

PERTINENCIA DEL FUNDAMENTO BIOLÓGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD
EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA.

IVONE ANDREA OTÁLORA GUERRERO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C.

2014

PERTINENCIA DEL FUNDAMENTO BIOLÓGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD
EN LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA.

IVONE ANDREA OTÁLORA GUERRERO

Trabajo de Grado Tipo Tesis para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial
Modalidad investigativa

Director

Oscar Fernando Castellanos Domínguez, Ing., Msc., MA, PhD.
Profesor Asociado Universidad Nacional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.

2014

*A Dios por permitirme crecer a través de estos procesos formativos
A mi mami y mi hermano mi apoyo más grande en momentos de adversidad
A mi tía y a mi novio por su amor incondicional
Ivone*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por darme la oportunidad de seguir este camino con la fuerza y el apoyo necesarios para el logro de mis objetivos.

A el Doctor Oscar Castellanos, Director editorial de la Universidad Nacional de Colombia, Director del Grupo de Investigación y Desarrollo BioGestión de la Universidad Nacional de Colombia y profesor de la Universidad Nacional de Colombia, por encaminar y orientar este proceso investigativo desde su propuesta para lograr los objetivos planteados e ir mucho más allá tanto en el proceso formativo como en el personal.

A la Ingeniera Diana Ramírez quien con su dedicación y pasión por el proceso de la presente tesis permitió con su asertiva asesoría el desarrollo de la misma.

A los integrantes del grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad BioGestión quienes con sus aportes técnicos y conceptuales permanentes hicieron posible este trabajo.

A la Universidad Nacional de Colombia, principalmente a la Facultad de Ingeniería que me ha dado las bases para mi desarrollo profesional enriqueciendo mis conocimientos con el intercambio interdisciplinario e intercultural constante.

A mi familia, especialmente a mi mami y a mi hermano, por ser el mecanismo de soporte de mis logros.

La autora agradece los que de alguna forma contribuyeron no sólo a este proceso formativo, si no a otros que ya pasaron y otros más que vendrán, por su enriquecimiento a mi vida profesional

Resumen y Abstract

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 identificaron las tendencias más relevantes en productividad, sistemas de manufactura y sistemas de manufactura con aplicación de atributos biológicos. Lo que permitió identificar los conceptos y estructuras más relevantes en el tiempo, para estas tres temáticas, y posteriormente correlacionar al fundamento biológico como un nuevo paradigma pertinente para el incremento de la productividad en contextos como el colombiano y específicamente el de las artes gráficas.

Palabras Clave: Productividad, Fundamento biológico, Sistemas de Manufactura, Auto-organización, Auto-aprendizaje.

Abstract

Productivity has been regarded as one of the factors related to survival of organizations and the life quality of the inhabitants of a country from a macro point of view. Therefore, measure, understand and work for its increase by novel production or organizational methods is an important matter that involves the response and decisions of a changing media environment. Thus, with the aim of knowing the perspectives that can have the application of biological elements for increased productivity in the developing countries contexts, the most significant trends in productivity, manufacturing systems and biological manufacturing systems were identified. This allowing identify the most relevant concepts and structures in time for those, and then correlate the biological basis as a new paradigm relevant for increasing productivity in contexts such as Colombia and the graphic arts specifically

Keywords: Productivity, biological basis, Manufacturing Systems, Self-management, self-learning.

Tabla de contenido

RESUMEN Y ABSTRACT	5
LISTADO DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN.....	1
1 LA PRODUCTIVIDAD EMPRESARIAL	3
1.1 CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD.....	3
1.2 MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.....	8
1.2.1. A través de índices (<i>Index Number Approach</i>).....	9
1.2.2. Programación lineal: métodos de frontera.	11
1.2.3. Enfoque econométrico.	15
1.2.4. Otros enfoques.....	15
1.3 INDICADORES DE LA PRODUCTIVIDAD	17
1.4 FACTORES INTERNOS Y EXTERNOS QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD	19
1.4.1. Factores internos	20
1.4.2. Factores externos	24
1.5 MECANISMOS DE MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD	25
1.5.1. Mejoramiento de la calidad.	25
1.5.2. Medición de la Productividad.....	26
1.5.3. Mejora de la Tecnología.....	27
1.5.5. Innovación	28
2 SISTEMAS DE MANUFACTURA	30
2.1 SISTEMAS DE MANUFACTURA TRADICIONALES Y EMERGENTES	33
Sistemas Tradicionales de Manufactura	33
Sistemas de Manufactura Emergentes	37
2.2 SISTEMAS DE MANUFACTURA CON APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS.....	38
2.2.1. Conceptos que envuelven a los sistemas de manufactura con elementos biológicos.....	39
2.2.2. Sistemas de manufactura que incorporan elementos biológicos.....	43
2.2.3. Sistemas de Manufactura Biológicos (Biologic Manufacturing Systems (BMS)).	47
3 PERTINENCIA DE LAS APLICACIONES DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS A LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.	54
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR EMPRESARIAL COLOMBIANO.....	54
Cadena de papel y artes gráficas.	56
3.2. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.	70
3.2.1. Imperativos para el mejoramiento de la Productividad en el contexto Colombiano.....	70
3.2.2. Consideraciones para la aplicación del fundamento biológico en la manufactura para el mejoramiento de la productividad.....	77
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
4.1. CONCLUSIONES.....	90
4.2. RECOMENDACIONES.....	93
5. BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXO 1. CIENCIOMETRÍA.....	100
PRODUCTIVIDAD.....	100
SISTEMAS DE MANUFACTURA.....	106
SISTEMAS DE MANUFACTURA CON APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS.....	117
ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR EMPRESARIAL COLOMBIANO.....	119

A.	CADENA DE PAPEL Y ARTES GRÁFICAS	120
B.	CADENA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA CIVIL	123
C.	CADENA DE CUERO Y CALZADO	124
D.	CADENA METALMECÁNICA.....	126
E.	CADENA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	129
F.	CADENA DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y PETROQUÍMICOS.....	134
	Cadena de producción de agroquímicos.....	134
	Plásticos y Fibras sintéticas.....	135
	Pinturas, Barnices y Lacas.....	135
	Caucho.....	135
	Cosméticos y Aseo	136
	Farmacéutica y Medicamentos	136
G.	CADENA DE TEXTILES Y CONFECCIONES	137
BIBLIOGRAFIA ANEXO 2		139

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1. Evolución de la producción bibliográfica alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.....	4
Figura 1-2. Producción de los países con 30 o más referencias alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.....	4
Figura 1-3. Evolución histórica del término de productividad.	7
Figura 1-4. Principales contribuciones de la Literatura a las medidas de la productividad mediante índices e indicadores.	9
Figura 1-5. Tipos de fronteras de producción.....	11
Figura 1-6. Información generada al medir la productividad con métodos de frontera. Creado a partir de Colmenares,2007; González & Urdaneta, 2007.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1-7. Factores internos y externos que afectan la productividad de una empresa. Elaboración propia ...	20
Figura 2-1. Evolución de las publicaciones referentes a sistemas de manufactura en el tiempo.	32
Figura 2-2. Países con el mayor número de publicaciones referentes a sistemas de manufactura en la ventana de tiempo 2004-2014.	32
Figura 2-3. Evolución histórica en línea de tiempo de los sistemas de manufactura	37
Figura 2-4. Evolución en el tiempo de las publicaciones, ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND biolog*.....	47
Figura 3-1. Cadena de valor de la industria gráfica.	57
Figura 3-2. Distribución de empresas del sector por regiones.	63
Figura 3-3. Imperativos para el mejoramiento de la productividad alineando pilares con la aplicación de elementos biológicos a la manufactura.....	75
Figura 3-4. La innovación como un proceso evolutivo.	84

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1. Principales factores internos a partir de datos empíricos que afectan la productividad empresarial.	22
Tabla 2-1. Bases de los Sistemas de Manufactura con aplicación de elementos Biológicos.....	48
Tabla 2-2. Aplicaciones de sistemas con elementos biológicos para la resolución de problemas de manufactura.	50
Tabla 3-1. Clasificación de las empresas pertenecientes al sector de la comunicación gráfica según el Código Industrial Internacional Uniforme (CIU)	60

Tabla 3-2. Comportamiento comparativo de las exportaciones del sector de la comunicación gráfica primer semestre del año 2013 y 2014.....	61
Tabla 3-3. Comportamiento comparativo de las importaciones del sector de la comunicación gráfica primer semestre del año 2013 y 2014.....	62
Tabla 3-4. Principales tendencias mundiales que afectan el desarrollo del sector gráfico en Colombia.	64
Tabla 3-5. Estrategias Propuestas para el direccionamiento estratégico del sector de las Artes Gráficas.	67
Tabla 3-6.Relación de los factores de productividad, los elementos biológicos y los pilares del mejoramiento de la productividad.....	78
Tabla 3-7. Actividades propuestas para la implementación de elementos biológicos para el incremento de la productividad.	78
Tabla 3-8. Características de los tipos de Organizaciones según la asimilación de conocimiento y tecnología.	88

INTRODUCCIÓN

Las condiciones del mercado actual dificultan la sostenibilidad de la empresa a lo largo del tiempo, como consecuencia de la globalización, del cambio tecnológico acelerado y de las demandas variables. El aparato productivo Colombiano está inmerso en este contexto, que convierte a las organizaciones en vulnerables y eleva por lo tanto la importancia de la productividad o relación costo-beneficio, pues al medirla se pueden crear estrategias para el manejo de los recursos, sean estos financieros, humanos, tecnológicos o de otra índole, permitiendo a la organización su sostenibilidad en el tiempo y mejorar la capacidad de su sistema productivo para atender las necesidades del mercado; por otra parte en el mundo se ha venido aplicando elementos biológicos a los sistemas de producción basándose en conceptualizar y repensar a las organizaciones como seres vivos con el objetivo de impartir a las mismas características propias como la auto-organización, el aprendizaje y la evolución que le permitan responder de manera adecuada a las variaciones del ambiente para mantenerse en el tiempo.

Según Paulo Leitao *et al.* (2011), los sistemas de manufactura tradicionales, los cuales son centralizados y con estructuras rígidas, no tienen suficiente flexibilidad para hacer frente con modularidad, flexibilidad, robustez y reconfiguración al nuevo entorno variable. El mismo autor indica que 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. Hoda *et al.* (2008) comparten la visión de Leitao y además añaden que estos nuevos paradigmas deben permitir 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 proyectos¹, el arreglo de componentes, la planeación de la producción y el control de estrategias. Por otra parte Rivera (2010) hace una recopilación de las diferentes formas propuestas por varios autores para enfrentar ambientes turbulentos, entre las cuales se pueden destacar: estudiar la interacción entre el ambiente y la organización creando una estructura organizacional flexible y descentralizada, la creación de redes organizacionales, la modificación al proceso de planeación estratégica que debe surgir de un proceso espontáneo logrado gracias a una auto-organización y procesos de aprendizaje permanente.

¹ El proceso de proyectos se refiere a las actividades llevadas a cabo desde la concepción de un proyecto, pasando por su ejecución y terminado en sus resultados. (Hoda et al. 2008)

En Colombia no se evidencian aplicaciones de nuevos paradigmas de manufactura, pero si investigaciones que muestran la necesidad de cambios en las formas de producción que le permita a las organizaciones el mejoramiento de su productividad, en aspectos como el manejo adecuado del recurso humano, el capital, las materias primas, el aumento en los beneficios a largo plazo y por consiguiente su sostenibilidad en el mercado.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, la presente investigación tiene como objetivo central **evaluar la pertinencia de la aplicación para el contexto productivo colombiano del fundamento biológico en los sistemas de manufactura y su impacto en el mejoramiento de la productividad.**

Para lo que el Capítulo se enfoca en el **análisis del concepto de productividad**, abordando en un comienzo este concepto desde los aportes en el tiempo que han desarrollado varios autores sobre el mismo, siguiendo con el análisis de la medición de la productividad, los factores internos y externos que la afectan y los mecanismos de mejoramiento que se han planteado hasta ahora para su mejoramiento.

El Capítulo dos se centra en el **análisis de los sistemas de manufactura**, abordando en un comienzo las tendencias que se presentan en el mundo alrededor de los mismos, estableciendo la aparición en el tiempo de los sistemas de manufactura tradicionales y emergentes, donde estos últimos se basan en la conceptualización del **fundamento biológico** aplicado a los sistemas de manufactura.

Posteriormente, el capítulo 3 establece las **consideraciones para la aplicación del fundamento biológico para el incremento de la productividad** en el sector de las artes gráficas, en el que se pudo establecer que refleja los retos del aparato productivo colombiano. Por último, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del proceso investigativo formalizado a través del presente documento.

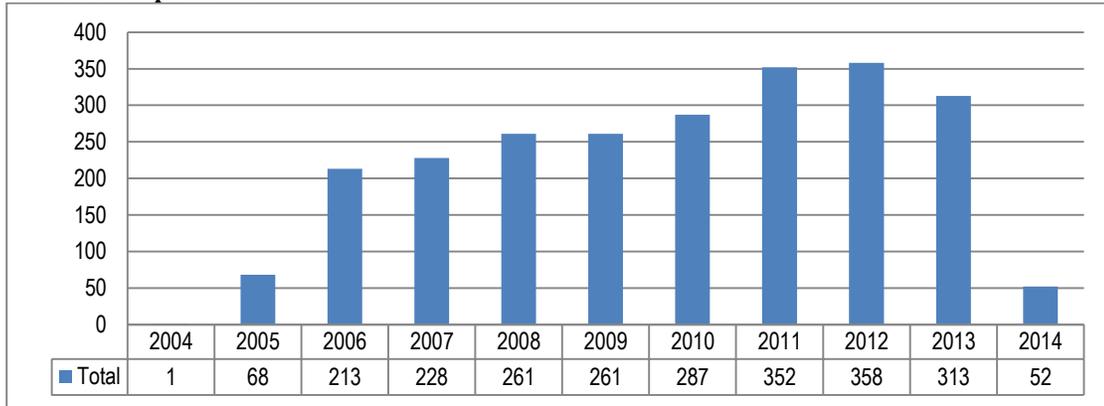
1. LA PRODUCTIVIDAD EMPRESARIAL

La productividad ha sido considerada como uno de los factores relacionado 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. A pesar, de la evolución histórica del término, este siempre se ha considerado como la relación, en diferentes formas, de los insumos y los resultados de un proceso productivo. Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se presenta, una recopilación del concepto de productividad, la medición de la misma y los factores que la pueden afectar tanto interna como externamente; lo que permite construir las bases conceptuales para establecer su correlación con los sistemas de manufactura biológica y contextualizar el desarrollo de la presente investigación.

