lo que se aborda a continuación la caracterización de los sistemas de manufactura.

3 Sistemas de manufactura

Luego de una revisión cuantitativa, para una ventana de observación de 10 años (2004-2014), se obtuvieron 1841 registros. El término tuvo una tendencia de crecimiento en la producción científica del año 2004-2011 con un pico en los años 2009-2011, en donde los títulos se centran en manufactura flexible (FMS), multi-agente (MAS) y reconfigurable (RMS), mostrando que han sido los tipos de sistemas de manufactura más analizados y utilizados en el ámbito académico. Los países que más han publicado sobre estas temáticas son China y Estados Unidos, sin embargo, el primero dobla al segundo.

Se presume que en los primeros años del siglo XXI no se encuentra un volumen alto de títulos ya que el término sistemas de manufactura no estaba suficientemente posicionado, si no que cada una de las propuestas para modificar la producción se utilizaban por sus nombres, como por ejemplo: producción por lotes o producción en línea.

Por otra parte, la manufactura en célula es una temática que se ha mantenido vigente en los últimos 10 años, mientras que a partir del 2006 los referentes a control y automatización de los sistemas de manufactura se han incrementado, lo que se entiende debido a la aparición de procesos automatizados y herramientas que permiten el control de la producción y calidad de manera remota. En lo referente a atributos biológicos aplicados a los sistemas de manufactura, se observa que el término sistemas de manufactura biológicos “*biologic manufacturing system*” no tiene un gran número de títulos pero si se ha planteado la utilización de diferentes características desde los sistemas biológicos para el mejoramiento de los mismos, se muestran planteamientos en especial en sistemas de manufactura flexible (FMS) y las propiedades más usadas son la inmunidad, auto-adaptación y los agentes autónomos.

Se observa también un decrecimiento desde el año 2012 de los registros referentes a los sistemas de manufactura, lo que se debería a que los planteamientos que se han venido utilizando en los últimos años pueden presentar desgaste por lo que serían necesarios nuevos planteamientos que permitan mediante innovación, sea esta incremental o radical, en las formas de producción enfrentar en nuevo entorno para las empresas y en consecuencia para los países.

Tras analizar la agrupación de los términos clave utilizados en cada registro bibliográfico, se identificaron 4 clústeres para los cuales se puede concluir lo siguiente:

Un **primer clúster** contiene 3 grupos, los cuales se relacionan con las palabras clave: algoritmo, celular, célula, horario, flexible, genética y optimización, para una agrupación total de 89 referencias. Este primer clúster es importante para el análisis ya que agrupa temáticas como las relacionadas con la manufactura en célula, el algoritmo de colonia de hormigas, algoritmos genéticos para la organización de la manufactura, sistemas inmunes, redes neuronales y aplicación de algunos conceptos emergentes en los sistemas de manufactura flexible. Un **segundo clúster** con dos grupos, con las palabras clave: flexible, algoritmo, net, máquina y herramienta. Para un total de 98 referencias. Un **tercer clúster** que agrupa 294 registros con las palabras clave: simulación, desempeño y producto. Un **cuarto grupo** contiene 256 referencias bajo las palabras clave: producto, desempeño y costo. Este junto al anterior grupo llegarían a un total de 550 referencias relativas a producto y desempeño lo que muestra una tendencia marcada

de relacionar el desempeño de la manufactura con el tipo de sistema de manufactura que se está utilizando.

Con el fin de analizar cómo se encuentra la producción científica respecto a los sistemas de manufactura en el contexto Latinoamericano, se hace un análisis del término, utilizando como base de datos de búsqueda en el Sistema de Información SciELO. En este proceso se obtuvieron 65 artículos. Se observa que tratan temáticas referentes en la mayoría de los casos a la manufactura esbelta (“*lean manufacturing*”) y sistemas de gestión de calidad como herramienta para el mejoramiento de la manufactura pertenecientes a paradigmas tradicionales de manufactura. En cuanto a sistemas de manufactura emergentes el tema predominante es la manufactura flexible y los atributos de la misma.

Finalmente, se lleva a cabo una búsqueda en Colombia referente al término “sistemas de manufactura”, para lo cual se usa la base de datos de productos de los grupos de investigación disponible en ScienTi de Colciencias, en el cual se encontró un total de 18 grupos que han tratado temas referentes a sistemas de manufactura. Por la temática y el número de publicaciones referentes al tema, se destacan los grupos: Zentech-mejoramiento y tecnología, Grupo de Investigación en Gestión de Producción y Logística, Manufactura Flexible, Grupo de productividad y competitividad, Grupo de Investigación en Logística y Producción y, Grupo interdisciplinario de Investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad-BioGestión. Este último ha abordado temáticas emergentes referentes a aplicación de elementos biológicos; sin embargo, no en temáticas directamente relacionadas con sistemas de manufactura y/o productividad, mientras que los otros grupos se encuentran alineados con las temáticas tratadas en el ámbito Latinoamericano.

