



ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LA PRODUCCION SISTEMAS DE MANUFACTURA BIOLOGICA

ALTERNATIVES FOR THE MANAGEMENT OF THE PRODUCTION BIOLOGICAL MANUFACTURING SYSTEMS

Lorena Serrato¹, Oscar Fernando Castellanos², Alexandra Montoya³

RESUMEN

Los sistemas productivos modernos no han sido suficientemente flexibles para responder a las variaciones que se producen constantemente en los requerimientos del producto, llas aproximaciones tradicionales no permiten una fácil extensión y reconfiguración de los sistemas de fabricación (Podberrezcki, Salvador, & Terache, 2005) haciendo que la mayoría de los sistemas convencionales no puedan adaptarse a esos cambios y al medio ambiente. Para gestionar la complejidad de fabricación, se han propuesto nuevos sistemas de manufactura que se inspiran en el funcionamiento de los organismos vivos, y tienen por finalidad la preocupación por la incertidumbre en la industria manufacturera a través de ideas tales como la auto-organización, el aprendizaje y la evolución. Así, la disertación de este artículo se centra en la evolución de los sistemas productivos y la perspectiva de abordaje de los mismos, los diversos planteamientos conducen a establecer los sistemas productivos imperantes en distintas épocas como respuesta a concepciones paradigmáticas orientadas a mejorar la productividad organizacional, para luego centrar la discusión en los cambios ocurridos en la adopción de los paradigmas con fundamentos biológicos.

Los “sistemas de manufactura biológica” identifican las semejanzas entre los procesos de fabricación y el funcionamiento de un organismo, aplicando características propias de los seres vivos tales como: la evolución, la flexibilidad y la adaptabilidad a los procesos industriales. Las analogías realizadas en el transcurso de esta discusión podrán ser utilizadas como base para el futuro desarrollo de herramientas y técnicas que brinden una mejor operacionalización de los procesos de transformación. Las contribuciones biológicas en el aspecto tecnológico permitan una mejor preparación del aparato productivo al responder a las necesidades cambiantes del mercado y a los paradigmas organizacionales en constante evolución, y serán de gran utilidad en el diseño, optimización y control de calidad del proceso manufacturero.

Palabras Clave: Biociencias, manufactura inteligente, manufactura biológica, metáforas, ingeniería de producción. Sistemas biológicos productivos.

¹ Ingeniera Industrial. Candidata a Magister en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Investigadora, Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad, BioGestión. slserrato@unal.edu.co

² Ingeniero químico. M.Sc., en Ciencias Técnicas. Magister 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. M.Sc. en Administración de Empresas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Ph.D., en Ciencias económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Coordinadora, oficina Concurso Docente, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lamontoyar@unal.edu.co



INTRODUCCIÓN

El agotamiento del paradigma tradicional respecto a las diversas formas de organización del trabajo con miras a incrementar la productividad en las organizaciones, ha llevado a buscar paradigmas industriales que estén en la capacidad de encontrar rutas alternas que gestionen los cambios y permitan a las compañías planificar de forma diferente los componentes del sistema industrial a fin de perfeccionar los objetivos y responder de manera eficaz a las demandas cambiantes incluyendo la optimización de los productos en el rediseño de máquinas, el proceso de proyectos, el arreglo de componentes, la planeación de la producción y el control de estrategias (ElMaraghy, AlGeddawy, & Azab, (2008)).

En respuesta a esto las políticas y directrices de las compañías se están reorientando a la generación de valor a través de esquemas productivos caracterizados por la flexibilidad y adaptabilidad a la dinámica cambiante del mercado. Por tanto, las organizaciones se enfrentan a retos cada vez mayores para satisfacer las necesidades de los clientes y consolidar la participación en el mercado. Con el fin de contrarrestar estos efectos, Investigadores e ingenieros de producción se han interesado en los paradigmas que asemejan los sistemas productivos industriales al funcionamiento de los organismos vivos, experimentando una rápida comprensión, crecimiento y desarrollo entorno a la aplicación de lo que se ha llamado sistemas de manufactura biológica o sistemas de manufactura inteligente, presentando un impacto fundamental en la ingeniería de producción al analizar los modelos y procesos de evolución en cuanto a diseño y desarrollo de productos en forma de sistemas. Así se establece una analogía entre el diseño y funcionamiento de los sistemas biológicos y los sistemas manufactureros con el fin de optimizar los procesos de producción aprendiendo de los sistemas naturales en cuanto a la adaptabilidad, capacidad de respuesta, auto organización y defensa (Mill, y otros, 2000). Ahora los ingenieros se han interesado en uso de estos paradigmas con la esperanza de que los mecanismos puedan deducirse de la naturaleza y que a su vez puedan ser utilizados para que los sistemas de fabricación se auto-organicen y adapten al entorno.