1.1 Concepto de productividad

La productividad posee una importancia relevante pues su medición y control implica el uso más eficiente y racional de los recursos productivos. Es así, como desde el punto de vista macroeconómico es uno de los determinantes de la rentabilidad de la empresa y de su éxito en el mercado competitivo y además tiene una relación directa con el bienestar de la población, en particular con los niveles de ingreso real y empleo, convirtiéndose en uno de los determinantes de la calidad de vida de los habitantes de un país (Colmenares, 2007); asimismo es un factor determinante de la competitividad internacional de una nación entendiéndose como el mejoramiento de la capacidad productiva, y del entorno general al mejorar el producto, la eficacia y los salarios, entre otros, sin desmejorar algún otro indicador (Jáuregui, 2000). Al respecto Sharpe (2002) menciona que el incremento de la productividad es el recurso más importante del crecimiento a largo plazo de la economía convirtiéndose en el único camino para aumentar el nivel de vida definido como el aumento del PIB per cápita. A nivel de las empresas autores como Colmenares (2007) mencionan que una baja productividad es reflejo de una dirección de operaciones inadecuada que limita las posibles opciones estratégicas llegando incluso al fracaso empresarial (Hill, 1997; Huges y Anderson, 1989; Domínguez y otros, 1998; Irribarra, 2006, citados en Colmenares, 2007)".

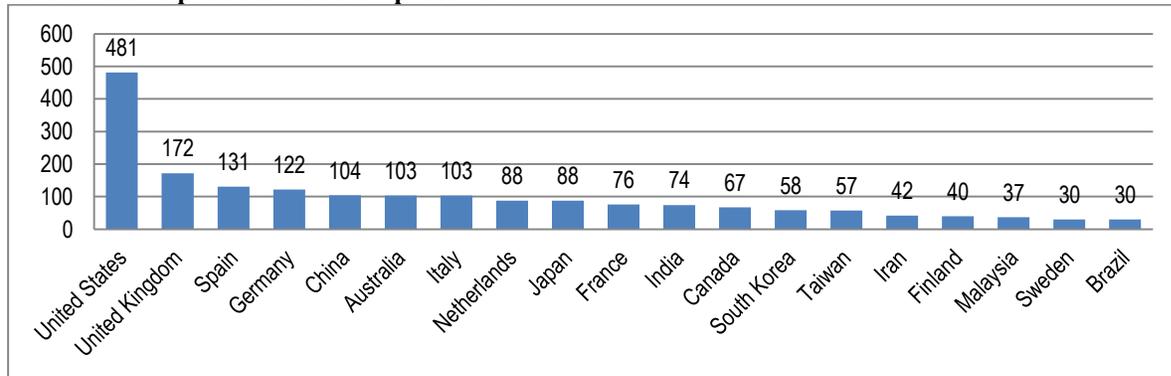
Figura 1-1. Evolución de la producción bibliográfica alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Al analizar la tendencia de las publicaciones de los últimos años con respecto a la productividad, se puede observar que la productividad empresarial es un indicador vigente, países como Estados Unidos, Inglaterra y Alemania con el mayor número de publicaciones (481,132,122), hacen parte de las economías más estables del mundo y países con incremento significativo en el número de publicaciones como China y Corea del Sur (104,58) han venido fortaleciendo sus economías, lo cual indica que es una temática estructural de la Economía mundial. Es así, como 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. Se presume, debido a la crisis económica mundial comprendida entre los años de 2009 a 2012, en las referencias se muestran como los factores más relevantes que afectan la productividad a la reglamentación, políticas, calidad de vida del trabajador, reglamentación ambiental, globalización e innovación.

Figura 1-2. Producción de los países con 30 o más referencias alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Para definir la productividad se hace un recuento histórico del término encontrándose que la primera vez que se hizo referencia a este concepto fue en 1766 en la obra de Quesnay quien afirmó que “la regla de conducta fundamental es conseguir la mayor satisfacción con el menor gasto o fatiga”, en esta misma época cronológicamente hablando en 1776 Adam Smith, en su teoría de la división del trabajo presenta como ventajas de esta estrategia la destreza de los trabajadores, el ahorro del tiempo y a la invención de maquinaria. (Martínez M. E., 2006).

Siguiendo con la línea de tiempo en 1973 David Ricardo: “planteó la teoría del valor, las ventajas absolutas y las ventajas comparativas, relacionó a la productividad con la competitividad de los países en el mercado internacional e incorporó la idea de los rendimientos decrecientes en el uso de los factores” y a Marx quien en 1980: “define a la productividad del trabajo como un incremento de la producción a partir del desarrollo de la capacidad productiva del trabajo sin variar el uso de la fuerza de trabajo” (Martínez M. E., 2006).

Como parte de la evolución histórica del término en 1950 la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) define la productividad como: el cociente que se obtiene al dividir la producción, por uno de los factores de producción. Por su parte Solow en 1957, define la función agregada de producción o Productividad total de los factores y la influencia del cambio tecnológico en la misma. De esta forma Sumanth en 1990 menciona que es posible hablar de la productividad del capital, de la inversión o de la materia prima, según si lo que se produjo se toma en cuenta respecto al capital, a la inversión o a la cantidad de materia prima; según este mismo autor los factores que afectan la productividad son la inversión, la razón capital/trabajo, la investigación y desarrollo, la utilización del capital, la reglamentación del gobierno, la vida de la planta y el equipo, los costos de energía, la ética del trabajo², resistencia de los trabajadores a adoptar nuevos mecanismos para mejorar la productividad y la administración³, en cuanto a estos factores que explican el comportamiento de la productividad Martín N. Baily, (citado en Martínez M.E.,2006), encontró mediante un estudio para Estados Unidos: i) Trabajo: traducido en el nivel de calificación y experiencia de la fuerza de trabajo y en la intensidad del mismo, ii) Capital, iii) Energía y materiales: el incremento en el precio de la energía y otras materias primas es inversamente proporcional al de la productividad, iv) Medición del producto: las variaciones en los factores pueden ser errores estadísticos en la medición, v) Características gerenciales, vi) Regulación ambiental y política de demanda, y vii) Tecnolo-

² Diferencia entre las horas que se trabajan realmente y las horas que se pagan.

³ Se refiere a la planeación, ajuste de funciones, instrucciones, disponibilidad de herramientas, actividades de logística, supervisión y estrategia.

gía. (Martínez M. E., 2006), asimismo se menciona que en diferentes trabajos empíricos se ha observado que existe una relación positiva entre la calidad de los recursos humanos y su productividad

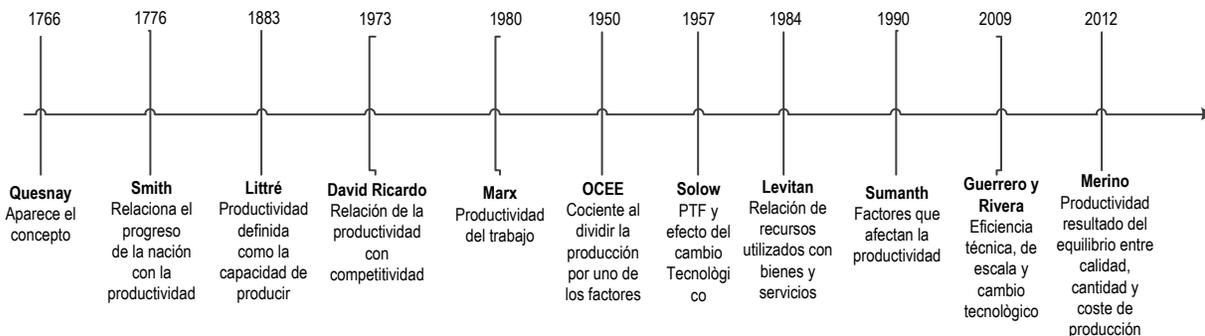
En la década de los 90 Levitan y Martínez coinciden en afirmar que la productividad se refiere a la relación entre recursos utilizados y productos obtenidos, relación que se puede tomar como un indicador de eficiencia de los recursos utilizados en la producción de bienes y servicios (Levitan, 1984; Martínez, 1998, citados en (Colmenares, 2007), mientras que Sink (1983) define a la productividad como una relación o índice entre la salida (bienes y / o servicios) producida por un sistema u organización y las cantidades de entrada (recursos) utilizados por el sistema para realizar dicho producto (Hannula, 2002).

Por su parte, Andrew Sharpe (2002) define la productividad como la relación entre los *output* (bienes y servicios) y los *inputs* de recursos, humanos y no humanos, usados en el proceso de producción que se expresa normalmente como una relación aritmética, ambos deben ser medidos en volúmenes físicos, coincidiendo con Sena (2013) quien indica que en términos generales, se entiende por productividad la relación existente entre el producto(s) y el insumo(s), por lo que su medición al nivel de empresa es la cuantificación de la producción obtenida y los insumos utilizados en el proceso productivo. Posteriormente, al concepto de productividad se le incluyen como componentes la eficiencia técnica que se refiere a la comparación entre la producción observada y sus valores óptimos, la eficiencia de escala entendida como producir bajo una escala adecuada y al cambio tecnológico que comprende la introducción de nuevas tecnologías (Guerrero & Rivera, 2009), por lo tanto este factor puede variar tanto por diferencias en la tecnología existente, en la eficiencia del proceso productivo o en el entorno en que se produce (González & Urdaneta, 2007) .

Conceptos emergentes han surgido en los cuales se incluyen dentro del concepto de productividad factores del recurso humano referentes al conocimiento por ejemplo la EPA (European Productivity Agency) conceptualiza: "La productividad es el grado de utilización efectiva de cada elemento de producción. Es sobre todo una actitud mental. Busca la constante mejora de lo que existe ya. Está basada en la convicción de que uno puede hacer las cosas mejor hoy que ayer, y mejor mañana que hoy. Requiere esfuerzos continuados para adaptar las actividades económicas a las condiciones cambiantes y aplicar nuevas técnicas y métodos. Es la firme creencia del progreso humano" y Merino (2012) lleva un poco más allá al término dándolo como el resultado del equilibrio entre cantidad, calidad y coste de producción obtenida, con respecto a estas nuevas concepciones sobre la pro-

ductividad también se ha concluido que la acumulación de conocimiento y la internacionalización de las empresas puede generar aumento en la productividad (Merino F. , 2012). El resultado de la revisión en línea histórica del término de productividad se muestra en la Figura 1-3 .

Figura 1-3. Evolución histórica del término de productividad.



Fuente: Elaboración propia

Así pues, la productividad para el presente trabajo se puede definir como *la relación entre el valor de venta de las unidades producidas en un periodo de tiempo, generalmente un año, y los insumos (humanos, tecnológicos, energéticos, de capital, materiales...) utilizados para llevar a cabo la producción; lo que en otras palabras, es el beneficio obtenido del manejo de los recursos, sean estos financieros, humanos, tecnológicos o de otra índole, representados en unidades físicas. Sin embargo, la productividad no se limita al aumento en el número de unidades producidas, ya que un aumento en este número, sin el mejoramiento de los procesos que le permitan disminuir el denominador de la relación no se expresará como una variación significativa al medirla lo cual requiere esfuerzos continuados para adaptar las actividades económicas a las condiciones cambiantes y aplicar nuevas técnicas y métodos*

Teniendo en cuenta la importancia de la productividad como indicador de la eficiencia de las empresas, que a su vez permite llevar a cabo comparativos entre países y regiones, se evidencia la necesidad y relevancia de medirla al interior de las organizaciones, es por esto que a continuación se mostrarán las metodologías utilizadas con más frecuencia para medir la variación de la productividad, para lo cual se utilizó la recolección bibliográfica fruto de la cienciometría y los artículos citados en estas referencias.

1.2 Medición de la productividad

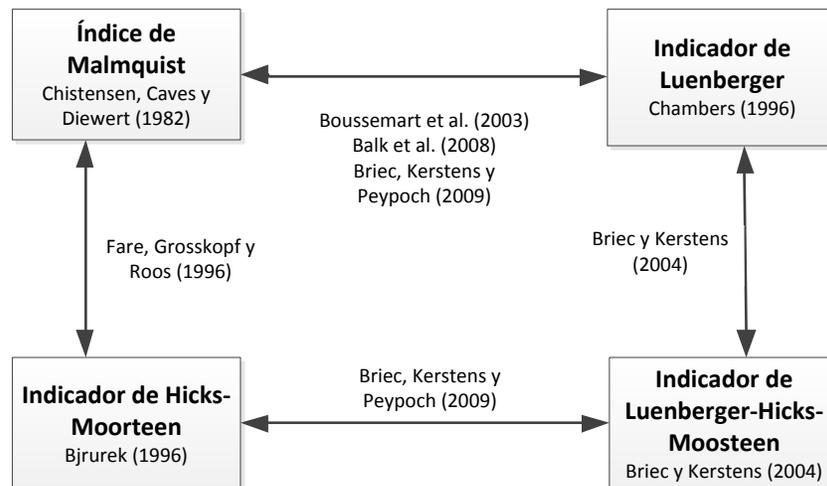
Según la OECD (2001) Los propósitos de medir la productividad incluyen: i) La Tecnología definida como la manera actual de convertir recursos en productos que son requeridos por el mercado, la cual aparece de forma implícita como planos y nuevas formas de organización o de manera explícita como cambios en el empaque o en el diseño en los productos; sin embargo, aunque la asociación de esta con la productividad es frecuente su medición no es directa; ii) Eficiencia entendida como el alcance de la máxima cantidad de producción en el proceso, se genera físicamente con la tecnología, es así como la eficiencia técnica indica movimientos hacia la “mejor práctica” o la eliminación de las ineficiencias técnicas y organizativas, es importante mencionar que se ha observado que cuando la medición de la productividad tiene un crecimiento este puede ser debido a un incremento de la eficiencia en las partes de la empresa o a un desplazamiento de la cantidad de producción hacia las zonas de producción más eficientes; iii) Ahorro real de costos donde la medición de la productividad puede ser una búsqueda para identificar puntos estratégicos donde se debe dar el ahorro; iv) Benchmarking de los procesos de producción donde la comparación entre las medidas de la productividad para procesos específicos de producción puede ayudar a identificar ineficiencias; v) Estándares de calidad de vida en donde la medida de la productividad está directamente ligada con indicadores como el PIB per cápita el cual varía con el valor de la productividad del trabajo (OECD, 2001).