4 Sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos

Con el objetivo de identificar el estado del arte de los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos, se utilizó la ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND bio*, con la cual se obtuvo un total de 24 publicaciones, como se muestra a continuación en la Figura 2.

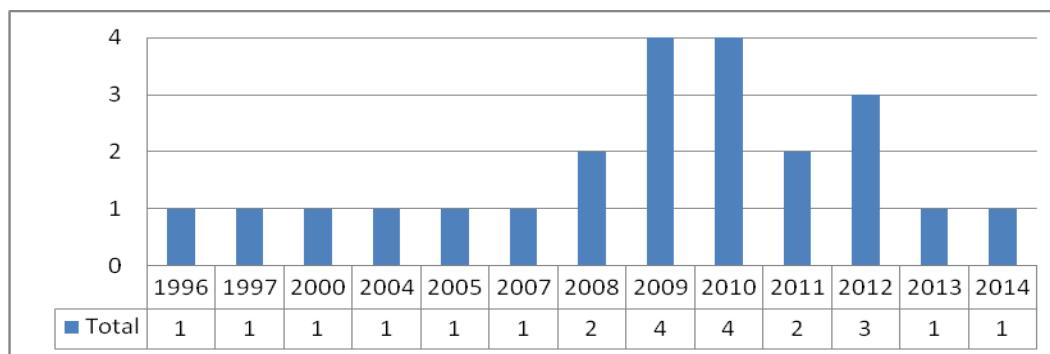


Figura 2. Evolución en el tiempo de las publicaciones, ecuación de búsqueda: “manufacturingsystem” AND biolog*. Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Al relacionar los resultados de los artículos referentes a sistemas de manufactura y a los que hacen referencia a la aplicación de elementos biológicos a sistemas de manufactura, se observa que la producción bibliográfica, relacionada con los sistemas de manufactura biológica (BMS) es baja; pero los registros relacionados con atributos biológicos y su aplicación a los sistemas de manufactura, especialmente a los reconfigurables (RMS) y flexibles (FMS), se presentan en una alta proporción mencionando como principales atributos biológicos, es decir, los más utilizados la inmunidad, agentes autónomos y autoadaptación.

La revisión de la temática de sistemas de manufactura y sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos, permitió complementar las características principales de los sistemas de manufactura tradicionales y su evolución (Figura 3) y construir el marco conceptual de los sistemas de manufactura emergentes con aplicación de elementos biológicos

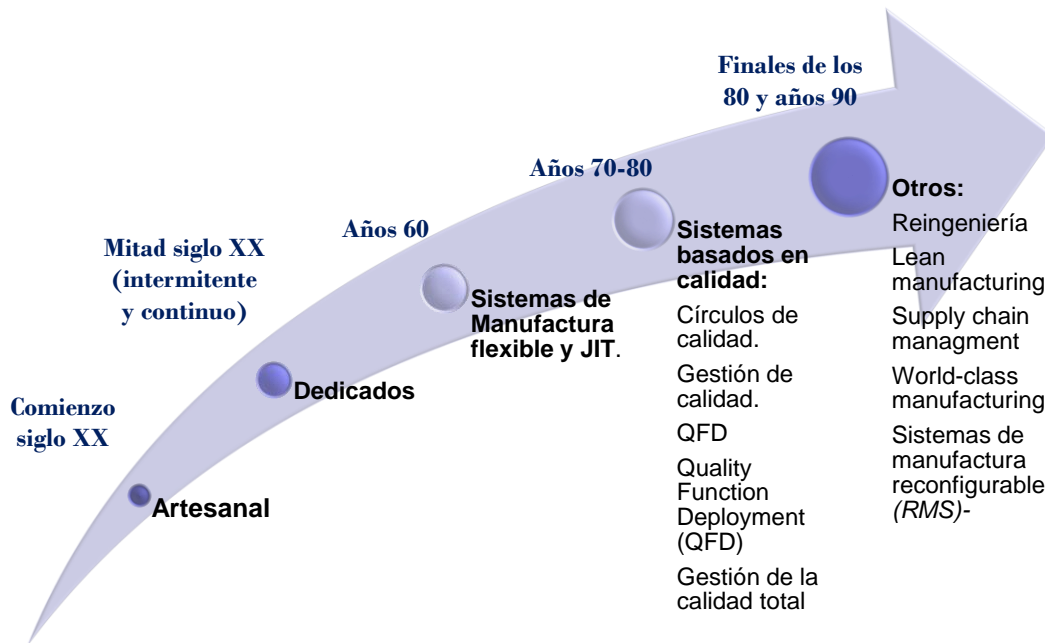


Figura 3. Evolución histórica en línea de tiempo de los sistemas de manufactura tradicionales.
 Elaboración propia a partir de (Gola & Swic, 2010; Hammer, 1990; Hon, 2005; Beach, Muhlemann, & Price, 2000; Niño & Bednarek, 2010; Ortega & Eguía, 2011).