El artículo expone un panorama evolutivo de los sistemas productivos y como estos han sido complementados por aportes de otros campos, primordialmente se describe los eventos y elementos más relevantes que aportaron a la conformación de los sistemas de gestión de la producción, lo cual ha contribuido a entender y mejorar procesos y mejorar la productividad y competitividad de las industrias.

La discusión que se presenta a continuación parte de la filosofía del trabajo construido por Rodríguez, M. y Mendoza, H. en su artículo de investigación denominado “Sistemas productivos y organización del trabajo: Una visión desde Latinoamérica” publicado en Gaceta Laboral en agosto del 2007 (ver referencia bibliográfica) y difundido por la biblioteca científica electrónica SciELO.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó una revisión de la literatura enfocada a las contribuciones de las ciencias de la vida a los sistemas industriales manufactureros específicamente a los procesos de producción utilizando técnicas de scanning a partir de la información disponible en bases de datos de artículos técnicos y científicos, consultadas en el Sistema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia – Sinab (se tomó como referente la base ScienceDirect, EBSCO Academic e ISI web of Knowledge).

Se analizaron los registros disponibles entre 1996 y 2010 en las bases de datos mencionadas, obtenidos mediante búsquedas que relacionaban las palabras clave como Gestión organizacional, biociencias, manufactura inteligente, manufactura biológica, metáforas organizacionales, ingeniería de producción y sistemas biológicos productivos que permitieron filtrar documentos acordes con la investigación de la aplicación de las ciencias biológicas a la gestión organizacional y a los sistemas de producción.

RESULTADOS

1. Panorama Evolutivo de los sistemas de producción manufacturera

Desde sus inicios, el ser humano concibió el trabajo no solo como un medio de supervivencia que le aseguraría alimento, abrigo y protección, más allá de esto se concibió como un vínculo social que permitiría poco a poco y con el paso del tiempo configurar de manera formal y legítima diferentes formas de organización.

La historia ha permitido identificar rasgos generales de diferentes sistemas, que aunque en su época no eran conocidos bajo este término, si se encontraba en ellos estructuras y procedimientos hoy en día son característicos de un sistema manufacturero. A partir de la edad moderna y considerando los postulados de Taylor en la Administración científica del trabajo, los esquemas de producción se han fortalecido en el uso y aplicación de la tecnología. Han sido varios los autores que recopilaban información acerca de la evolución de dichos sistemas, tal es el caso de Neffa en 1998 (citado por Lucena, 2003) quien en su escrito plantea las diferencias entre los sistemas productivos imperantes haciendo un análisis desde aquellos considerados rudimentarios (sistemas artesanales) hasta los considerados sofisticados.

El análisis evolutivo se realiza en torno a la integración e incorporación del conocimiento científico y del saber tecnológico en pro de la obtención de beneficios a través del aumento de la productividad, entendiendo que este aumento es una consecuencia de la capacidad del sistema para atender rápidamente las necesidades del mercado.

El primer sistema ampliamente conocido por su estructura y organización corresponde al paradigma taylorista, el cual enfocó el aumento de la productividad a través de la estandarización y especialización del puesto de trabajo (economía de movimientos y tiempos), Taylor buscó reducir los costos de cada pieza producida por medio de la simplificación y especialización del trabajo haciendo que la mano de obra fuese poco calificada. Es necesario tener en cuenta que este paradigma surgió en una época de menor auge tecnológico y mayor expansión económica,

haciendo que la mano de obra fuera difícilmente sustituida por sistemas de automatización dentro de la fábrica (Neffa, 1999) y no fuese necesario competencias y habilidades especiales en cada trabajador.