Complementando estas razones para medir la productividad empresarial el Centro Nacional de Productividad de Colombia (2008), muestra 5 razones por las que los empresarios deben medirla: i) La relación directa entre la productividad y la rentabilidad, ii) Al medir la productividad esta se vuelve un término tangible, iii) El seguimiento a la medición histórica de la productividad da bases para la planeación estratégica de la compañía y muestra áreas de bajo desempeño, iv) La correspondencia entre la productividad y el nivel salarial y v) El fortalecimiento de la cultura de la productividad lo que potencia el desarrollo empresarial y económico.

Existen varias clasificaciones de los métodos de medición de la productividad, una de ellas divide las medidas de la productividad en 2, las medidas de cocientes o índices y las medidas de diferencias o indicadores, esta clasificación es atribuida a Diewert (1998). En la categoría de índices se destaca que Caves, Christensen y Diewert (1982) introducen teóricamente los índices Malmquist de productividad en insumos y productos, cuya obtención empírica la desarrollaron Färe *et al.* (1994) mediante programación lineal. En la categoría referida a los índices de productividad Bjurek (1996) define el índice de Hicks-Moorsteen, las aproximaciones de cálculo en este tipo de medición son dos la fun-

ción básica de distancia introducida por Luenberger (1995) y el indicador de productividad de Luenberger-Hicks-Moorsteen, propuesto por Briec y Kerstens en el 2004, los índices no han tenido un despliegue teórico importante (Ferro & Romero, 2011). Ferro y Romero (2011) resumen las contribuciones más importantes para estos enfoques mediante la siguiente figura (Figura 1-4.):

Figura 1-4. Principales contribuciones de la Literatura a las medidas de la productividad mediante índices e indicadores.



Fuente: Tomado de Ferro y Romero (2011).

Para el caso de este análisis se utiliza la clasificación de los métodos de medición de la productividad empresarial en tres: i) a través de índices: en estos métodos prevalece el índice de la productividad total de los factores, aunque no es el único, ii) programación lineal este enfoque se basa en los llamados métodos de frontera y evalúa la contribución de cada una de las entradas al proceso productivo basado en datos históricos, la técnica más utilizada es la DEA (Data envelopment analysis) y finalmente iii) los modelos econométricos donde se elabora un algoritmo específico para cada forma de producción. (Singh, H; Motwani, J; Kumar, A, 2000). Esta clasificación es la que se desarrolla en el presente acápite del capítulo.

1.2.1. A través de índices (*Index Number Approach*).

Solow (1957) sugirió implícitamente la necesidad de utilizar números índices para la medición del “cambio tecnológico”, esta se plantea en términos de tasas de crecimiento calculadas como resultado de diferenciar las variables respecto del tiempo en la medición de la productividad multifactorial (Laos, 2007).

La mayoría de los organismos de estadística de productividad utilizan este enfoque para el cálculo de la misma, el cual consiste la relación entre un índice de cantidades de producción y un índice de cantidad de entrada para obtener un índice de productividad. Por lo tanto:

$$A_t = \frac{Y_t}{I_t}$$

Donde A_t es la PTF (productividad total de los factores), Y_t es un índice de las cantidades de las salidas e I_t es un índice de la cantidad de las entradas, el subíndice t indica que se dan en un periodo de tiempo. (Mawson, Carlaw, & McLellan, 2003). Estos índices (de entrada y salida) se construyen generalmente usando los precios desagregados y las cantidades de productos e insumos. Debido a que las salidas y entradas son heterogéneas, no es posible añadir todas las salidas para formar un índice de cantidades de producción o agregar todos los insumos para formar un índice de cantidades de entrada, por lo que se utilizan como ponderaciones para medir la productividad. Los índices de Laspeyres, Paasche, Fisher y Trnqvist son algunas de las fórmulas más ampliamente utilizadas (McLellan N. , 2004).

A partir de estos índices se pueden calcular las tasas de crecimiento de la productividad (variación de la PTF), la dificultad está en determinar qué tipo de índice a utilizar y luego obtener los datos necesarios para este. Respecto a la determinación del tipo del método de agregación Diewert and Lawrence (1999) utilizaron como enfoque para determinar el número que se debe usar los siguientes axiomas, en donde el índice de Fischer fue el único que los cumplió (Mawson, Carlaw, & McLellan, 2003):

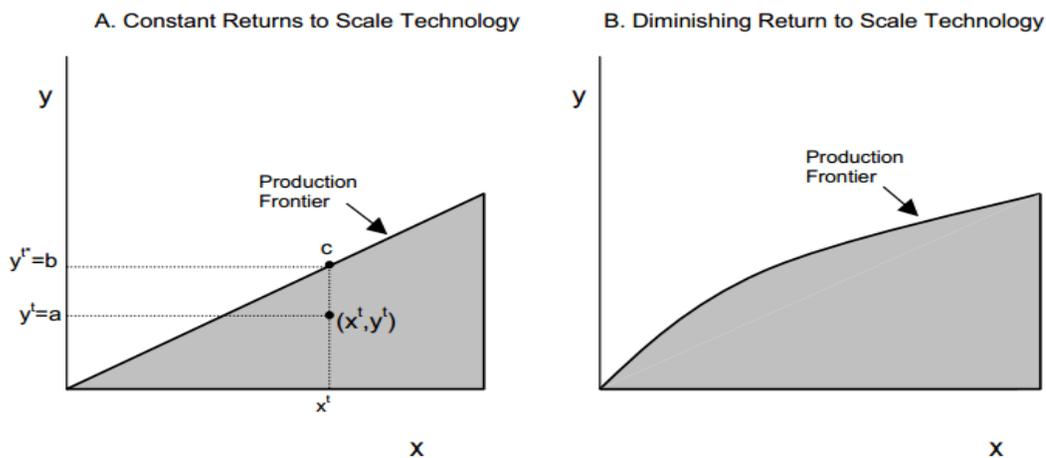
1. CANTIDADES DE PRUEBA CONSTANTE: si las cantidades son las mismas en dos períodos entonces el índice de producción debe ser el mismo en ambos períodos, independientemente de que el precio de los productos varíe.
2. Si los precios son constantes en dos períodos, el nivel de producción en el periodo 1 en comparación con el período 0 es igual al valor de la producción en el período 1 dividido por el valor de la producción en el período 0.
3. Aumento proporcional de la cantidad de pruebas: si todas las cantidades en el período t se multiplican por un factor común, λ , entonces el índice de cantidad en el período t en comparación con el período 0 debería aumentar en λ .
4. Prueba de tiempo de reversión: Si los precios y cantidades en el período 0 y t se intercambian entonces el índice de producción resultante debería ser el inverso del índice original.

1.2.2. Programación lineal: métodos de frontera.

Este enfoque busca separar la PTF en sus componentes, utilizando funciones que miden la distancia de la salida (producción) de una economía de su función de producción, esta función permite saber cuán cerca se está del nivel máximo posible de salida que se podría obtener con el mismo nivel de entradas si la producción es técnicamente eficiente. (Mawson, Carlaw, & McLellan, 2003). Esta metodología parte de la existencia de un frontera representada por una función que puede ser de producción, de beneficios o de costos, las cuales se pueden estimar por técnicas paramétricas que requieren de una función tipo Cobb-Douglas, elasticidad de sustitución o translog; o no paramétricas que no necesitan tener una función explícita. Cabe anotar, que en ambos casos se les llama unidades eficientes a las que se localizan sobre la frontera de producción, ineficientes a las que se encuentran por debajo de la misma y la frontera de producción es la función que determina el producto máximo que se puede alcanzar dada una cierta combinación de recursos. (González & Urdaneta, 2007).

Esta técnica genera una superficie en un espacio con los ejes recursos/insumos y productos/servicios, estas fronteras pueden diferir como se muestra en la figura 1-5, en donde en la frontera A se tienen rendimientos constantes a escala, es decir, el nivel de entrada es directamente proporcional al de salida mientras en la parte B se presenta una frontera de rendimientos decrecientes en donde si se duplica el nivel de entradas se obtendrá menos del doble en el nivel de producción, las zonas sombreadas representan las posibilidades de producción acorde al nivel de tecnología que se tiene (Mawson, Carlaw, & McLellan, 2003).

Figura 1-5. Tipos de fronteras de producción



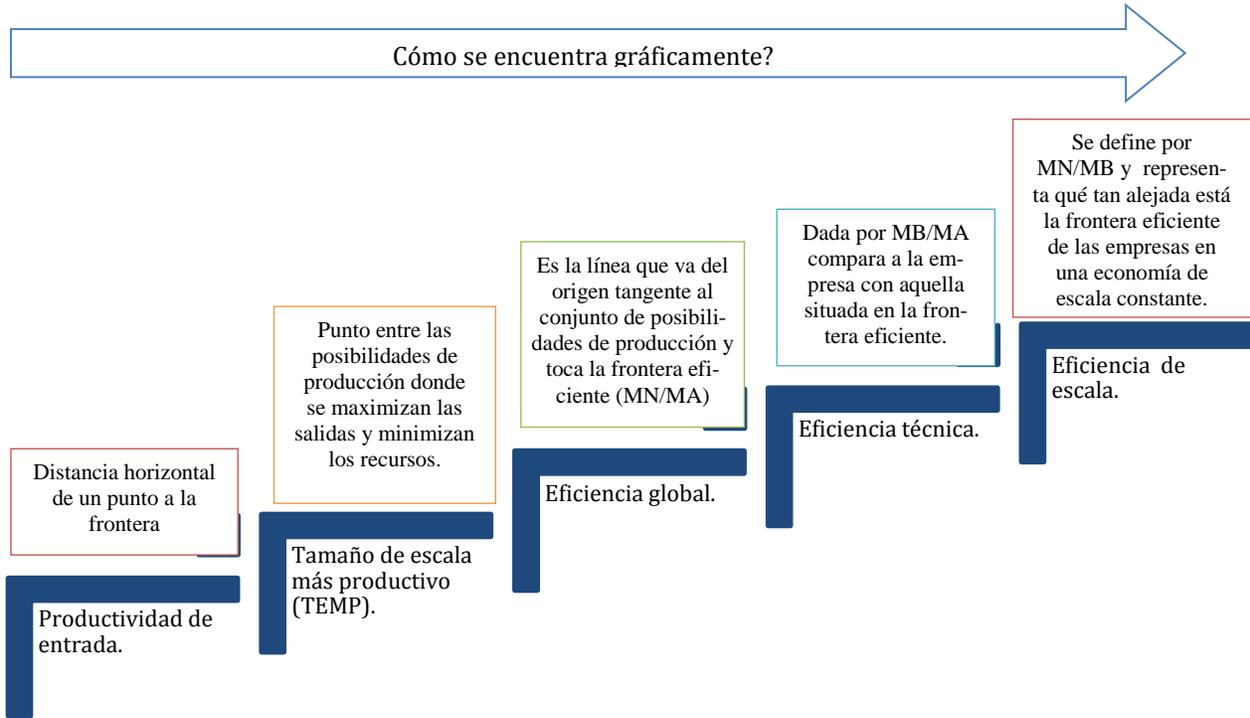
Fuente: Tomado de Mawson, Carlaw & McLellan, 2003.

Las empresas en la frontera tienen valores de eficiencia o productividad en el modelo de optimización iguales a 1 (100%). Sin embargo, sólo se consideran eficientes, si las restricciones se satisfacen en el sentido estricto de la igualdad.

Dentro de las ventajas más relevantes que tiene el modelo de frontera, se encuentra la de requerir un mínimo de información, que en la práctica constituye una característica sobresaliente, al compararse con otros tipos de modelos. Aun así la cantidad de información que produce es valiosa y variada, proporcionando una imagen completa de la situación de la empresa. La información que genera el modelo de según Mercado y Colmenares (1998) se encuentra la productividad de entrada y de salida, el tamaño de escala más productivo (TEMP) y la eficiencia global, técnica y de escala se puede observar en la Figura 1-6. En donde se muestra cómo se encuentra gráficamente en las fronteras de producción generadas y cuál es el significado de cada una de ellas.

- a. Productividad de entrada: entendida como la distancia horizontal de un punto a la frontera que representa el grado de ineficiencia o mal uso de los recursos de dicha empresa, que generalmente sucede cuando la empresa genera mucho desperdicio o existe exceso de reprocesos.
- b. Productividad de salida: representa la cantidad de salidas o productos que la empresa podría incrementar consumiendo los mismos recursos actuales.
- c. Tamaño de escala más productivo (TEMP): representa la posición en el espacio de posibilidades de producción en el cual es más conveniente que se situó la empresa, ya que en tal situación estará minimizando los recursos o insumos y maximizando las salidas que genera. En dicha posición la empresa trabaja con una economía de escala creciente, o sea que produce más salidas que los recursos o insumos que requiere.
- d. Eficiencia global: la cual se conoce como MN/MA donde se comparan los insumos reales con los que se requerirían si la empresa se encontrara en la frontera de producción, gráficamente es la línea que va del origen tangente al conjunto de posibilidades de producción y toca la frontera eficiente.
- e. Eficiencia técnica: dada por MB/MA compara a la empresa con aquella situada en la frontera eficiente.
- f. Eficiencia de escala: se define por MN/MB y representa qué tan alejada está la frontera eficiente, de aquella hipotética formada (empresas laborando con una economía de escala constante).

Figura 1-6. Información generada al medir la productividad con métodos de frontera.



Fuente: Creado a partir de Colmenares, 2007; González & Urdaneta, 2007.

Una de las técnicas de frontera más utilizadas es la DEA (análisis envolvente de datos) desarrollada inicialmente por Charnes, Cooper y Rodhes en 1978, para calcular el índice de eficiencia técnica resolviendo un programa matemático de optimización, y considerada como una aplicación al caso de múltiples outputs del análisis tradicional de ratios propuesto por Farrell en 1957 (González & Urdaneta, 2007), esta herramienta calcula la eficiencia relativa de un conjunto de DMU's (unidades de decisión) en relación a la frontera efectiva, puede estar orientada a los inputs donde se busca la máxima reducción proporcional en los recursos manteniendo constante los beneficios obtenidos o a los outputs donde se busca maximizar el incremento proporcional de los beneficios dado un nivel de recursos, situándose en ambos casos en la frontera eficiente. (Gonzalez-Ayara & Verdugo, 2010).

La eficiencia de las unidades de decisión está dada por:

$$Ef = \frac{Y}{X}$$

Donde: Y= Output; X= Input, si se usa más de un insumo (entradas) para producir varios productos (salidas), se deben ponderar tanto las entradas como las salidas, obteniéndose la siguiente definición para la eficiencia del DMU (unidades de decisión):

$$Ef = \frac{a_i Y_i}{b_i X_i} = DMU$$

La frontera de eficiencia está conformada por aquellas DMU eficientes, es decir, está determinada por el número máximo de productos que se pueden fabricar utilizando diversas combinaciones de recursos, con los mínimos costos de producción. Después que se obtiene la función de producción, se compara cada unidad del conjunto de producción con la frontera, bajo el supuesto que las desviaciones existentes son comportamientos ineficientes de producción. (González & Urdaneta, 2007).