En esta figura se puede observar que hasta el siglo XX la única forma que se conocía para la producción de bienes era la **artesanal** (*craft manufacturing*). En este método de fabricación, se utilizaba un artesano que según sus habilidades llevaba a cabo una producción contra pedido. Se caracterizaba porque varias piezas se producían en pequeños talleres, para posteriormente ser ensambladas, la producción es coordinada en su totalidad por el dueño de la fábrica, la maquinaria para la producción es la misma para diferentes productos y, los lotes son muy variables y la producción presenta altos costos (Gola & Swic, 2010).

Posteriormente, los sistemas de manufactura evolucionan hacia los sistemas de manufactura **dedicados** (DMS- *manufacturing dedicated systems*), los cuales tiene su fundamento en la producción en masa de Henry Ford, quien se basó en la analogía hombre- máquina de Taylor y su modelo T (primer automóvil de producción masiva). Los DMS aparecen generalmente en dos formas: producción continua y producción intermitente (*batch*) (Hon, 2005).

Posteriormente, en los años 60's se presentan dos desarrollos paralelos; en primer lugar, los sistemas de manufactura **flexible** (FMS), que basan su estructura en el concepto de flexibilidad entendida como la capacidad de un sistema de fabricación para enfrentar la inestabilidad y variabilidad del medio en el que se encuentra, con el mínimo de pérdidas en tiempo, esfuerzo, costos o rendimiento (Beach, Muhlemann, & Price, 2000). En segundo lugar, el paradigma de fabricación de Toyota, "**justo a tiempo**" (*just in time* (JIT))(Schonberger, 2007), la cual se basa en el entrenamiento del recurso humano al rotarlo en las líneas de producción, en la fabricación de pequeños lotes de producción, minimización de tiempos muertos, obstáculos y desorden, dar

importancia a las relaciones con los proveedores, el mantenimiento preventivo, la optimización del transporte y manejo de inventarios, para lo cual utiliza herramientas como: tarjetas Kanban, las cinco s y los cinco porque, entre otros

En los años 70's hasta los 80's, se dio paso a métodos de fabricación, basados en filosofías japonesas, como: los círculos de calidad (*quality control* (QC)) (Abbott & Eckstein, 1981; Ingle, 1982); la gestión de la calidad, en donde es muy reconocido el método Ishikawa, quien propone siete herramientas básicas de procesos y mejora de la calidad, entre ellos, el diagrama que lleva su nombre o de espina de pescado (Ishikawa, 1985); el método Kaizen, que se basa en la mejora continua (Halevi, 2001); *Quality Function Deployment* (QFD) (Schonberger R, 2007); Gestión de la calidad total (*Total Quality Management* (TQM)), el objetivo principal de este método es la satisfacción del cliente (Halevi, 2001).

En los años 90's, basados también en filosofía japonesa, surgieron diversas posturas conceptuales referentes a la producción como: 1. La reingeniería (Hammer, 1990), el cual se fundamenta en el rediseño de los procesos, simplificando y eliminando, para dar paso a la automatización (Davenport, 1996); 2. Manufactura esbelta: (*Lean manufacturing*) se puede definir como un sistema de producción que busca la eliminación de toda clase de desperdicio a través de la capacidad de adaptabilidad del flujo de proceso (Niño & Bednarek, 2010); 3. Gestión colaborativa de la cadena de suministro (*supply chain managment*), este método permite el manejo de inventarios en forma conjunta entre los proveedores, la fábrica y los distribuidores, compartiendo información, para prever los cambios tecnológicos; 4. *World-class manufacturing*: se basa en el principio de la competencia mundial, para esto el método se divide en tres áreas: gestión, calidad y producción, por lo que toma herramientas de otras metodología para mejorar la eficacia del sistema y crear compañías de clase mundial (Halevi, 2001; Ortega & Eguía Salinas, 2011).

Los sistemas de manufactura tradicionales tienen una transición al aparecer los sistemas de manufactura **reconfigurables (RMS)**, que mezclan la producción esbelta (*Lean Manufacturing*), que permite la personalización de los productos y los sistemas de manufactura flexible, logrando la automatización flexible (Ortega & Eguía Salinas, 2011). Estos a su vez dan paso a los llamados **sistemas de manufactura emergentes** que se manifiestan como una solución para enfrentar los cambios rápidos del entorno (Leitão , Barbosa, & Trentesaux, 2012), por lo que comparten en general tres características fundamentales: en primer lugar ser reconfigurables, es decir, adaptables con los costos más bajos posibles, a los cambios tanto internos como externos, esta reconfiguración se puede lograr mediante la cooperación entre los componentes de fabricación; en segundo lugar, la autonomía que le permite al sistema actuar adecuadamente durante la perturbación y continuar la operación sin colapsar; y el auto-aprendizaje que provee retroalimentación al sistema de situaciones pasadas convirtiendo esta información en conocimiento para la toma de decisiones (Saadat & Owliya, 2008).