Sin embargo la producción en masa - conocida como aquella encargada de fabricar un producto estandarizado en grandes cantidades- requería personal semicualificado que trabajara con equipo especializado, de allí parte el paradigma fordista liderado por Henry Ford, quien articuló las estrategias taylorianas a los sistemas de fabricación en masa buscando elevar el nivel de mecanización en la estructura a partir de la línea de montaje. Sus objetivos radicaban en incrementar la desintegración de la producción, reducir el tiempo de fabricación y eliminar el manejo indirecto de las existencias buscando caminos más cortos que permitieran un ahorro en el tiempo de proceso. (Williams, Haslam y Williams, 1994).

Los patrones de producción utilizados en esa época fueron modificados debido a las demandas ambientales a que hubo lugar, esto llevó a las industrias a modificar los procesos de un solo producto (sistema de fabricación en masa) a estructuras más complejas que garantizaran el aumento de productividad a un bajo costo ambiental, esto sumado a que la producción con escasa diversificación no se adaptaba a la nueva conformación de la demanda evidenciaron serias limitaciones y por lo tanto un agotamiento de los paradigmas tradicionales. Neffa (1999)

Las nuevas tendencias en los modelos de producción se orientan a: la flexibilidad del sistema en responder a los cambios en la demanda y en el uso del tiempo de trabajo, mayores esfuerzos en investigación y desarrollo en lo referente a innovación en productos y procesos, la polivalencia de los trabajadores y las técnicas de los sistemas justo a tiempo. Algunas de las características claves de estas tendencias fueron puntualizadas por De la Garza (1999), se aclara que no existe un modelo único de producción que asegure un aumento en la productividad trabajando bajo las características mencionadas anteriormente, por el contrario es la integración de elementos de diferentes sistemas productivos los que aseguran el éxito del proceso.



Los sistemas posfordistas fueron considerados como modelos de producción emergentes, en ellos se resalta la priorización en los procesos de innovación tecnológica y de aprendizaje, dentro de estos se encuentra el Neoschumpeterianismo cuyo objetivo es la flexibilización de los componentes del sistema a través de las mejoras en las formas de organización del trabajo y las transformaciones en el proceso productivo coordinando las actividades con las tendencias en el consumo. Estos procesos de mediación entre oferta y demanda son también considerados por el regulacionismo y la especialización flexible, sistemas que hacen especial énfasis en la utilización de tecnologías y en las relaciones laborales entre jefes y empleados considerando la calificación de la fuerza de trabajo como elemento fundamental en la flexibilización y adaptación del sistema.

Por su parte, los modelos japoneses como el Toyotismo se enfocaron en el proceso productivo buscando: 1. la calidad total de sus productos a través de las herramientas del modelo conocido como “cero defectos” en el que se involucra a todo el personal del sistema en los procesos de revisión y control del producto utilizando muestras estadísticas, lotes, porcentajes de fallas y otros elementos característicos, 2. Los sistemas de justo a tiempo en el que se mejora de manera permanente la calidad y productividad debido a la eliminación del desperdicio y la mayor velocidad en todos los procesos del trabajo (Zalacán, 1994), su objetivo radica en lograr la producción y entrega de los productos en el momento y cantidad que el cliente los necesita.

Algunos aspectos considerados por el Toyotismo son retomados por los sistemas basados en Lean Manufacturing, estos se encuentran orientados a lograr una producción con mínimos niveles de stocks, desperdicios y sobre todo de tiempos “muertos”, similar a los sistemas denominados “Industrial Governance” los cuales buscan la especialización flexible y el fortalecimiento de las relaciones entre la industria y su entorno, obteniendo procesos de retroalimentación constante.

Piore y Sabel (1984) en el texto: “The second Industrial Divide” (citado por Guerra, 2001) plantea el paradigma de la especialización flexible y

la necesidad imperante de las industrias de adaptarse a las fluctuaciones económicas fortaleciendo las normas de regulación de los mercados y los sistemas de relaciones laborales. Las industrias pertenecientes a los países con economías emergentes han venido adaptando sistemas productivos que proporcionan mayor flexibilidad a sus modelos, para ello han apropiado estructuras utilizadas en países de mayor nivel de desarrollo orientados en aumentar los niveles de productividad, aunque muchos de ellos han sido exitosos en su labor es necesario tener en cuenta que cada economía presenta características inherentes que hacen difícil el proceso de incorporación de tales estructuras.