El DEA es una técnica de medición no paramétrica, lo que le permite independencia con respecto a los precios de los productos y recursos (Fun-Hwa & Peng-hsiang, 2008), pero exige que las unidades analizadas sean homogéneas y supone que cualquier alejamiento de la frontera se debe a ineficiencias sin tener en cuenta posibles perturbaciones del sistema. Esta metodología permite la definición de la frontera tecnológica o la máxima cantidad de productos con los insumos utilizados, que se usa para llevar a cabo el benchmark entre países y/o empresas obteniendo las medidas de eficiencia (Lanteri, 2002).

Färe & Grosskopf, (1992) y Färe *et al.*, (1994a) desarrollaron un método DEA basado en índice de Malmquist que puede ser utilizado para medir el cambio en la productividad de las DMU a lo largo del tiempo. Se ha aplicado de muchas maneras, como se describe en Färe *et al.* (1994b), Grifell-Tatjé y Lovell (1996), Fulginiti y Perrin (1997), y Löthgren Tambour (1999), Herrero y Pascoe (2004), Wei (2006) y otros (Fun-Hwa & Peng-hsiang, 2008). Esta metodología introduce al DEA los índices de productividad de Malmquist, desarrollados por Caves, Christensen y Diewert en el año 1982, que utilizan funciones de distancia para la agregación de insumos y producción, permitiendo calcular las variaciones en la productividad de la empresa multiproducto, utilizando únicamente datos sobre cantidades de insumos y producción (i.e., el simple cálculo de las funciones de distancia genera implícitamente las ponderaciones adecuadas). Ahora bien, dado que las funciones de distancia se obtienen comparando la actividad de la empresa con un referente que se considera óptimo (benchmark), se debe definir un índice de productividad relativo como el cociente entre el índice de productividad absoluto de la empresa (anteriormente definido) y el índice de productividad óptimo (de

la empresa tomada como referencia). El índice de Malmquist queda descompuesto en tres índices que miden la variación en la eficiencia pura (relativa a la frontera con rendimientos variables), en la eficiencia de escala (posición relativa del referente en la frontera con rendimientos variables con respecto al óptimo en la frontera con rendimientos constantes) y un índice de cambio técnico (que refleja el desplazamiento de la frontera de rendimientos constantes)(González & Urdaneta, 2007).

1.2.3. Enfoque econométrico.

El enfoque econométrico para la medición de la productividad implica la estimación de los parámetros de una función de producción (en costos, ingresos, función de beneficios, etc.), frecuentemente esta la función se expresa en forma de tasa de crecimiento y su cálculo da como resultado una estimación del parámetro que refleja el crecimiento en el progreso tecnológico, que normalmente se interpreta como una medida de crecimiento de la productividad. Este método se utiliza para hacer estudios de mediciones de una sola vez pues es de difícil reproducción y no arroja datos continuos. (Mawson, Carlaw, & McLellan, 2003).

1.2.4. Otros enfoques.

En enfoques más recientes se presenta la combinación de los métodos, como el que propone un modelo para descomponer el índice PTF basado en la función de costes cuadrática adecuado para actividades multiproducto, que se definen como en las cuales las empresas no producen algunos productos y / o no utilizan algunos insumos, en este modelo la rata de cambio en la productividad se define como (Martínez, Díaz, & Jara-Díaz, 2011):

$$TPF = Q - F$$

En donde TPF es el índice de la productividad total de los factores, Q y F son índices agregados de entradas y salidas respectivamente, mediante arreglos matemáticos se construye un índice específico de la productividad de una función de costes cuadrática para datos discretos a través de la introducción en el modelo de las ineficiencias en la asignación y técnica como componentes del índice, además de la contribución del cambio tecnológico y las economías de escala para evitar distorsiones en la medición (Los índices agregados para llegar a esta ecuación se pueden observar en el Anexo 3).

$$= \left[\frac{\sum_m H_m q_m}{\sum_m H_m} \right] \left[1 - \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \sum_m H_m \right] - \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \left[\frac{C_1}{C_0} T_1 + T_0 \right] (t_1 - t_0) + \frac{CE_0}{CE_1} (EA + ET + EAET) - \frac{1}{2} \left[\frac{CE_0}{CE_1} \sum_j (G_{j_1} + s_{j_0}) w_j - \sum_j (G_{j_1} + s_{j_0}) w_j \right]$$

Según este enfoque la productividad total de los factores medida mediante índices agregados de entradas y salidas puede descomponerse en cuatro términos (que se pueden observar en la anterior ecuación): el primero se refiere a los rendimientos a escala, en donde coincidiendo con la teoría se asume que si los índices de eficiencia son constantes en dos periodos consecutivos y la función de costos muestra rendimientos constantes un incremento proporcional en todas las salidas no afectará la productividad, el segundo término es un promedio ponderado de los cambios tecnológicos que han ocurrido en los dos períodos este término muestra que es posible obtener cualquier nivel de producción a un menor (mayor) costo en el caso de progreso técnico que, a su vez, dará lugar a una mejora (disminución) de la productividad, el tercer término indica hasta qué punto los cambios en la productividad se deben a variaciones en la eficiencia técnica y / o asignación y el cuarto término representa los sesgos en la medición de las tasas de variación de la productividad, por lo que no es un factor determinante de la productividad, sino un sesgo en su medición. Por lo tanto, si hay un mejor (peor) uso de los recursos y / o elección del proceso productivo se lograrán aumentos (disminuciones) en la productividad como resultado. (Martínez, Díaz, & Jara-Díaz, 2011).

Finalmente, se exponen métodos de medición subjetivos basados en las percepciones de las personas involucradas en el proceso propuestos por varios autores como Camisón y Cruz, 2006; Kempilä y Lönnqvist, 2003; Pedraja y Rodríguez, 2004; Antikainen y Lönnqvist, 2006; Gibbs y otros, 2003; Forth y McNabb, 2007. Se han utilizado métodos como el de Delphi, el de Likert y el Análisis Factorial Confirmatorio, entre otros, las metodologías utilizadas se basan en los criterios de efectividad organizacional propuestos por Campbell, donde son varios los factores referidos a las personas que tienen incidencia en la productividad, como son la motivación y la satisfacción laboral, la participación, el aprendizaje y la formación, la comunicación, los hábitos de trabajo, el clima laboral, las actitudes y sentimientos, la toma de decisiones, la solución de conflictos, la ergonomía, el liderazgo y estilo gerencial, la cultura organizacional, comunicación, la capacitación y recompensas (Kempilä y Lönnqvist, 2003; Antikainen y Lönnqvist, 2006), la causalidad de la productividad y los diversos factores se ha tratado con modelos de ecuaciones estructurales que ayudan al tomador de decisiones a establecer la causalidad cuando los datos se contradicen y verificar si las teorías pro-

puestas son rechazadas o no mediante pruebas de bondad de ajuste (Cequea, Rodriguez, & Núñez, 2010).

La productividad puede entonces medirse con varios métodos dependiendo de los datos de los que se disponga, la complejidad del sistema productivo, el indicador que se quiera obtener y el número de variables implicadas en la medición.

1.3 Indicadores de la productividad

Los indicadores más comunes de la productividad son la productividad total, la productividad total de los factores (TPF) y la productividad parcial, siendo el más común en este último indicador el de productividad laboral, los cuales se describen a continuación.

La **productividad total** es el concepto de productividad más completo y el más usado a nivel de empresa, ya que se define como a relación entre el total de salidas y entradas en la producción que generalmente se mide en unidades monetarias y en la práctica no se mide como una unidad estática sino como un cambio o delta en el tiempo (Colmenares, 2007; Martínez, 2006; Sharpe, 2002).

La **productividad parcial** que se refiere a la variación de la cantidad de producto (si esta es la unidad física que se está utilizando) con respecto a la variación en el consumo de un solo insumo, la más utilizada conocida como laboral, de mano de obra o de trabajo que suele medirse por el número de horas hombre trabajadas y se utiliza como medida comparativa entre países. La productividad parcial es la proporción entre la producción total y la entrada de un solo factor que puede ser trabajo, capital, material o energía (Sharpe, 2002; Hannula, 2002; Martínez, 2006; Colmenares, 2007).

Los indicadores de la productividad parcial que son más usados son el de la productividad laboral y el de la productividad del capital, afirmación comprobada mediante el análisis clúster (Ver Anexo 1.), en dónde 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 productivi-

dad 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 puede comprobar mediante el análisis clúster de los artículos científicos encontrados para temática de productividad empresarial (Ver anexo 1.) , ya que este término constituye una de las agrupaciones más importantes en conjunto con el término eficiencia y capital, lo que a su vez valida su estrecha relación con la eficiencia producto de la relación que la PTF representa, como se expondrá a continuación: 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. Jorgenson en ésta línea de investigación (Hernández, 1993), las contribuciones de estos autores 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).

El Centro Nacional de Productividad en Colombia menciona que para la medición de la productividad existen otros indicadores complementarios como: i) La productividad laboral aparente que mide la relación entre la producción y el número de empleados, ii) Rotación de los activos fijos tangibles y activos fijos tangibles por empleado: en este se relacionan la producción y los activos fijos tangibles que se refieren principalmente a maquinaria y equipos, iii) Productividad de los salarios o

costo laboral unitario es un indicador de eficiencia pues es el cociente entre la productividad laboral y el salario por trabajador .

Si se hace un análisis financiero el desempeño de la productividad se puede ver en otros indicadores indirectos como la utilidad operacional, el rendimiento sobre la inversión (ROI) y las devoluciones sobre las ventas, indicadores que se relacionan con el mejoramiento continuo también se utilizan en algunos casos principalmente para tener representaciones graficas de las variaciones, entre estos se tienen los diagramas de flujo , las gráficas de tendencia y los diagramas causa-efecto (Zamacona, 2003).

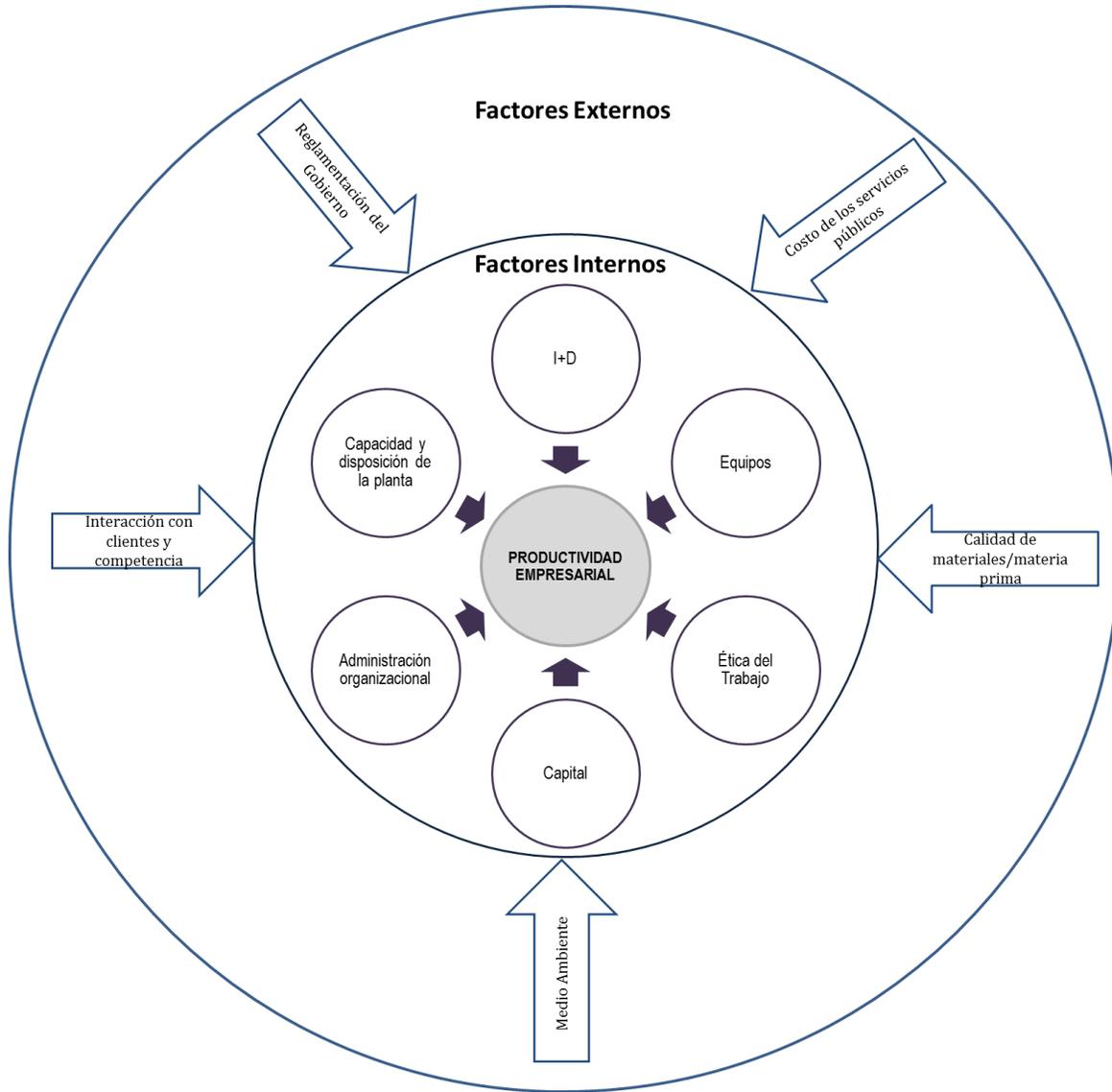
Los indicadores de productividad que se escojan para reflejar la medición de la productividad dependen de la empresa, pero en general el incremento o decrecimiento de los mismos se relacionan con los factores internos y externos que afectan la productividad, los cuales se explicaran a continuación.

1.4 Factores internos y externos que afectan la productividad

Según Guerrero y Rivera la productividad tiene como componentes a la eficiencia técnica, definida como la comparación entre la producción observada y sus valores óptimos, la eficiencia de escala, es decir, producir bajo una escala adecuada y al cambio tecnológico referido a la introducción de nuevas tecnologías (Guerrero & Rivera, 2009). Por lo tanto, este factor puede variar tanto por la eficiencia del proceso productivo, asociado a factores internos, las tecnologías existentes o el entorno en el que se produce (González & Urdaneta, 2007). Como medio de análisis del posible impacto de los sistemas emergentes de manufactura con aplicación de elementos biológicos se deben tener en cuenta los factores tanto internos como externos que influyen en la variación de la productividad para correlacionarlos con los efectos esperados al trasladarse de un sistema de manufactura tradicional a uno con elementos biológicos.