Es así, como a finales de la década del 90 comienza el desarrollo de nuevas formas de gestión de sistemas productivos inspirados en la organización de sistemas biológicos apareciendo paradigmas que basan su funcionamiento en la interacción entre sus elementos, la eliminación o evolución de los sistemas jerárquicos que permitan que las relaciones de autoridad sean fruto de la interacción entre las partes (Araújo , Benito, Martínez, & Sanz, 2004). Estos nuevos paradigmas proponen sistemas de fabricación autónomos y adaptativos, que puedan responder

rápida y correctamente a los cambios externos con capacidades inherentes, por lo que no necesitan la intervención de agentes externos para su adaptación al cambio (Barbosa, Leitão, & Pereira, 2011).

Los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos que se han desarrollado de una forma más extendida, tanto en aplicación como en el ámbito académico, son mostrados a continuación en la Tabla 1 .

Tabla 1. Sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos

Sistema de manufactura	Descripción
<p>Sistemas Multiagentes (<i>Multi-Agent Systems, MAS</i>)</p>	<p>En este tipo de manufactura el sistema de producción se divide en módulos físicos donde los agentes básicos son: i) Agentes producto, que representan las órdenes de fabricación, se crean al generar un nuevo pedido y cuentan con la información relativa a este; y ii) Agentes recurso representan los elementos del sistema productivo y por lo tanto, poseen la información de este. Estos agentes cuentan con información local y no necesitan de mucho conocimiento del resto del sistema para realizar sus tareas (Araújo, Benito, Olmo, & Sanz, 2004). Los MAS consisten en entidades autónomas con comportamientos reactivos y proactivos que interactúan con otros agentes por medio de mensajes, pueden presentar problemas llamados de miopía, pues los agentes no tienen una visión global del sistema (Wooldridge, 2002).</p>
<p>Sistemas de Holónicos de Manufactura (Holoníc Manufacturing Systems, HMS)</p>	<p>Se inspiran en la organización de los sistemas biológicos como las sociedad de seres vivos y se componen de entidades con cierto grado de autonomía y decisión ante las contingencias que les permite adaptabilidad y rapidez, pero que responden ante una entidad superior que hace que mantengan una funcionalidad apropiada dentro de la organización, denominadas holones (Araújo, Benito, Olmo , & Sanz, 2004). La teoría de la manufactura holónica se origina de conceptos desarrollados por Arthur Koestler quien al tratar de definir la naturaleza híbrida de las estructuras de los organismos vivos y de los grupos sociales propone la palabra holón derivada dela palabra holos (todo) y el sufijo on (parte). El centro de la teoría de los HMS es que en la naturaleza cada sistema tiene su propia parte en un sistema mucho más grande, es así como un holón es un todo al tener subunidades y es una parte al pertenecer a un todo, esto contradicción se ve reflejada en los atributos de autonomía, entendida como la capacidad de una entidad de crear y controlar la ejecución de sus planes y estrategias, y cooperación definida como el proceso mediante el cual un grupo de entidades desarrolla y ejecuta un plan. Es así como un HMS se puede definir como una holigraquía que integra varias actividades de</p>

Sistema de manufactura	Descripción
	fabricación para que a través del diseño, producción y comercialización proporcionan a la empresa agilidad en la fabricación (Christo & Cardeira, 2007).
Sistemas de manufactura Biológicos (<i>Biologic Manufacturing Systems</i> (BMS))	Son sistemas auto-organizados capaces de adaptar su comportamiento en respuesta a la incertidumbre y los cambios del ambiente Hon (2005). Fueron propuestos por Ueda, Vaario, & Ohkura (1997) en Japón (Ueda, 2007), su idea central es la aplicación de conceptos, como la autoorganización, el auto-crecimiento y la evolución, traídos de la biología para poder enfrentar los cambios en los ambientes de la manufactura, desarrollando un sistema flexible para un entorno dinámico en lugar de una configuración óptima para un entorno estático, según el mismo Ueda las bases del sistema de manufactura biológicos son los mostrados en la Figura 4.



Auto-Organización: Sistemas que necesitan poca supervisión y control, en estos se tienen módulos independientes, autónomos, que cooperan de manera inteligente para adaptarse rápidamente a las fluctuaciones del entorno (Ueda, Kito, & Fujii, 2006).