Este tipo de adopciones han ocurrido de forma asimétrica sobre todo en América Latina donde se han incorporado sistemas específicos de simplificación de tareas y rotación de cargos, se puede observar la aplicación de elementos puntuales en el proceso, tales como: círculos de calidad, just in time y reducción de inventarios con excelentes resultados.

Las industrias han optado por incluir en sus planes de mantenimiento técnicas de MPT (Mantenimiento productivo total) y procesos de mejoramiento continuo los cuales implican la participación de todos los integrantes del aparato productivo en las actividades de mantenimiento y aquellas que generen mayores beneficios, estas operaciones maximizan la efectividad del equipo y mejorar las relaciones laborales a través de participación de grupos.

En la parte de inventarios, se han encontrado diversos modelos utilizados con el objetivo de eliminar altos niveles de stock y de material represado, este tipo de actividades es fundamental para la optimización de los costos derivados de la producción y para la coordinación de los procesos de fabricación. Los modelos ampliamente difundidos son: 1. El MRP o modelo de planeación de recursos de manufactura se encarga de controlar los niveles de inventarios, planear la capacidad del sistema y asignar las prioridades del proceso, su objetivo principal es minimizar la inversión realizada en los inventarios maximizando la eficiencia operativa de la planta. 2. El control Kanban utilizado inicialmente en los sistemas



productivos Toyota (Hopp y Spearman, 1996), este tipo de control utiliza un tipo de tarjetas llamadas “Kanban” donde se vinculan las actividades y el material requerido en las actividades de producción (Berkley 1992 y Philipoom et. Al. 1987). Este tipo de control se utiliza principalmente en las etapas de fabricación más avanzadas en las que existen cuellos de botella que generalmente no responden con rapidez a los cambios (Deleersnyder et. al. 1989 y Tayur 1993). y 3. El Conwip considerado una forma generalizada de Kanban en la cual se combina el rendimiento y la efectividad del sistema MRP con los bajos niveles de inventarios de Kanban, además de entregas eficientes y mejor nivel de inventario. (Koh y Bulfin, 2004).

2. Proceso evolutivo de los sistemas de producción desde la perspectiva biológica

A través del material genético, los organismos son capaces de codificar sus características y heredarlas de generación en generación, las características que son transferidas presentan fortalezas comparadas con su origen. Por lo tanto el término evolución ha sido definido por las ciencias de la vida como “un proceso que con el tiempo cambia las características de los organismos para hacerlos más adaptables y flexibles al medio” (ElMaraghy, AlGeddawy, & Azab, (2008), pág. 6). Los sistemas de manufactura presentan también un proceso evolutivo comparable con lo biológico, a este nivel el término evolución está relacionado específicamente con los procesos de fabricación del sistema y el producto final en lo relacionado con innovación y desarrollo, utilizando como estrategia de adaptación y flexibilización la maximización de la creatividad y la incorporación de ciencias interdisciplinarias que enriquezcan el proceso y aumenten la competitividad.

Samuel Butler se perfila como uno de los autores más reconocidos en los estudios de tipo comparativo entre la evolución de los sistemas de manufactura y aquellos pertenecientes a los organismos. Butler se enfoca en encontrar las analogías de los dos sistemas exponiendo propiedades comunes como las derivadas de las fuentes de energía que requieren tanto organismos como las máquinas, así mismo destaca las

diferencias entre los dos: “Si hay que destacar una verdadera diferencia, ésta parece ligada, no a propiedades intrínsecas, sino a la diferente velocidad con que evolucionan los organismos y las máquinas. Estas últimas están, de hecho, sujetas a una evolución muy veloz que puede escapar del control del hombre, favoreciendo la supremacía de las máquinas.” (Pizzocaro, 1994)

Para 1859 Darwin caracteriza el proceso de evolución de los sistemas de manufactura como un proceso gradual al considerar que existen unas fases de preparación en las cuales se realizan pequeñas invenciones que luego son insumo para una fase de experimentación, partiendo de pequeños cambios hasta llegar a sistemas estructurados y con un fin específico.

En comparación con los sistemas industriales se podría decir que el término evolución parte de la transferencia de características del sistema, que en la parte biológica son conocidos como “códigos genéticos”, en los cuales se configura la estructura, características y métodos de operación que se deben adaptar a la dinámica cambiante del mercado y a la reconfiguración con el entorno. Por lo tanto procesos y productos están en constante evolución al buscar adaptarse y sobrevivir a las demandas cambiantes del mercado y desarrollar estrategias y técnicas que permitan fortalecer esas capacidades para las nuevas generaciones. (ElMaraghy, AlGeddawy, & Azab, (2008)).