En la Figura 1-7 se muestra un compendio de los factores internos y externos que afectan la productividad en las empresas que más se mencionan en la literatura y de los cuales se hace una descripción en el presente acápite.

Figura 1-7. Factores internos y externos que afectan la productividad de una empresa. Elaboración propia



Fuente: Elaboración Propia

1.4.1. Factores internos

Se caracterizan porque pueden controlarse o modificarse desde la empresa (ver Figura 1-7); estos se refieren principalmente a aspectos humanos ya sea de los trabajadores o de la administración y a métodos de producción. Existen muchos factores que pueden afectar la productividad de una organización, por lo que se vuelve una tarea fundamental para la misma su identificación para controlar

sus efectos negativos y reforzar los positivos (Velásquez y Rodríguez, 2009). A continuación se presentan los que han sido reconocidos de forma más frecuente en la literatura.

Sumanth (1990) identifica en esta categoría: i. La investigación y desarrollo, referido a si sus resultados son efectivos para el incremento de la producción, mejorar el método de trabajo, dar valor agregado a los productos existentes o crear productos o procesos de alto valor agregado, ii. La utilización del capital o la inversión sobre la cual se espera se tenga el mayor retorno posible, iii. La vida de la planta y el equipo que se refiere a la antigüedad de los equipos que se están usando en los procesos productivos, los cuales se pueden contrarrestar con prácticas como el mantenimiento preventivo, iv. La ética del trabajo que el autor define como la diferencia entre las horas que se trabajan realmente y las horas que se pagan, v. La resistencia de los trabajadores a adoptar nuevos mecanismos para mejorar la productividad y vi. La administración que comprende actividades como la planeación, el ajuste de funciones, instrucciones, disponibilidad de herramientas, actividades de logística, supervisión y estrategia.

A estos factores se agregan el nivel de calificación y experiencia de la fuerza de trabajo, pues diferentes trabajos empíricos afirman la existencia de una relación positiva entre la calidad de los recursos humanos y su productividad y la adecuada medición de la productividad que evite errores estadísticos (Martínez, 2006). Por su parte Coccia (2009) menciona que en la revisión de la literatura en los factores internos que afectan la productividad se incluye la capacidad de gestión, la tecnología, la regulación, el espíritu empresarial, la competencia y el cambio tecnológico.

Otros factores internos mencionados por la literatura son el uso de la capacidad de la planta, un nivel de producción por debajo o por encima del nivel óptimo afecta negativamente la productividad y la disposición de las máquinas que evitan desplazamientos innecesarios tanto de materiales como de mano de obra que tiene en cuenta también el almacenamiento. Finalmente, otros factores que se mencionan con frecuencia se pueden categorizar como organizacionales, en los cuales se encuentra el aprendizaje organizativo, técnicas de gestión que comprenden la simplificación de los métodos de trabajo y la reducción de pérdidas y las medidas adoptadas por la organización para mantener y mejorar las relaciones laborales como la delegación y la descentralización de la autoridad y las técnicas y condiciones de trabajo (Velásquez, Rodríguez & Guaita, 2012; Kumar, 2011). Es así como los factores internos anteriormente mencionados se pueden ser clasificados en tres: i) Cultura que se compone de las normas, creencias y valores explícitos o no que rigen el modo de actuación de las

personas, ii) Dirección que se encarga de equilibrar el personal, la tecnología y el dinero para maximizar esta relación, iii) Operaciones en donde se encuentran las actividades necesarias para la producción. (Velásquez, Nuñez, y Rodríguez, 2010).

Los factores internos en los que la literatura ha profundizado más en su efecto en la productividad se encuentran la transferencia de tecnología, la inversión en investigación y desarrollo y los factores humanos (cultura organizacional, salario y otros). A continuación se darán a conocer resultados puntuales de algunas de estas investigaciones basadas en datos empíricos, los cuales se resumen en la Tabla 1-1, donde se muestran los factores internos que afectan la productividad identificados y relacionados con los autores que desarrollaron los estudios:

Tabla 1-1. Principales factores internos a partir de datos empíricos que afectan la productividad empresarial.

Autores	Año	Factores Internos
Velásquez, Nuñez, y Rodríguez	2010	Materia prima Experiencia del trabajador Disponibilidad de maquinarias y equipos Mantenimiento de los equipos Capacitación del personal Valores Organizacionales
Branstetter y Rong Chen	2006	Transferencia de tecnología Investigación y desarrollo
Coccia, Brecard <i>et al.</i>	2009 2006	Investigación y desarrollo Cambio tecnológico endógeno
Hall y Mairesse	1995	
Amendola <i>et al.</i>	1993	
Lichtenberg y Siegel	1991	
Grossman, E. Helpman	1991	Capital Humano

Fuente: Elaboración propia.

Branstetter y Rong Chen (2006) encontraron por resultados empíricos en Taiwan en cuanto al efecto de la transferencia de tecnología, representada para este caso en la compra de tecnología extranjera al ser esta la de más fácil cuantificación, en la productividad que es positiva y significativa a nivel de la planta, sumado a esto también encontraron que las empresas que gastan más en investigación y desarrollo son las que tienden a importar más tecnología, por lo que los dos factores tienen un efecto positivo en el incremento de la productividad, es decir que el éxito de las industrias taiwanesas y en especial de la transferencia de tecnología se basa en una política de integración tecnoló-

gica, fundamentada en complementar la introducción de tecnología extranjera y su propia I+D, en lugar de la independencia tecnológica lo que podría sugerir un cambio en las políticas de diferentes países en vía de desarrollo. Estos mismos autores mencionan que en estudios sobre esta misma temática llevados a cabo en países como Brasil e India el efecto no es tan significativo pues se tienen límites importantes a las actividades de las empresas extranjeras y su régimen de propiedad intelectual está diseñado para limitar la capacidad de los titulares de patentes para la negociación razones que impidieron a estas dos naciones cerrar la brecha tecnológica con Occidente.

Coccia (2009) al estimar un porcentaje óptimo del PIB que los países deben invertir en investigación y desarrollo para incrementar la productividad menciona que Lichtenberg y Siegel (1991) y Hall y Mairesse (1995) documentaron la correlación entre la I + D y la productividad, mientras que Amendola *et al.* (1993) presentan evidencia de que la I + D tiene un efecto importante en el crecimiento de la productividad y en la competitividad y Brecard *et al.* (2006) concluyen que la I + D incrementa la productividad agregada de los factores y mejora la calidad del producto. Finalmente, este autor menciona en cuanto a revisión previa de la literatura la importancia del cambio tecnológico endógeno como una función del nivel del capital humano (Teoría Newgrowth) que predice que la tasa de crecimiento de largo plazo de una economía aumenta proporcionalmente a la inversión en I + D y por lo tanto las economías más grandes debería crecer a una tasa superior (Grossman, E. Helpman, 1991)). Coccia (2009) concluye que: i) Para garantizar el crecimiento sostenido de la PTF, la investigación y desarrollo debe aumentar con el tiempo para contrarrestar el incremento de la gama de productos que tiende a reducir el impacto de la I+D en la productividad y por lo tanto del PIB, convirtiendo a la I+D en un medio para acumular conocimiento tecnológico, ii) El rango óptimo de inversión en I + D es de 2,3 y el 2,61% del PIB el cual permite maximizar el crecimiento de la productividad en el largo plazo, teniendo en cuenta que puede variar dependiendo de la especificidad de las condiciones económicas de un país.

Velásquez y Rodríguez encontraron que los factores que los trabajadores consideraron que tenían mayor influencia en la productividad son: falta de materia prima, desperdicio de materia prima, calidad de la materia prima, fallas de los equipos, experiencia del trabajador, automatización de los procesos, métodos de trabajo, disponibilidad de maquinarias y equipos, mantenimiento de los equipos, incentivos por méritos al personal, capacitación del personal, planificación del trabajo, disponibilidad de capital y crédito y salario. En este mismo campo de estudio Velásquez, Nuñez, y Rodríguez (2010), encontraron que de acuerdo a un proceso de análisis jerárquico (AHP) los valores que tie-

nen mayor impacto en la productividad son: seguridad del trabajador, disciplina, ética, responsabilidad, honestidad y trabajo en equipo, que en conjunto aportan el 81,20 % del efecto sobre la productividad de los valores organizacionales.

1.4.2. Factores externos

Se refieren al contexto en el cual interactúa la empresa, pero no tiene injerencia, por lo que es necesario desarrollar estrategias para aprovechar las oportunidades y enfrentar las amenazas (ver Figura 1-7). La productividad de las empresas, depende del entorno competitivo relacionada comúnmente con las cinco fuerzas de Porter: competidores (intensidad de la competencia), poder de negociación de los proveedores y clientes, productos sustitutos y las barreras de entrada (Escandón, Arias, & Salas, 2012).

En esta categoría Sumant (1990) identificó la reglamentación del gobierno, en donde se ubica legislación del trabajo, los aranceles y demás leyes fiscales, pero al ser estas excesivas pueden causar retrasos, incertidumbre y desactivar la inversión, seguidas por la administración pública e infraestructura (Pedraza, 2007). En estudios empíricos para Estados Unidos se encontraron además el incremento de los costos de energía, se toma la energía como referente de los servicios públicos pues esta es la que más tiende a variar al depender, generalmente, del precio del petróleo y otras materias primas el cual tiene un efecto negativo sobre la productividad, la regulación ambiental y política de demanda (Martínez, 2006). Por su parte, Velásquez, Rodríguez y Guaita (2012) hace un análisis de diversos autores y plantean un modelo en el que coincide en afirmar que uno de los factores es la reglamentación del gobierno pero añade que también se encuentra la situación política, social y económica de la región y la interacción con los clientes, la competencia y el medio ambiente.

Otro de los factores externos que se relacionan con el ambiente en el que se desarrolla la organización es el de la red clientes-proveedores-compañías de la competencia. Las empresas que utilizan y/o comparten la información (en la mayoría de los casos mediante medios electrónicos) proveniente de los clientes, proveedores y la competencia son más productivas y obtienen beneficios de la organización del trabajo, y se potencializan mediante el benchmarking competitivo, y los equipos de diseño de producto inter-organizacionales (Hitt & Brynjolfsson, 2012).

Por otra parte, en una revisión de la literatura llevada a cabo por Pedraza (2007) se encontró que los factores externos que se han mencionados de forma más frecuente en la bibliografía son las leyes

y reglamentación del gobiernos, los recursos naturales, la competencia, la influencia de los sindicatos puesto que la cooperación entre los trabajadores y la administración de la empresa es la principal razón para el crecimiento de la productividad, la calidad de las materias primas y los materiales y el medio ambiente.

Entre los factores externos se ha estudiado el efecto de la apertura y libre comercio con las premisas de que afectan los ingresos reales per cápita, y que un comercio más grande facilita la adopción de técnicas de producción más eficientes y de intercambio de materiales con otros países, es así como Miller, Mukti y Upadhyay (2000) encontraron que la apertura de la economía beneficia a la productividad total de los factores, por su parte el stock de capital humano contribuye positivamente a la PTF en países de ingresos medios y un efecto negativo en los países de ingresos altos, mientras que en los países de ingresos bajos este efecto depende del nivel de apertura del mercado, por otro lado la inflación tiene un efecto negativo y finalmente las relaciones de intercambio presentan para los países de ingresos medios una relación significativa positiva, para los países de bajos ingresos una relación negativa significativa y los países de altos ingresos un vínculo significativo.

Los factores internos y externos que afectan la productividad empresarial se han tomado como base para proponer mecanismos del mejoramiento de la misma, en su mayoría estos mecanismos se basan en los factores internos que afectan la productividad ya que la empresa no tiene injerencia en los factores externos y estos podrían modificarse mediante mecanismos más macro como las políticas estatales. A continuación se hace un recuento de las metodologías más utilizadas para lograr el aumento de la productividad dentro de la empresa.

1.5 Mecanismos de mejoramiento de la productividad

Como se mencionó anteriormente estos mecanismos influyen principalmente en los factores internos, los cuales la empresa puede modificar.

1.5.1. Mejoramiento de la calidad.

Una de las metodologías más usada para el incremento de la productividad es el del **mejoramiento de la calidad**, este método se basa en el impacto que tiene el número de elementos defectuosos en los indicadores de la productividad ya que implica un incremento en los reprocesos y por lo tanto en los materiales usados (en el caso de las empresas manufactureras) o del tiempo utilizado, se ha observado entonces que la reducción en el nivel de defectos incrementa la productividad dando oport-

tunidad de utilizar los recursos disponibles efectivamente, en esta metodología se busca que la organización se tome como un todo, es decir que las funciones de los diferentes departamentos se integren y/o compartan para evitar sobrecostos incluyendo procesos que no añaden valor a los bienes o servicios para que la productividad y la calidad crezcan simultáneamente.

Sobre esta metodología Gunasekarar et al (1994) presentaron algunas estrategias: 1) La alineación de la estrategia de negocio con la estrategia del incremento de la productividad y la calidad, 2) Utilizar alguna de las técnicas de gestión de la calidad como QFD (Quality deployment function) o TQM que ayuden a incrementar la satisfacción del cliente y ampliar el mercado atendido por la compañía, 3) Reducir la cantidad de inventario utilizando técnicas como el JIT (Just in time) lo que ayuda a tener una respuesta más rápida en cuanto a las necesidades del cliente, 4) Utilizar la ingeniería concurrente lo que permite integrar el marketing, el diseño y la producción en la planeación, 5) Gestión de la información, 6) Tener indicadores de medida que permitan el seguimiento a los procesos y medirlos periódicamente y 7) Mantenimiento productivo total (Gunasekara, Korukondab, & Virtanerf, 1994).

En la misma línea de mecanismos pero utilizando como base las herramientas de manufactura esbelta (lean manufacturing) en 2006 Herron y Braiden proponen una metodología que incluye además técnicas organizacionales para desarrollar incrementos sostenibles y verificables de la productividad en compañías manufactureras, esta metodología se basa en tres pasos: 1) Utilizar la técnica PNA (Productivity Needs Analysis) para tener una línea base del estado actual de la producción en la compañía e identificar los puntos clave de control de la productividad en la planta, información que servirá para el estudio de la eficiencia de la producción, 2) Construir un MNA (Manufacturing Needs Analysis) que se elabora después de una visita a la planta, y entrevistas y/o talleres con la alta dirección para determinar el nivel actual de adopción de herramientas de manufactura esbelta dentro de los procesos y 3) Necesidades de Capacitación en Análisis (TNA) que evalúan el nivel de comprensión y aplicación de herramientas de manufactura esbelta del recurso humano, estos tres pasos permiten la detección de problemas para incrementar la productividad mediante el análisis del GAP existente en la correcta utilización de las técnicas de manufactura (Herron & Braiden, 2006).