Racionalidad Limitada: característica propia de los seres humanos, donde se mezcla la emocionalidad y la racionalidad en la toma de decisiones (Ueda, Kito, & Fujii, 2006).

Figura 4. Bases de los Sistemas de Manufactura con aplicación de elementos Biológicos. Fuente: Elaboración propia a partir de Otálora, Ramírez, & Castellanos (2013).

Los organismos biológicos pueden adaptarse a los cambios ambientales y sobrevivir a los mismos mediante funciones como el auto-reconocimiento, el auto-crecimiento, la auto-recuperación y la evolución, las cuales se expresan mediante dos tipos de información genética que permite el paso de las funciones de una generación a otra e individual que implica la combinación del aprendizaje del individuo a partir de su propia vida que, al ser unificadas, hace al sistema autónomo pero adaptativo (Ueda K. , 2007).

En un ejercicio cuantitativo previo sobre la aplicación de elementos biológicos en diferentes áreas de la organización, en relación a los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos, se obtuvo puntualmente que las instituciones que han aportado más a la investigación del paradigma biológico son la Universidad de Kobe en Japón, a la cual pertenecen los autores con la mayor cantidad de registros Ueda, Fujii, Ohkura, Vaario y Hatono. En esta

institución se han desarrollado trabajos sobre los sistemas biológicos de manufactura a través de su modelamiento organismos vivos, además se destacan la división Manufacturing Science & Technology, de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), en Australia, a la cual pertenecen Tharumarajah, Wells y Nemes. Por otra parte, 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 ál.* (1997; 1999), Leitao *et ál.* (2000) y Cheraghi *et ál.* (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 (Jimenez, Castellanos, & Montoya, 2009).

Por otra parte Leitao, Barbosa, & Trentesaux (2012) llevan a cabo una recopilación de las aplicaciones que se han llevado a cabo de los elementos biológicos para resolver problemas complejos de ingeniería, principalmente en la manufactura como el ensamble, la optimización de la disposición de la planta, la programación de la producción el control de la producción y la cadena de suministro encontrando trabajos puntuales que involucran soluciones inspiradas en el comportamiento de las hormigas y las abejas la autoorganización y otros elementos biológicos, que se han utilizado para optimizar los diseños de las máquinas, resolver problemas de planificación y asignación de tareas, ruteo, detección de fallas y balances de carga en la maquinaria, generación y evaluación de planes de montaje, y distribución de recursos, entre otros. Los principales hallazgos se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones de sistemas con elementos biológicos para la resolución de problemas de manufactura. Fuente: Adaptado de Leitao, Barbosa, & Trentesaux (2012).

Alcance del problema (problem domain)	Soluciones existentes inspiradas en el comportamiento de las hormigas y las abejas	Soluciones existentes inspiradas en la autoorganización o GA	Otras soluciones existentes basadas en elementos biológicos
Ensamble/ desensamble (assembly/disassembly)	Shan <i>et al.</i> (2007), Sharma <i>et al.</i> (2009), Lu <i>et al.</i> (2008)	Braganc, Paulo Leit, J. B. a. (n.d.). Bio-inspired multi- agent systems for reconfigurable.pdf.	Lv and Lu (2009), Dong <i>et al.</i> (2007)
Optimización de la disposición de planta (layout optimization)	Jain and Sharma (2005), Sun and Teng (2002), Chen and Rogers (2009), Corry and Kozan (2004)	Wang <i>et al.</i> (2008), Kulkarni and Shanker (2007)	Braganc, Paulo Leit, J. B. a. (n.d.). Bio- inspired multi-agent systems for reconfigurable.pdf.
Programación de producción(manufacturing scheduling)	Arnaout <i>et al.</i> (2008), Chen <i>et al.</i> (2008), Xu <i>et al.</i> (2009), Blum and	Qiu <i>et al.</i> (2009), Aggoune <i>et al.</i> (2001), Tharumarajah	Shi <i>et al.</i> (2009), Zhang and Wu (2008), Pham <i>et al.</i> (2007b), Cicirello

Alcance del problema (problem domain)	Soluciones existentes inspiradas en el comportamiento de las hormigas y las abejas	Soluciones existentes inspiradas en la autoorganización o GA	Otras soluciones existentes basadas en elementos biológicos
	Sampels (2004), Gravel <i>et al.</i> (2002)	(1998)	and Smith (2001a), Cicirello and Smith (2001b), Xia and Wu (2005), Zhao <i>et al.</i> (2006)
Control de producción (production control)	Hadeli <i>et al.</i> (2004)	Leit~ao and Restivo (2006), Bussmann <i>et al.</i> (2004), Sallez <i>et al.</i> (2009)	Vaario and Ueda (1998), Ueda <i>et al.</i> (2001) Weyns <i>et al.</i> (2008), Zbib <i>et al.</i> (in press)
Cadena de suministro (supply chain)	Suva <i>et al.</i> (2004), Sun <i>et al.</i> (2008), Caldeira <i>et al.</i> (2007)	Elmahi <i>et al.</i> (2004), Kaijun <i>et al.</i> (2010), Jianhua and Xianfeng (2010)	Sinha <i>et al.</i> (2009), Qi <i>et al.</i> (2008)

Es así, como a partir de lo expuesto anteriormente se pueden plantear consideraciones sobre la aplicación de los SMB a países en vía de desarrollo, las cuales se presentan a continuación.