El uso de la terminología biológica en los procesos de evolución industrial es importante, debido a la capacidad de plasmar los cambios a que se puede enfrentar un proceso y producto en el tiempo, esto permite anticipar y prevenir los cambios en tiempos futuros, sobre todo aquellos directamente relacionados con las variaciones del mercado y las presiones de la competencia, la capacidad de respuesta que presente el sistema determinará la supervivencia en el mercado. Por ello es importante evaluar constantemente las tecnologías, los productos y los procesos con el fin de elegir el mejor camino para aumentar la capacidad y adaptar los sistemas de manufactura al entorno.

3. Influencia de la concepción biológica en los sistemas de manufactura.



Aunque han emergido nuevos paradigmas en torno a los sistemas de producción, la complejidad de éstos sigue en aumento. Algunos ejemplos notables incluyen la fluctuación de la demanda y los eventos inesperados en la planta de producción tales como el mal funcionamiento de las máquinas. Los fabricantes deben hacer frente de forma adecuada al entorno dinámico de fabricación, sin embargo, la mayoría de los sistemas convencionales no pueden adaptarse a esos cambios y al medio ambiente debido a su configuración de sistema rígido.

Para gestionar la complejidad de fabricación que se presenta, se han propuesto nuevos sistemas de manufactura en los que se expone un concepto de fabricación de próxima generación. Tales conceptos se inspiran en el funcionamiento de los organismos vivos, y tienen por finalidad la preocupación por la complejidad e incertidumbre en la industria manufacturera a través de ideas tales como la auto-organización, el aprendizaje y evolución.

La atracción principal estos “sistemas de manufactura biológica” es que se enfocan potencialmente en los conceptos de auto-organización y adaptación. El interés en estos sistemas se ve fuertemente reflejado en Japón, donde un grupo liderado por Fuji trabajando en colaboración con Fujitsu, Honda, Komatsu y Sony, así como grupos académicos en Kobe y Universidades de Kyoto han establecido dos proyectos para investigar el concepto de “sistemas de fabricación biológica” como parte de los sistemas de fabricación de próxima generación.

Los sistemas inteligentes de fabricación tienen como objetivo investigar la utilidad y de imitar, dentro de un sistema de fabricación, la auto-organización y la optimización de la evolución biológica de un sistema. El sistema de fabricación es visto como un organismo que debe responder a las señales externas (estímulos) y crear productos.

4. Aportes de las biociencias a la gestión de la producción.

El nacimiento de nuevos paradigmas de producción ha requerido la búsqueda de analogías

derivadas de conceptos biológicos que permitan la optimización de los procesos y sobre todo que causen un impacto positivo en la gestión de la producción. Tales conceptos biológicos, adaptables a los sistemas productivos han sido estudiados y analizados en profundidad evidenciando los aportes y ventajas en su aplicación.

Los componentes del sistema de manufactura visto desde una perspectiva biológica, tales como: herramientas, máquinas, robots, materiales, etc. deben ser considerados como organismos independientes y autónomos ya que los productos son transformados inicialmente por materias primas que transfieren su “código genético” y sus características heredables al producto, es decir presentan una “evolución”. Por tanto la consideración de este tipo de sistemas tiene como finalidad adaptar todos sus elementos a los cambios impredecibles y a los entornos con elevado nivel de complejidad e incertidumbre mediante el aprendizaje de capacidades. (Ueda, y otros, 2000).

Las redes neuronales han sido uno de los conceptos biológicos con mayor aplicación a los sistemas productivos, desarrollados entorno al diseño y la optimización de los procesos (Mendes, 1999). La analogía derivada de este concepto parte del comportamiento de las neuronas biológicas y como este puede ser imitado en los procesos de aprendizaje del sistema, logrando que la adaptación sea mayor, exista una alta tolerancia a la falla, una mayor rapidez en la respuesta, mayor eficiencia en los procesos, flexibilidad, entre otras. En cuanto a la optimización de los procesos de manufactura por medio de la disminución de movimientos y definición de secuencias se ha considerado en los fundamentos biológicos a través del diseño de sistemas de manufactura celular o algoritmos genéticos, este tipo de métodos imitan el proceso de selección natural haciendo que la combinación de diferentes funciones de un problema específico, lleven a escoger los resultados que están próximos a los mejores valores.