1.5.2. Medición de la Productividad

Otro de los mecanismos más utilizados es el de **la medición de la productividad**, este se basa en que la simple medición de la productividad acompañada de una metodología para llevar a cabo esta

acción implica que debido a la supervisión de los datos históricos la compañía comience a revisar los puntos críticos que están impidiendo el incremento de la productividad y construya un plan de gestión de la productividad, al respecto se han desarrollado varias metodologías como ejemplo se tiene a Huang *et al* quienes en 2002 propusieron una metodología de mejora como un proceso sistemático de 12 medidas agrupadas en cuatro categorías así: i) La primera fase se conoce como la etapa preparatoria e incluye la arquitectura del sistema o diagrama de flujo en donde se identifican todas las unidades productivas y sus relaciones; la definición de los parámetros de productividad donde se determinan las características de producción de cada unidad productiva y se asignan intervalos de tiempo para la frecuencia de medición; la aplicación de métricas de productividad y algoritmos; y la recopilación de datos que se obtienen de datos en línea o de informes de producción. ii) La segunda fase incluye el cálculo de las métricas de la productividad en el equipo. iii) La tercera fase se hace el análisis de la causa raíz para determinar el tipo y la localización de las pérdidas en todo el sistema mediante la identificación de cuellos de botella y de las pérdidas en estos puntos y la identificación de pérdidas ascendentes y descendentes, es decir aguas arriba y aguas abajo del cuello de botella. iv) La última fase corresponde a la integración con el análisis de sensibilidad para mejorar la productividad del sistema, esta fase se lleva a cabo mediante la determinación de la restricción responsable de la limitación de la productividad del sistema a partir de la cual se debe hacer el análisis de sensibilidad mediante el uso de la simulación para evaluar varios escenarios de mejora y finalmente gestionar la decisión de mejora y eliminar las restricciones ejecutando las tareas para mejorar la productividad. Al terminar el ciclo se debe volver a iniciar para la búsqueda de nuevas restricciones. (Huang , Dismukes, Shi, & Su, 2002).

1.5.3. Mejora de la Tecnología

La mejora de la tecnología de los procesos es otro de los mecanismos utilizados para incrementar la productividad, este enfoque mezcla la automatización de los procesos y la gestión de los mismos; esta metodología se basa en que en cualquier organización, si las máquinas o personas están inactivas porque no hay trabajo o si las piezas permanecen en el inventario porque una máquina no está disponible, entonces los recursos se están desperdiciando y la productividad decrece, por lo que la gestión de la producción debe coordinar la disponibilidad de las personas, equipos y materiales. Por lo tanto, tiene como objetivo el ajuste de los niveles de tecnología y de gestión hacia la mejor combinación, lo que implica la contratación de las personas más calificadas, la compra de máquinas de tecnología avanzada y la introducción de nuevas técnicas de gestión o de la realización de las tareas de gestión de una mejor manera (Kao, Hsuan, Chan , Wang, & Shi-Dai, 1995) .

1.5.5. Innovación

La Innovación, el BID (2010) menciona que desde Schumpeter se ha identificado una sólida relación entre la innovación y el crecimiento de la productividad, históricamente esta relación se venía vislumbrando en la teoría del crecimiento económico, en donde Solow (1956) le atribuyó un papel vital al cambio tecnológico, pasando por Griliches (1986), quién generó modelos con el objeto de medir el impacto del capital del conocimiento sobre este indicador y Romer (1990) que modeló los factores determinantes de la creación de conocimiento, convirtiendo las actividades de I+D en una variable endógena para entender el crecimiento. Es así, como el conocimiento ligado a la innovación se convierte en una de los factores determinantes del incremento de la productividad (BID, 2010). En la economía mundial actual la innovación se ha vuelto indispensable, siendo el común denominador de las estrategias exitosas de desarrollo que aplicaron países tan diversos como República de Corea, Finlandia, Irlanda, Singapur, Taiwán y, más recientemente, China e India; y al reducirse el umbral para adquirir y apropiarse conocimiento se hace posible que la innovación sea un camino estratégico para que los países progresen a mayor velocidad (BID, 2010).

La tarea clave de las políticas de CTel consiste en combatir los bajos niveles de innovación en la industria y en el sector servicios, lo cual puede tener un gran impacto en la productividad. Por otro lado la OCDE (2014), ya en el contexto colombiano, al elaborar el análisis de las políticas de innovación para Colombia, menciona que la innovación debe desempeñar un papel importante en el impulso al crecimiento de la productividad y que la historia económica de Colombia y los signos emergentes de su futuro apuntan a la importancia de impulsar la innovación para aumentar la productividad.

Finalmente, los mecanismos para el mejoramiento de la productividad que han venido surgiendo en los últimos años se basan en la administración del recurso humano, fundamentado en el reconocimiento del valor y la importancia de las personas en una organización, cuando las empresas están basadas en este enfoque puede sobrevivir a los entornos variables, Velásquez, Núñez y Rodríguez (2010) mencionan respecto a este mecanismo que de acuerdo a un técnica AHP los valores que tienen mayor impacto en la productividad son: seguridad del trabajador, disciplina, ética, responsabilidad, honestidad y trabajo en equipo, lo que da el punto de partida para que se definan estrategias para que los trabajadores consideren la importancia de la productividad y la empresa vea el rol insustituible de las personas para lograr incrementos en la productividad (Velásquez, Nuñez, & Rodríguez, 2010b)

En el desarrollo del presente capítulo referente a la productividad empresarial se evidencia la importancia que países como China, India y Estados Unidos le han dado al tratamiento académico del término, y su introducción en el contexto empresarial como una medida de la eficiencia de las empresas e incluso de los países. Por otra parte, la productividad empresarial y los factores tanto internos como externos que afectan este indicador se ven relacionados directamente con las variaciones de la economía.

Es así como, a pesar de que la productividad empresarial y su medición se introdujo históricamente en el siglo anterior, en países latinoamericanos en vía de desarrollo su tratamiento académico es menor que en países desarrollados o asiáticos en vía de desarrollo y se limita a producciones científicas puntuales, por lo que se presenta como reto el ofrecimiento desde la academia de soluciones para el mejoramiento de la productividad en estos contextos, que analice desde los factores internos que la afectan y la recepción de amenazas del ambiente, permitiendo una respuesta ágil del tejido empresarial.

Estos desarrollos académicos deben ir acompañados de competencias profesionales en mejoramiento de la productividad, tanto en métodos tradicionales, que se han venido estudiando y aplicando, como en metodologías de ruptura que le permitan a la empresa un reconocimiento de la importancia del incremento de la productividad con premisas más allá de la disminución de costos laborales. Donde es necesario explorar mecanismos alternativos que se presenten como una posibilidad para el incremento del indicador de productividad empresarial, uno de ellos, el fundamento biológico, se explorará en el siguiente capítulo.

2. SISTEMAS DE MANUFACTURA

Teniendo en cuenta la relevancia de la productividad para las organizaciones se han desarrollado a lo largo del tiempo varios métodos de producción con diferentes objetivos, entre ellos, el incremento del factor de la productividad mediante la optimización del uso de los recursos, métodos que se han llamado sistemas de manufactura. Estos sistemas se han clasificado de manera macro en tradicionales y emergentes, donde su principal diferencia es que los emergentes, están creados para responder de forma efectiva a los cambios del entorno (Saadat, Tan y Owliya, 1994).

Por su parte, los sistemas de manufactura tradicionales han evolucionado desde la línea de montaje de Ford, a conceptos como la calidad total⁴, cero defectos y eliminación de desperdicios, los cuales dieron pie al fortalecimiento de la relación de la industria con su entorno, pues las organizaciones se centraron en la gestión de las relaciones con proveedores, distribuidores y clientes, y a modelos de manufactura que incluían manejo de inventarios de productos en proceso y finales. Posteriormente, los sistemas de manufactura reconfigurables (RMS) se muestran como la transición hacia los sistemas de manufactura emergentes, los cuales incluyen la aplicación de atributos biológicos en el paradigma de fabricación.

Este capítulo se propone revisar el estado del arte de los sistemas de manufactura inspirados en elementos biológicos de manera sistemática, para lo cual se establece en un comienzo la revisión de los antecedentes de estos sistemas, posteriormente se enmarcan teóricamente a través de los conceptos pertinentes al mismo y finalmente se muestra una revisión del objeto de estudio. El término “sistemas de manufactura” 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 académico⁴. Los países que más han publicado sobre estas temáticas son China y Estados Unidos, sin embargo, el primero dobla al segundo (Ver figura 2-1 y 2-2).

⁴ La gestión de la calidad total implica que el cuerpo directivo está totalmente comprometido, que los requerimientos del cliente son comprendidos y asumidos exactamente y que todo miembro de la organización está involucrado, incluso el cliente y el proveedor, cuando esto sea posible. (Halevi 2001)

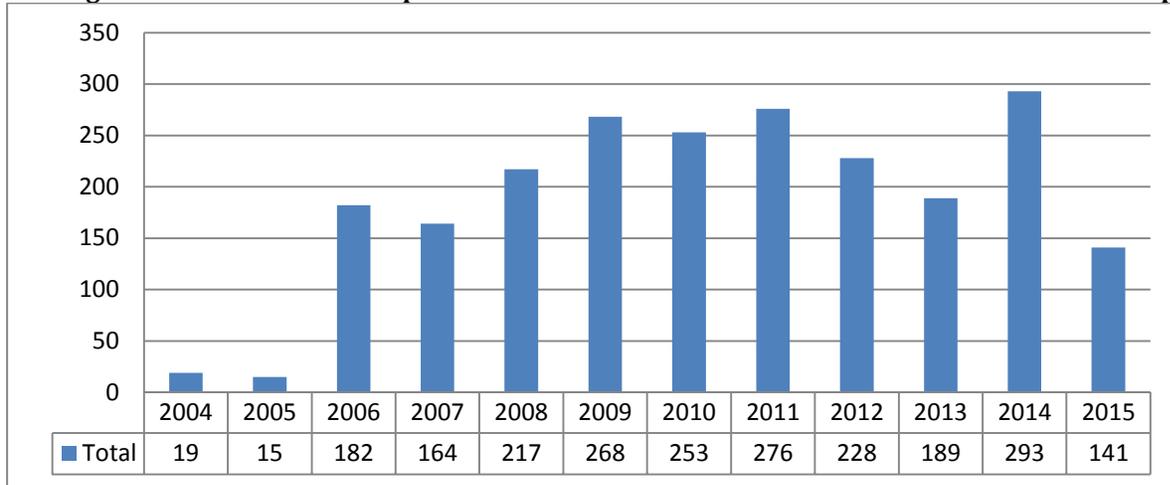
⁴ A partir del análisis de los artículos científicos disponibles en las base de datos Scopus, en los últimos 10 años

Se presume que en los años tempranos 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 y 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, autoadaptación y los agentes autónomos.

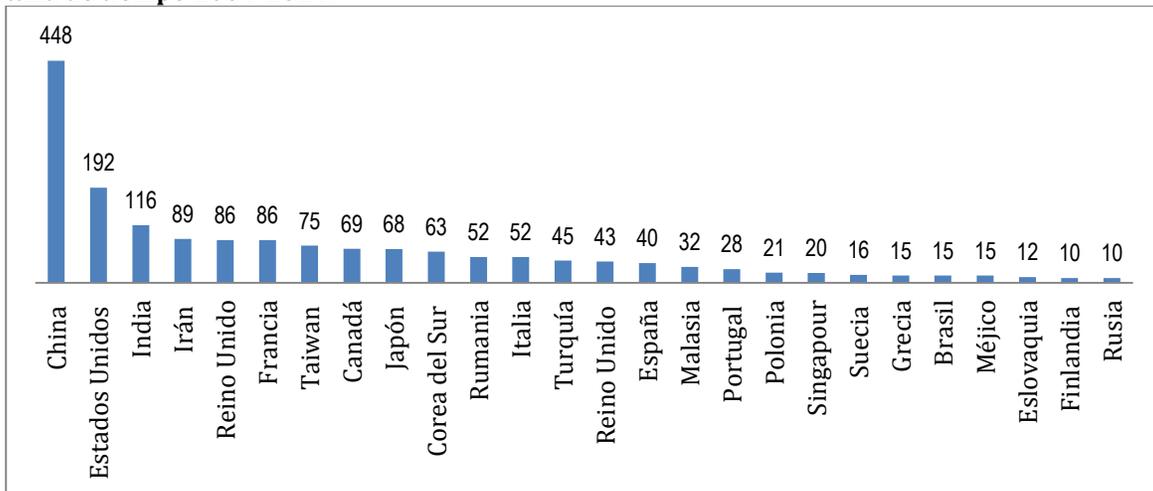
Se observa también un decrecimiento desde el año 2012 de los registros referentes a los sistemas de manufactura, lo que se debería a que los planteamientos que se han venido utilizando en los últimos años pueden presentar desgaste, por lo que serían necesarios nuevos planteamientos que permitan mediante innovación, sea esta incremental o radical, en las formas de producción enfrentar en nuevo entorno para las empresas y en consecuencia para los países. Con el objeto de revisar el comportamiento de las publicaciones, se completó la búsqueda con el consolidado para el año 2014 observándose un pico en las mismas, teniendo en cuenta los mismos criterios de búsqueda y de tratamiento de datos, referida a la aplicación en varios campos de algoritmos genéticos y a la expansión de las organizaciones que aprenden o auto-aprendizaje, el comportamiento de los registros se puede observar en la siguientes gráficas:

Figura 2-1. Evolución de las publicaciones referentes a sistemas de manufactura en el tiempo.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, *cobertura: 2004 hasta mayo 2015; software de análisis Excel®.

Figura 2-2. Países con el mayor número de publicaciones referentes a sistemas de manufactura en la ventana de tiempo 2004-2014.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

En Latinoamérica 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 atributos de la misma, lo que se concluyó a partir de la revisión de los artículos disponibles en la base de datos de la red Scielo.

Ya en el contexto colombiano, se evidencia que hay una alineación con las temáticas tratadas en Latinoamérica, es así como, se encontraron 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, encontrándose que este último es el único que ha tocado 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. En la base de datos de productos de los grupos de investigación ScienTi, se encuentran tanto artículos científicos como ponencias y trabajos de grado referentes principalmente a manufactura esbelta y flexible, donde se han hecho estudios de caso y consideraciones conceptuales y metodológicas para la implementación de estos paradigmas a contextos específicos de la manufactura colombiana como el textil, partes mecánicas y maderero, entre otros. En cuanto a la producción de libros sobre sistemas de manufactura, se encuentran temáticas como la manufactura flexible y celdas de manufactura (ver Anexo 1).