5 Consideraciones para la aplicación de un sistema de manufactura con elementos biológicos en contextos en vía de desarrollo

Los SMS como alternativas para el mejoramiento de la competitividad de las empresas en el contexto mundial, al impartir características propias de los sistemas vivos, han tenido un alto impacto, pero no se han aplicado de forma extendida debido a que implica innovaciones organizacionales, al convertir a las empresas en entidades simples, eficaces y adaptables. Por lo que, como se evidenció en los análisis cuantitativos de la vigilancia tecnológica, se ha preferido aplicar elementos biológicos a sistemas de manufactura que tienen un mayor despliegue, por ser paradigmas que se han aplicado, como los FMS y los RMS.

Para países en vía de desarrollo, las temáticas relacionadas con sistemas de manufactura emergentes no tienen un nivel alto de desarrollo académico, sin embargo, si se encuentran trabajos que muestran la necesidad de modificar los paradigmas de producción de las empresas, en cuanto a la capacidad para responder a entornos variables sin perder la sostenibilidad; permitiéndole a las organizaciones en consecuencia el mejoramiento de su productividad, mediante la instauración de elementos que le impartan flexibilidad, agilidad y auto-organización para prepararse ante los factores externos que afectan la productividad como la interacción con los clientes y la competencia, lo cual evita situaciones como la pérdida de clientes y las regulaciones del gobierno pues, al actuar como un ser vivo la compañía, puede reagruparse evitando la disminución de la productividad. Además, la empresa, al reorganizarse en estructuras más simples, disminuye los riesgos de disminución de productividad por factores internos, dado que por ejemplo, mecanismos como la evolución deben ayudar a que la investigación y desarrollo tenga como resultado nuevos procesos y productos que maximicen el uso de los recursos y la racionalidad limitada propia de estos conceptos emergentes; esto ayudará a que los aspectos organizativos referentes a las técnicas de administración y relaciones con los empleados sean más efectivas convirtiendo a la cooperación en un elemento central de la organización, lo que según las teorías expuestas anteriormente, es uno de los factores de éxito para el incremento de la productividad.

Sin embargo, por el carácter de innovación que necesita la implementación de un paradigma de manufactura con aplicación de elementos biológicos para el mejoramiento de la productividad, no todas las empresas pueden llevar a cabo esta aplicación de manera inmediata, por lo que se retoma la clasificación de las empresas propuesta por Castellanos (2007) con base en la asimilación de conocimiento y tecnología, en la que se dividen en Tradicionales, Tecnicistas, Fraternalistas e Inteligentes (ver Tabla 3).

Tabla 3. Características de los tipos de Organizaciones según la asimilación de conocimiento y tecnología. Fuente: Adaptado, a partir de Castellanos, 2007 & León, 2013.

Tipo	Descripción
Tradicionales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No poseen una base tecnológica y se integran verticalmente. ▪ Poseen activos casi en su totalidad tangibles, sus capacidades son potenciales. ▪ El nivel de rutinas es bajo, al igual que el aprendizaje organizacional y el



Tipo	Descripción
	desarrollo de competencias. <ul style="list-style-type: none">▪ Su ventaja competitiva está sustentada en conseguir metas y objetivos.▪ Las respuestas al entorno son de carácter reactivo.
Tecnicistas	<ul style="list-style-type: none">▪ Poseen un nivel elevado de activos tangibles, sus capacidades aunque escasas ya han movilizad rutinas, por tanto son de tipo dinámico.▪ El aprendizaje organizacional y el desarrollo de competencias es emergente y no es colectivo.▪ Empresas de base tecnológica
Fraternalistas	<ul style="list-style-type: none">▪ Poseen activos en su mayoría intangibles, aunque el nivel de activos tangibles aún es considerable. Sus capacidades más elevadas tienden a ser potenciales.▪ El nivel de rutinas es más alto que en las tecnicistas, al igual que el aprendizaje organizacional y el desarrollo de competencias.▪ Poseen niveles intermedios de conocimiento pero no herramientas para su aplicación.▪ Compiten por escalas y costos.
Inteligentes	<ul style="list-style-type: none">▪ Empresas de base tecnológica.▪ Se identifican procesos de gestión del conocimiento, aprendizaje organizacional e innovación.▪ Poseen activos en su mayoría intangibles, y capacidades dinámicas soportadas en el conocimiento y la tecnología.▪ El nivel de rutinas es alto, al igual que el aprendizaje organizacional y el desarrollo de competencias. Son procesos que brindan mayores oportunidades organizacionales.▪ Su ventaja competitiva está sustentada en sostenerlas en el tiempo.