En lo relacionado al diseño, la planeación y la optimización de los sistemas productivos se han trabajado los sistemas inteligentes y la manufactura flexible, los cuales se enfocan en la adaptación al



sistema, al autoorganización y la evolución del modelo, (Mak, y otros, 2000 págs. 177-192). Este tipo de sistemas requiere decidir sobre el número de estaciones; el número y características de las máquinas y equipos en cada una de ellas; y la adecuada programación y estrategia de control a utilizar, para operarlo. Las especificaciones en el diseño y las necesidades cambiantes, hacen que estos puedan variar generando así la flexibilidad.

Para el 2004 nace el concepto de metabolismo industrial el cual hace analogía al ciclo de vida de los organismos (concepción, nacimiento, adolescencia, la madurez, la vejez y la muerte) con el ciclo industrial del producto y su relación con las funciones metabólicas relacionándolos a través de las similitudes en las funciones metabólicas (Ayres, 2004 págs. 425-438).

En los países con economías emergentes, especialmente los pertenecientes a América latina ha crecido el interés en cuanto a los procesos de adaptación y flexibilización de un sistema a través de concepciones biológicas, específicamente por lo relacionado con Manufactura Biológica inteligente. Se presenta un creciente interés por adaptar tecnología y sistemas que promuevan el enfoque biológico de los sistemas. México, Colombia y Brasil presentan altas capacidades de adaptación de sistemas manufactureros con enfoque biológico inteligente.

Los elementos de las ciencias biológicas que hacen parte de los componentes del sistema manufacturero son integrados con el fin de optimizar el sistema productivo aportando de manera independiente y en coordinación con otros conceptos elementos estratégicos en pro de la productividad y competitividad industrial.

Como lo cita (Jiménez & Castellanos, 2009) “Para realizar una correcta aplicación de los conceptos biológicos es necesario evaluar de forma precisa las necesidades tecnológicas y los recursos que determinan la aplicación de las estrategias y el manejo adecuado del factor tecnológico”

CONCLUSIONES

En los sistemas organizacionales se hace realmente difícil predecir los comportamientos de los

clientes, los procesos, los proveedores, y demás variables que permiten actuar de manera rápida y eficaz ante los cambios en el entorno, por lo tanto la caracterización de este tipo de sistemas utilizando analogías y metáforas biológicas permiten que la industria como sistema abierto responda a tales dinámicas de manera oportuna a través de la auto organización, la adaptación, y el aprendizaje considerados como atributos inherentes de los organismos (Jiménez & Castellanos, 2009, pág. 10). Hoy en día los sistemas de producción implementados en las organizaciones responden cada vez más a las exigencias del mercado en cuanto a calidad y funcionalidad de los productos de consumo, integrando en ellos sistemas autónomos e inteligentes dejando de lado aquellos tradicionales con operaciones manuales que sencillamente obstaculizan el alcance de mayores niveles competitivos a nivel mundial.

Las analogías empleadas y los conceptos base de las Biociencias han generado a nivel organizacional nuevas perspectivas en la solución de problemas contribuyendo a mejorar el desempeño, esta contribución ha marcado un paso trascendental en la comprensión de fenómenos organizacionales y productivos mediante el empleo de una perspectiva sistémica y la comparación con los seres vivos y su emulación.

La gestión de la producción ha sido permeada por conceptos y elementos biológicos, facilitando en gran medida el procesamiento de información y la solución de problemas, especialmente en el área de producción. La investigación ha permitido identificar las áreas de impacto en las cuales las ciencias biológicas han presentado su mayor aporte en el desarrollo organizacional y en la optimización de los sistemas productivos manufactureros, así se destaca lo relacionado con la transferencia de conocimiento en cuanto a la autonomía, el auto aprendizaje, la autoorganización, la adaptación y la inteligencia que caracteriza un organismo vivo.

Las contribuciones biológicas en el aspecto tecnológico permitirán desarrollar herramientas y técnicas que brinden una mejor operacionalización de los procesos y una mejor preparación al responder a las necesidades del mercado y a los



paradigmas organizacionales en constante evolución.