2.1. Sistemas de Manufactura Tradicionales y Emergentes

Se observa, que a lo largo del tiempo, se han desarrollado varios métodos de producción con diferentes objetivos basados en la optimización del uso de recursos, y en los cuales las decisiones sobre productos, procesos, organización e información interactúan y afectan el desempeño global de la empresa; estos ha sido llamados sistemas de manufactura, los cuales se pueden clasificar en tradicionales y emergentes. Los sistemas de manufactura han evolucionada a partir de acciones innovadoras y/o mejores prácticas que modifican, principalmente, las dinámicas de gestión y la tecnología. La evolución en línea de tiempo de estos sistemas se mostrará a continuación.

2.1.1. Sistemas Tradicionales de Manufactura

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, aún no se podía hablar de sistemas de manufactura, pues se utilizaba un artesano que según sus habilidades llevaba a cabo una producción contra pedido. Se caracterizaba por que las empresas se ubicaban cerca de las grandes ciudades, y varias piezas se producían en pequeños talleres para posteriormente ser ensambladas, la producción es coordi-

nada en su totalidad por el dueño de la fábrica y es el quien maneja la relación con los proveedores y clientes, la maquinaria para la producción es la misma para diferentes productos, los volúmenes de producción son pequeños, 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: i) de producción continua, en la cual se estiman las demandas del producto, mediante una proyección de ventas, para obtener como resultado un programa maestro de producción que se ajusta mediante inventarios e históricos de demandas, este sistema se caracteriza por tener entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*) constantes; y de producción intermitente (*batch*) en las que las instalaciones de producción son lo suficientemente flexibles para manejar una amplia variedad de productos y tamaños, los lotes de producción son pequeños y las entradas y salidas son variables (Adam, 1983); en la producción en masa de Ford, aparecen conceptos como el balanceo de líneas y el flujo y manejo de materiales (Hon,2005). Es así como para estos avances tempranos en manufactura, los sistemas se pueden tomar, desde una sola máquina o estación de trabajo, como en el modelo Peklenik (1971) hasta la fabricación en célula en donde se necesitan varias máquinas para lograr las características deseadas en un producto, y estas se distribuyen en planta teniendo en cuenta su similitud o la similitud de la familia de piezas, este modelo fue presentado por Mitrofanov, y ha sido reforzado por investigadores en clasificación y codificación (Hon,2005).

Posteriormente, en los años 60's se presentan dos desarrollos paralelos, en primer lugar los sistemas de manufactura **flexible (FMS)**, el primero de estos sistemas se introdujo en Inglaterra en 1960, y fue llamado "system24" (Greenwood, 1988); los FMS que son un grupo de máquinas y herramientas controladas por un sistema central e interconectadas (Gola & Swic, 2010); en donde la flexibilidad operativa se evidencia en la capacidad de fabricar numerosas piezas con diferentes diseños en pequeñas cantidades y de forma rápida (Warnecke & Steinhilper, 1988). Los FMS basan su estructura en el concepto de flexibilidad que aparece en 1989 cuando Gupta y Goyal la definen como la capacidad de un sistema de fabricación para enfrentar la inestabilidad y variabilidad del medio en el que se encuentra, este concepto se enriquece y en 1994 Upton la conceptualiza como la capacidad

de reaccionar 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); esta filosofía fue desarrollada por esta compañía y sus proveedores entre los 50’s y 60’s, pero sólo se dio a conocer al occidente a finales de los 70’s, al publicarse en 1977 por Sugimori *et al*, 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.

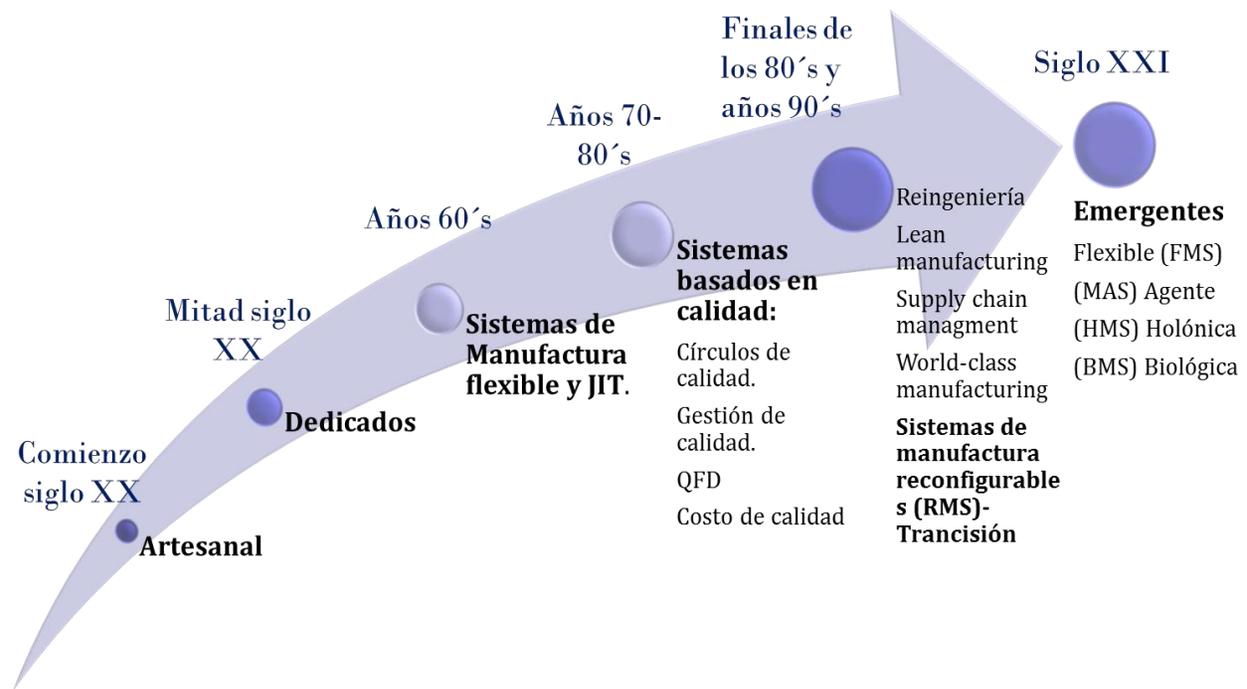
Estos métodos de producción introdujeron en el panorama al concepto de **calidad**, de tal forma que en los años 70’s, hasta los 80’s, basados en filosofías japonesas, se dio paso a métodos de fabricación como: los círculos de calidad (*quality control* (QC)), basados primordialmente en el control de la calidad en diferentes puntos de la operación (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, en donde el sistema de producción se adapta o se renueva, de acuerdo con los cambios de producto, se debe mantener el mismo o mejor rendimiento mediante la supervisión continua y el mantenimiento de las condiciones de producción (Halevi, 2001); *Quality Function Deployment* (QFD) o la casa de la calidad, es una de las primeras aproximaciones formales a lo que se conoce comúnmente como “la voz del cliente”, mientras que el costo de calidad se refiere al costo de la no calidad, es decir, cuantificar cifras como costos de oportunidad, desperdicios, reprocesos y pérdida de clientes (Schonberger R, 2007); Gestión de la calidad total (*Total Quality Management* (TQM)), el objetivo principal de este método es la satisfacción del cliente, tanto interno como externo, introduce conceptos como: 1. Los productos incluyen bienes y servicios. 2. El trabajo en grupos interdisciplinarios para la mejora. 3. La eliminación de actividades que no añaden valor (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, sin embargo infortunadamente en algunos contextos este se convirtió en una excusa para el despido de personal, por lo que después de un tiempo su acogida e investigación fue mínima (Davenport, 1996).
2. Manufactura esbelta: (*Lean manufacturing*) se basa en diagramas de flujo que permiten mapear las rutas para la producción, además utiliza herramientas de mejoramiento continuo, satisfacción del cliente y trabajo en equipo para eliminar desechos (residuos), disminuir inventarios y entregar a tiempo. El concepto de Manufactura Esbelta apareció en 1990 donde Womank y Jones Ross lo usaron en su libro: “la máquina que cambió el mundo”, basándose en atributos del sistema de fabricación Toyota y 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. Para poder lograr este objetivo es necesaria una recepción temprana de los requerimientos del cliente, una programación en lotes lo más pequeños posibles que permita la disminución de inventario, de tiempos de operaciones y de espera de materiales en producción, de los traslados dentro de la planta e incrementen la facilidad de inspección (Niño & Bednarek, 2010).
3. Six sigma: es una innovación de Motorola, se fundamenta en el mejoramiento de las estadísticas mediante grupos de trabajo, en donde hay una jerarquización dependiendo de la experiencia del personal.
4. 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.
5. *World-class manufacturing*: Este término fue introducido por Hayes and Wheelwright (1984) para referirse a las capacidades de los fabricantes japoneses, estadounidenses y alemanes para alcanzar altos rendimientos y competir en mercados mundiales (Ortega & Eguía Salinas, 2011). 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 metodologías para mejorar la eficacia del sistema, las herramientas primordiales que utiliza este tipo de manufactura son la administración de la calidad total (TQM) o cero defectos, el Justo a Tiempo (JIT) o cero inventarios, el mantenimiento productivo total (MPT) cero fallas y los procesos de mejoramiento continuo (Halevi, 2001) (Schonberger, 2007).

En la figura 2-3. Se muestra un resumen gráfico de la evolución de los sistemas de manufactura

Figura 2-3. Evolución histórica en línea de tiempo de los sistemas de manufactura



Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la figura 2-3, los sistemas de manufactura tradicionales tienen una transición al aparecer los sistemas de manufactura reconfigurables; 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, en el acápite siguiente se mostrarán los principales paradigmas de fabricación que pertenecen a esta clasificación.

2.1.2. Sistemas de Manufactura Emergentes

Los cambios y perturbaciones afectan a las organizaciones de forma creciente a medida que pasa el tiempo por lo que es vital investigar, entender e identificar las posibles soluciones para responder de manera efectiva y rápida a los mismos, una de las soluciones que se ha presentado desde la industria y la academia son los sistemas de manufactura emergente. Los sistemas de manufactura emergentes se manifiestan como una solución para enfrentar los cambios rápidos del entorno (Leitão , Barbosa, & Trentesaux, 2012), por lo que comparten en general tres características funda-

mentales: 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). Puntualmente, sistemas emergentes de manufactura como el Holónico, Biológico, Reconfigurable y Ágil tienen en común, el uso de unidades individuales que pueden agruparse o combinarse en pro del funcionamiento del macro sistema para cumplir el objetivo general (Saadat & Owliya, 2008).

Los **sistemas de Manufactura Reconfigurable** mezclan la producción esbelta (Lean Manufacturing) que en su evolución permite la personalización de los productos y los sistemas de manufactura flexible, logrando la automatización flexible. Los RMS están diseñados para el cambio rápido de estructura, y para tal caso se construyen máquinas reconfigurables tanto en software como en hardware, que permitan el ajuste de la capacidad de producción y cambio de familia de productos. En 1999 Koren y sus colaboradores mencionan que las características para que un sistema sea reconfigurable son: modularidad de diseños de componentes, integrabilidad para tanto una integración instantánea como para la futura integración de nuevas tecnologías, convertibilidad para permitir una rápida transición entre productos y adaptabilidad rápida de sistemas para productos futuros, diagnosticabilidad para identificar velozmente las fuentes de problemas de calidad y de fiabilidad, personalización para ajustar la capacidad y flexibilidad diseñada del sistema a las aplicaciones y la escalabilidad para cambiar rápida y económicamente la capacidad de forma incremental (Ortega & Eguía Salinas, 2011).

Posterior a los sistemas de manufactura reconfigurables se encuentran los paradigmas de fabricación que utilizan elementos biológicos en su configuración, en la siguiente sección se hará un recuento de las teorías y conceptos que se utilizan en este tipo de sistemas y posteriormente se explicarán los más relevantes, entre ellos los sistemas de manufactura biológicos (BMS).

2.2. Sistemas de Manufactura con aplicación de elementos biológicos.

En el entorno mundial actual las organizaciones se ven sometidas a cambios rápidos en elementos clave para la producción de bienes y servicios. Como lo menciona Baykasoglu (2001) las principales características del ambiente de fabricación actual son: la demanda variable, el tamaño variable de

los lotes de producción, los cambios frecuentes e imprevisibles en la mezcla de productos⁵, tiempos de preparación y secuencias de producción igualmente variables, un volumen muy alto de información y una fuerte competencia. Estas características son propias de entornos turbulentos los cuales se caracterizan principalmente según Rivera (2010): “por presentar incertidumbre, dinamismo y complejidad. La incertidumbre se hace evidente al momento de tomar decisiones, sin lograr tener certeza sobre lo que puede pasarle a la empresa; el dinamismo se logra observar por el cambio permanente en las necesidades de los clientes y surgimiento de nuevos productos, que origina incremento de la rivalidad por precio; y la complejidad puede identificarse en el surgimiento de nuevos actores con los que se debe interactuar para llevar a cabo una transacción”. Por lo que los sistemas de manufactura tradicionales comienzan a tener problemas de flexibilidad para afrontar este tipo de entornos, por lo tanto surgen nuevos conceptos y teorías desde el comportamiento de los sistemas y relaciones de los seres vivos.

2.2.1. Conceptos que envuelven a los sistemas de manufactura con elementos biológicos.

A continuación se explican brevemente, algunos conceptos, teorías y características que dan origen y/o surgen de la concepción de los sistemas de manufactura con elementos biológicos aplicados.