Es así, como la pertinencia de la aplicación de los atributos biológicos a los sistemas de manufactura depende del grado de innovación y capital intangible que la empresa tenga en su *stock*. Lo que significa que empresas que se encuentren clasificadas como inteligentes, es decir, que cuentan con sistemas de gestión del conocimiento (auto-aprendizaje) y flexibilidad (auto-organización) desarrollados pueden de forma más fácil adquirir y/o implementar otras características propias de los SMB. Mientras que empresas fraternalistas y tecnicistas deben pasar por fases anteriores que les permitan empatar sus capacidades dinámicas y potenciales con la gestión del conocimiento, la información y la innovación. Por lo que se propone una implementación en fases que se deben llevar a cabo en ciclos de aprendizaje organizacional para finalmente implementar la innovación: Fase I. *Diagnóstico Empresarial*: Indicadores de productividad, factores de riesgo a nivel externo e interno que afectan el indicador, nivel de gestión del conocimiento, perfil innovador y flexibilidad organizacional. Fase II. *Priorización*: de los atributos biológicos que se consideren importantes a partir del diagnóstico para disminuir el nivel de riesgo de los factores internos y externos que afecten la productividad. Fase III. *Plan de acción*: para la disminución de las brechas entre el óptimo del atributo y el estado actual. Fase IV. *Implementación*: por ciclos dependiendo de la priorización de brechas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, la pertinencia de la aplicación de los SMB a contextos en vía de desarrollo para el mejoramiento de la productividad depende de la clasificación en la que se encuentre la empresa, es decir, para empresas tradicionales donde el capital es básicamente tangible, la dificultad para transferir atributos biológicos es alta y esta disminuye a medida que las organizaciones se acercan a convertirse en inteligentes, puesto que tienen características que las acercan a comportarse como organismos vivos, entre ellos, procesos consientes de aprendizaje, gestión del conocimiento e innovación.

6 Conclusiones

El ejercicio de vigilancia tecnológica, expuesto en la presente ponencia, permitió establecer los aportes a lo largo del tiempo de diferentes autores al concepto de productividad desde su aparición, y corroborar la evolución histórica establecida para los sistemas de manufactura tradicionales y la presentación de los sistemas de manufactura reconfigurables como un paradigma de intersección entre los sistemas de manufactura tradicionales y emergentes.

Los sistemas de manufactura presentan una clara diferenciación entre tradicionales y emergentes, siendo la principal característica de los emergentes la flexibilidad y respuesta ante el entorno. En el mundo, los sistemas de manufactura que se han utilizado de forma más extensiva son los Flexibles y Reconfigurables que fueron los primeros en tener características de flexibilidad como tal; posteriormente, las nuevas investigaciones han ido migrando hacia el uso de atributos biológicos en estos sistemas o la creación y aplicación de nuevos paradigmas como Holónicos, Fractales, Agentes y Biológicos, entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior, al comparar las temáticas emergentes con las que se están estudiando en los países en vía de desarrollo, se encuentra que no se ha saltado a sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos, y en su mayoría, se siguen tratando temáticas referentes a manufactura esbelta y gestión de la calidad que, como se evidencia en literatura mundial, permiten el incremento de indicadores como la productividad pero no la ágil respuesta a cambios en el entorno lo que podría implicar disminuciones en el porcentaje de mercado y cambios de tecnología sin rastrear que dejarían a las empresas en situación de desventaja.

La productividad sigue presentándose como un indicador vigente para la medición de la eficiencia de la producción en las empresas y de los niveles de calidad de vida a nivel de país, utilizándose frecuentemente a la productividad laboral y la productividad total de los factores como elementos de comparación. Lo anterior permite validar la necesidad de buscar nuevos métodos o nuevos escenarios para métodos existentes de producción.

La aplicación de los sistemas de manufactura, con aplicación de elementos biológicos (SMB), es pertinente para el incremento de la productividad, ya que permiten una respuesta más rápida y efectiva a las amenazas externas de la organización y cambios en la dinámica interna que hace más eficientes las relaciones entre las entidades que la conforman, y por lo tanto, permite la eficiencia en el uso de los recursos.