RECOMENDACIONES

Esta discusión constituye un acercamiento a la optimización de los sistemas productivos a través de la aplicación de conceptos biológicos, aunque el interés de los investigadores crece en este tópico es necesario que las instituciones académicas a través de sus grupos de investigación orienten la dinámica y motiven a los estudiantes a escribir e investigar sobre el tema en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayres, R. (2004). On the life cycle metaphor: where ecology and economics diverge. *Ecological economics* , 425-438.
- Berkley, B. J. (1992). A review of the kanban production control research literature, *Production and Operations Management*, 1(4), 393-411
- Darwin, C. (1859). On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of. 247.
- De la Garza, Enrique (1999). Epistemología de las Teorías Sobre Modelos de Producción. Revista los retos teóricos de los estudios del trabajo hacia el siglo XXI. Colección Grupos de Trabajo de Clacso. Buenos Aires.
- Deleersnyder, J. L.; Hodgson, T. J.; Muller, H.; O'grady, P. J. (1989). Kanban controlled pull systems: An analytical approach. *Management Science*, 35,9, 1079-1091
- ElMaraghy, H., AlGeddawya, T., Azaba, A., (2008) aIntelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre, University of Windsor, Canada.
- Hopp, W. J.; Spearman, M. L. (1996). Factory physics, McGraw-Hill New, York, NY
- Jiménez, C., Castellanos, O., Montoya, A., (2009) Manufactura biológica e inteligente: atributos de la vida aplicados al desarrollo tecnológico., Revista Ingeniería e Investigación vol. 29 no. 2, p.p 127-134.
- Jiménez, C. N., & Castellanos, O. F. (2-6 de August de 2009). Exploring the use of biological metaphor upon technology management research within the new paradigm of ongoing change. *PICMET 2009 Proceedings*, 10.
- Koh, S. G.; Bulfin, R. L. (2004). Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations, *Int. J. Prod. Res.*, 42(2), 391-404
- Lucena, H., (2003). Las Relaciones de Trabajo al Inicio del Nuevo Siglo. Caracas. Fondo Editorial Tropykos.
- Mak, K., & Wong, Y. (2000). Genetic desing of cellular manufacturing systems. *Human factors and ergonomics in manufacturin* , 177-192.
- Mendes, F. (1999). Algoritmos genéticos em redes neurais artificiais. *Universidade federal de Santa Catarina* .
- Mill, F., & Sherlock, A. (2000). Biological analogies in manufacturing. *Computers in Industry* 43 , 153±160.
- Neffa, J.C. (1999). Crisis y Emergencia de los Nuevos Modelos de Producción. Revista los retos teóricos de los estudios del trabajo hacia el siglo XXI. Buenos Aires. Colección Grupos de Trabajo de Clacso.
- Philipoom, P. R.; Rees, L. P.; Taylor, B. W. III; Huang, P. Y. (1987). Dynamically adjusting the number of kanban system in JIT production system using estimated values of lead time, *IIE Trans*, 19(2), 199 – 207
- Piore, M. y Sabel, CF., *The Second Industrial Divide. Basic Books*, N. York, 1984
- Pizzocaro. (1994). Una metáfora darwiniana. Objetos, sistemas artificiales y mutaciones tecnológicas en una perspectiva evolutiva. *Natura, disseny i innovació*.
- Podberrezcki, V. D., Salvador, J., & Irache. (2005). Utilización de agentes y reputación en la administración de la cadena de suministros industriales. *Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de sistemas inteligentes* .
- Rodríguez, M. y Mendoza, H. Sistemas productivos y organización del trabajo: Una visión desde Latinoamérica. *Gaceta Laboral*, ago. 2007, vol.13, no.2, p.218-241. ISSN 1315-8597. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=s1315-85972007000200004&script=sci_arttext
- Ueda, k., Hatono, I., Fujii, N., & Vaario, J. (2000). Reinforcement learning approaches to biological manufacturing system. *CIRP Annals- Manufacturing Technology* , 343-346.
- Williams, K; Colin, H; Williams, J.,(1994). “Ford contra “Fordismo”. ¿El Comienzo de la Producción en



Masa??. En: Sociología del Trabajo. Editorial Siglo
XXI, N° 21 Madrid