7 Bibliografía

- Abbott, R., & Eckstein, M. (1981). *Quality Circles and Quality of Work Life*. Milwaukee, WI.: American Society for Quality Control.
- Adam, E. (1983). Towards a typology of production and operations management systems. *Academy of Management Review*, 365-375. Vol 8. No.3.
- Araújo, J., Benito, J., Martínez, R., & Sanz, P. (2004). Situación actual y expectativas de los sistemas de fabricación basados en agentes. *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, (pág. 9 y 10 de septiembre). Leganes.
- Barbosa, J., Leitão, P., & Pereira, A. (2011). Combining adaptation and optimization in bio-inspired multi-agent manufacturing systems. (I. I. Symposium, Ed.) *Industrial Electronics (ISIE)*, 1773-1778.
- Baykasoglu, A. (2001). The reconfiguration problem of manufacturing systems. *Journal of Polytechnic*, 69-80. Vol.4. No.4.
- Beach, R., Muhlemann, A., & Price, D. (2000). A review of manufacturing Flexibility. *European Journal of Operational Research*, 41-57.
- Castellanos, O. (2007). *Gestión tecnológica: de un enfoque tradicional a la inteligencia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Centro Nacional de Productividad de Colombia. (2008). Medición de la productividad del valor agregado. *Revista virtual del Centro Nacional de Productividad de Argentina*, 07(02).
- Colmenares, O. (2007). Medición de la productividad empresarial. *Gestiópolis*.
- Christo, C., & Cardeira, C. (2007). Trends in intelligent manufacturing systems. *Industrial Electronics*, 3209-3214.
- Davenport, T. (1996). The Fad that Forgot People. *Fast Company*, 77-74. Vol1. No.1.
- Gola, A., & Swic, A. (2010). Directions or manufacturing system's evolution from the flexibility level point of view. *Disponibile en http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2012/e021.pdf*, 226-238.
- González, C., & Urdaneta, A. (2007). Medición de la eficiencia en el sector avícola mediante índices de Malmquist. *Agroalimentaria*.
- Guerrero, A., & Rivera, C. (2009). México: cambio en la productividad total de los principales puertos de contenedores. *REVISTA CEPAL*.
- Hannula, M. (2002). Total productivity measurement basedon partial productivity ratios. *International Journal of Production Economics*, 57-67.
- Hon, K. (2005). Performance and Evaluation of Manufacturing Systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54(2), 139-154.
- Ingle, S. (1982). *Quality Circles Master Guide: Increasing Productivity with People Power*. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall.
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? the Japanese way*. London, UK.: Prentice-Hall International.
- Jimenez, C., Castellanos, O., & Montoya, A. (2009). Manufactura biológica e inteligente: atributos de la vida aplicados al desarrollo tecnológico. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 127-134.
- Leitão, P., Barbosa, J., & Trentesaux, D. (2012). Bio-inspired multi-agent systems for reconfigurable manufacturing systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(5), 934-944.
- León, A. (2013). Aporte Biológico a la gestión de los recursos y las capacidades tecnológicas. *Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Martínez, M. E. (2006). *El concepto de la productividad en el análisis económico*. Asociación de economistas críticos.
- Merino, F. (2012). Firms internationalization and productivity growth. *Research in Economics*, 349-354.

- Niño , L. F., & Bednarek, M. (2010). Metodología para implantar el sistema de manufactura esbelta en PyMES industriales mexicanas. *CONCYTEG*.
- Ortega , C., & Eguía Salinas, I. (2011). Sistema de manufactura reconfigurable y competitividad industrial . *Economía y Administración (E&A)* , 97-113.
- Otálora, I., Ramírez, D., & Castellanos, O. (Octubre de 2013). Sistemas de Manufactura Biológica SMB para el mejoramiento de la productividad. *ALTEC XV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*. Porto, Portugal.
- Park, H.-S., & Tran , N.-H. (2010). An intelligent manufacturing system with biological principles. *International journal of CAD/CAM*, vol. 10, no 1.
- Saadat, M., & Owliya, M. (2008). Changes and disturbances in manufacturing systems: a comparison of emerging concepts. *Automation Congress World* , 1-6.
- Shape, A. (2002). Productivity concepts, trends and prospects. An Overview. *The review of economic performance and social progress*, 29-56.
- Ueda , K. (2007). Emergent synthesis approaches to biological manufacturing systems. *Digital Enterprise Technology*, 25-34.
- Ueda, K., Kito, T., & Fujii, N. (2006). Modeling Biological Manufacturing Systems with Bounded-Rational Agents. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 55(1), 469-472.
- Velásquez, Y., Nuñez, B., & Rodríguez, M. (1-4 de Junio de 2010b). Estrategias para el mejoramiento de la productividad. *Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Arequipa, Perú.
- Warnecke, H., & Steinhilper, R. (1988). *Flexible Manufacturing Systems: Proceeding of the 7th International Conference and 20th Annual IPA Conference, 13-14 September 1988*. Stuttgart, West Germany: IFS Publication.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multi-Agent Systems*. Liverpool, UK: John Wiley & Sons Ltd.