A. Términos relativos

- **Biología:** Según Montoya (2010): “en su sentido moderno parece haber sido introducida por Gottfried Reinhold (Biologie oder Philosophie der lebenden Natur, 1802) y por Jean-Baptiste Lamarck (Hydrogéologie, 1802)”. La biología del griego «βίος» bios, vida, y «λόγος» logos, razonamiento, estudio, ciencia es una rama de las ciencias naturales que tiene como objeto de estudio a los seres vivos y, más específicamente de sus propiedades: génesis, nutrición, morfogénesis, reproducción, patogenia, etc. Se caracteriza por seguir algunos principios y conceptos de importancia, entre los que se incluyen la universalidad, la evolución, la diversidad, la continuidad, la homeóstasis y las interacciones (Campbell, 2000).
- **Biomecánica y Biofísica:** Aplicación de los principios mecánicos o físicos para resolver problemas en las ciencias biológicas y para resolver problemas en las ciencias físicas o mecánicas con el enfoque de la ingeniería y la biología (Shu L. , Ueda, Chiu, & Cheong, 2011)

⁵ Cambio en las formulaciones de materias primas, en respuesta, principalmente, a la variación en la demanda. (Baykasoglu 2001)

- Bionico (Bionics): Aplicación de las funciones biológicas y la mecánica para el diseño de máquinas, en otras palabras copiar funciones o características de la naturaleza y aplicarlas al diseño de máquinas (Shu L. , Ueda, Chiu, & Cheong, 2011),
- Biomimética (Biomimetics): Se utilizó por primera vez en un título de un trabajo de Schmitt, y se define como, el estudio de la formación, estructura y función de las sustancias de origen biológico y materiales, sus mecanismos y procesos (como la síntesis de proteínas o la fotosíntesis), con el fin de sintetizar productos similares por mecanismos artificiales que imitan a los naturales (Schmitt , 1969), (Shu L. , Ueda, Chiu, & Cheong, 2011).
- Cladística: Es un método de clasificación jerárquica de las entidades, que los organiza en conjuntos y subconjuntos discretos, para las organizaciones se ha utilizado en forma de árbol de conocimiento, el cual representa la historia evolutiva de un grupo, mostrando sus relaciones (Elmaraghy, Algeddawy, & Azab, 2008).
- Holografía: fue determinada por Rupert Sheldrake, al evidenciar que quitando una parte de un organismo, este continúa desarrollandose de una forma aproximada a la normal, por otro lado observó que el aprendizaje se podía pasar de una generación a otra (Montoya, Castellanos , & Montoya, 2004). A esta categoría pertenecen los holones.
- Hormesis: Según Jiménez y Castellanos (2009) este término se refiere a que las muchas toxinas administradas en bajas dosis generan efectos favorables en la salud, al hacer la analogía con las organizaciones se enfatiza en que este proceso afecta el equilibrio y posteriormente se restablece el equilibrio y la organización logra adaptarse al nuevo entorno (Pech y Oakley, 2005 citado en Jiménez y Castellanos, 2009).

B. Teorías

• Las organizaciones como un ser vivo

En este punto, se tomará la visión de Montoya (2010), quien hace una recopilación sobre esta teoría en su trabajo, menciona que Illera (1982), señaló que las organizaciones pueden ser entendidas como seres vivos y ecosistemas, por lo que podían estudiarse mediante la teoría de sistemas, a su vez Beer (1982), compara el sistema de control de la empresa con el sistema nervioso central del cuerpo humano. En esta tesis se menciona además el punto de vista de Morgan (1991), quien compara a la organización con diferentes sistemas en una evolución, que concuerda con la que se llevó a cabo por parte de los sistemas de manufactura, de esta forma la compara con una máquina, donde las personas son parte de un engranaje operativo; la organización como organismo, allí se tienen relaciones y diferencias entre moléculas, células, organismos, especies y ecología, que son conside-

rados paralelos a individuos, grupos, organizaciones, poblaciones y su ecología social, en esta aproximación se tienen conceptos como el acercamiento holístico, genético y como cerebro, donde se destaca que los sistemas deben ser capaces de sentir, controlar y explorar aspectos significativos de sus entornos, comunicar esta información a las normas operativas que guían el comportamiento del sistema, detectar desviaciones significativas de las normas, e iniciar las acciones correctivas; además Morgan (1991) presenta aproximaciones de las organizaciones como cerebros, cultura y sistemas políticos, los cuales mezclan antropología y otras ciencias pertinentes para la administración y gestión.

- **El sistema de fabricación como una célula**

Uno de los conceptos que se han venido aplicando para dar paso a la concepción de los sistemas biológicos de manufactura es el de aproximar los sistemas de fabricación a una célula la cual, utiliza una serie de entradas para fabricar una amplia gama de compuestos que le ayudan a interactuar con su entorno y le permiten su replicación, además ambos sistemas de producción deben ser rápidos, eficientes y sensibles a cambios en el ambiente (Demeester, Eichler, & Loch, 2003). Según Montoya, Castellanos y Montoya (2004), las organizaciones al igual que las células presentan una diferenciación y especialización de las funciones, con órganos facultados para realizar tareas específicas, estos mismo autores indican que: “la organización puede desarrollarse de una forma celular alrededor de la autoorganización, grupos multidisciplinarios que tienen cualificaciones y habilidades requeridas para tratar el entorno de forma holística integrada”. En Montoya (2010), se cita a Rivas (2002) quien menciona que en una organización celular existen grupos autodirigidos que pueden operar solas o en conjunto. Para este nuevo paradigma de organización celular, se adaptan las características como la estrategia lo es todo, las pequeñas acciones individuales pueden generar grandes cambios, la evolución es la maquinaria del cambio, El cambio sigue trayectorias incrementales y la célula es la base del diseño organizacional.

- **Teoría de la evolución y co-evolución**

La evolución biológica se puede definir como el proceso de cambio a través del tiempo en las características de los organismos, donde se heredan rasgos, los cuales, están codificados en su material genético, este material puede modificarse, y por lo tanto estos cambios son propagados, es así como la selección tiende a modificar la población de manera adecuada (Elmaraghy, Algeddawy, & Azab, 2008). Los modelos evolucionistas se fundamentan en los principales aportes de Darwin, Lamarck y sus seguidores; donde la evolución es la respuesta a la pregunta de cómo los

seres cambian para mejorar y adaptarse al medio ambiente difícil, variable y altamente competitivo para poder subsistir, crecer y multiplicarse, en donde las especies se reproducen y al buscar la adaptación, hacen cambios (los que se reproducen en su código genético) a los cuales se les llaman mutaciones, y que mediante la selección se rechazan o aceptan por parte de las especies (Montoya L. , 2010) (Barbosa, J., Leitão, P., & Pereira, A. I. ,2011).

Por otra parte la co-evolución es: “la relación benéfica que tienen dos especies para evolucionar. Puede darse entre miembros de la misma especie; sin embargo la relación benéfica interespecies, con poblaciones que son totalmente distintas, es lo que permite generar mecanismos adaptativos y alcanzar ventajas competitivas que les posibilitan desarrollarse y modificar el medio, evitando la depredación y la competencia”, las interacciones evolutivas continuamente se están formando dentro de las comunidades, mientras que otras parecen permanecer intactas por milenios (Thompson, J., 2003).

- **Inteligencia de enjambre (Swarm intelligence)**

Es una inteligencia colectiva se lleva a cabo por las interacciones simples de las personas. Un concepto que se encuentra en las colonias de insectos, la cual se establece a partir entidades simples, que interactúan entre sí y con su entorno, el ejemplo más significativo en este tipo de inteligencia es la de las colonias de hormigas, en donde las colonias se adaptan fácilmente a los cambios del entorno, los miembros que mueren son reemplazados fácilmente, y el grupo necesita poco control (flexibilidad, robustez y autoorganización) (Park, H. & Tran, N. 2010). Estos sistemas se caracterizan porque la suma de los comportamientos resultantes en su totalidad es mayor y más compleja que la suma del comportamiento de sus partes, es por esto que se menciona que una hormiga no es inteligente, pero una colonia de hormigas si lo es (Leitao, P., 2011).

Por otra parte, Muñoz, López y Caicedo en su revisión acerca de esta teoría coinciden con Leitao y agrega que es un conjunto de técnicas basadas en el comportamiento colectivo, cuyas mayores características son la descentralización y autoorganización. La Inteligencia de enjambres: corresponde a un grupo de técnicas, típicamente están conformados por agentes computacionales que perciben y modifican el ambiente local para lograr un comportamiento a nivel global. En el conjunto de técnicas se destaca la optimización por enjambre de partículas (Particle Swarm Optimization – PSO) desarrollada por Kennedy y Eberhart en 1995 que se basa en la simulación del desplazamiento de cardúmenes y bandadas en el cual ellos individuos ajustan el conocimiento a partir de lo que es exitoso

para el conjunto; y la optimización por colonia de hormigas (Ant Colony Optimization – ACO) que se basa en el trabajo de Dorigo *et al.* (1991) a partir del cual se deriva una serie de algoritmos fundamentados en la actividad de las hormigas guiadas por las feromonas que permiten la ubicación de las fuentes de comida y el nido.

Existen otros desarrollos que se han clasificado dentro de estas técnicas como la optimización por enjambre de bacterias (Bacteria Swarm Foraging Optimization – BSFO) desarrollada por Passino (2000) basado en el comportamiento de la E.Coli al cambiar de estado dependiendo del nivel de nutrientes o sustancias nocivas que se encuentran en el ambiente; y el algoritmo de colmena de abejas artificiales (Artificial Bee Hive Algorithm – ABHA) (Muñoz, López, & Caicedo, 2008).

2.2.2. Sistemas de manufactura que incorporan elementos biológicos

Según Paulo Leitao *et al.* (2011), los sistemas de manufactura tradicionales, los cuales son centralizados y con estructuras rígidas, no tienen suficiente flexibilidad para hacer frente con modularidad, flexibilidad, robustez y reconfiguración al nuevo entorno variable. 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 de fabricación como los “Sistemas de Fabricación Holónicos” (HMS), los de “Fabricación Fractal” o “Fabricación Basada en Agentes” (MAS), entre otros, los cuales 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 (Araúzo, 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 (Leitao, Barbosa, & Trentesaux, 2012). Hoda *et al.* (2008) comparten la visión de Leitao y además añaden que estos nuevos paradigmas deben permitir 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 proyectos⁶, el arreglo de componentes, la planeación de la producción y el control de estrategias. Por otra parte Rivera (2010) hace una recopilación de las diferentes formas propuestas por varios autores para enfrentar ambientes turbulentos, entre las cuales se pueden destacar: estudiar la interacción entre el ambiente y la organización creando una estructura organizacional flexible y descentralizada, la creación de

⁶ El proceso de proyectos se refiere a las actividades llevadas a cabo desde la concepción de un proyecto, pasando por su ejecución y terminado en sus resultados. (Hoda et al. 2008)

redes organizacionales, la modificación al proceso de planeación estratégica que debe surgir de un proceso espontáneo logrado gracias a una auto-organización y procesos de aprendizaje permanente. Teniendo en cuenta estas visiones y considerando que los sistemas emergentes de fabricación, están diseñados a partir de conceptos que les permitan responder a cambios en su entorno, se pueden mencionar los nuevos paradigmas introducidos en los últimos años.

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 mismos se explican brevemente a continuación.

2.2.2.1. Multi-Agent Systems (MAS)

Este sistema de manufactura se basa en agentes, los cuales en un sistema multiagente tienen varias características fundamentales como la autonomía, la visión local del sistema, que hace que deban trabajar de forma cooperativa y la descentralización, pues no hay un agente de control designado, si no que la suma de las sinergias del sistema de agentes da como resultado el control o el entendimiento del sistema. Normalmente las definiciones de estos sistemas se refieren a *software* pero pueden ser también robots, seres humanos o equipos humanos. Sus características principales son modularidad, flexibilidad, resistencia y adaptación, y consisten en entidades autónomas con comportamientos reactivos y proactivos que interactúan con otros agentes por medio de mensajes, pueden presentar problemas de miopía, debido a que los agentes no tienen una visión global del sistema (Wooldridge, 2002).

En este modelo, la producción se puede dividir en módulo funcionales o en módulos físicos, para el caso de los sistemas de manufactura multiagente se utiliza el sistema de agentes 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).

2.2.2.2. Holonic Manufacturing Systems (HMS)

Los sistemas de fabricación holónicos, 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). Por otra parte, según Arauzo *et al* (2002) el consorcio del HMS desarrolló la siguiente definición de holón: bloque autónomo y cooperativo de un sistema de fabricación que transforma, transporta, almacena y/o valida información. Un holón puede ser también una parte física del proceso. Esta misma entidad define al sistema de fabricación holónico (HMS): holarquía⁷ que integra el conjunto de actividades de fabricación desde el aprovisionamiento hasta la comercialización pasando por el diseño y la producción. Sobre este sistema de fabricación Bongaerst (1998), obtuvo resultados experimentales positivos, donde el paradigma se presenta como una alternativa a los sistemas de control de la fabricación, para adaptarse a los actuales requisitos del mercado. Más recientemente Leitao y Restivo (2008) aplicaron este paradigma para resolver el problema de programación en la industria creando un nuevo algoritmo que permite la rápida reconfiguración de los sistemas de manufactura, a partir de la coordinación entre las entidades (holones), consiguiendo códigos de programación más sencillos y ágiles.

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 de la 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, esta 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, de los holones. Es así como un HMS se puede definir como una holigraquía que integra varias actividades de fabricación para que a través del diseño, producción y comercialización proporcionan a la empresa agilidad en la fabricación (Christo & Cardeira, 2007).

⁷ Conjunto de holones que pueden cooperar para alcanzar una meta o un objetivo. La holarquía define las reglas básicas para la cooperación de los holones limitando su autonomía.

2.2.2.3. Sistemas de fabricación Fractal (FMS)

Este concepto fue inicialmente introducido por Warnecke en 1993 en Alemania es un sistema de reconfiguración en el que cada unidad en una organización se considera como un fractal y presta servicios a otras unidades, cada fractal tiene una estructura interna que puede estar organizada de una forma distinta, pero son similares al verse desde un punto de vista externo (Baykasoglu, 2001). Los conceptos de fractales se originan en la matemática y la teoría del caos y propone nuevas ideas para manejar la inflexibilidad y rigidez de las organizaciones actuales. Los Sistemas Fractales de Manufactura son sistemas abiertos y una de sus características principales es la auto-similitud entre sus pequeños componentes conocidos como unidades fractales. Las características principales de este tipo de sistema de manufactura son la auto-organización debido a que no necesitan de medios externos para reorganizarse, la auto-similaridad, la auto-optimización que significa que están en continua búsqueda de su mejor rendimiento. En este paradigma las unidades conocidas como fractales actúan como unidades independientes para lograr sus propios objetivos, por lo que tienen su propio sistema de gestión de la información, pero mantienen un objetivo general a través de la cooperación; lo que resulta en un sistema dinámico capaz de cambiar de estructura y responder rápidamente a los cambios del entorno (Christo & Cardeira, 2007).

2.2.2.4. Genetic Manufacturing System (GMS)

Propuesto por Brussel en 1995, se basa en la clasificación de la información almacenada como en los sistemas vivos en dos tipos ADN que incluye los datos de los productos y equipos de fabricación y la información BN-tipo (brain neural) se compone de las reglas para llevar a cabo procesos (Park & Tran, 2010).

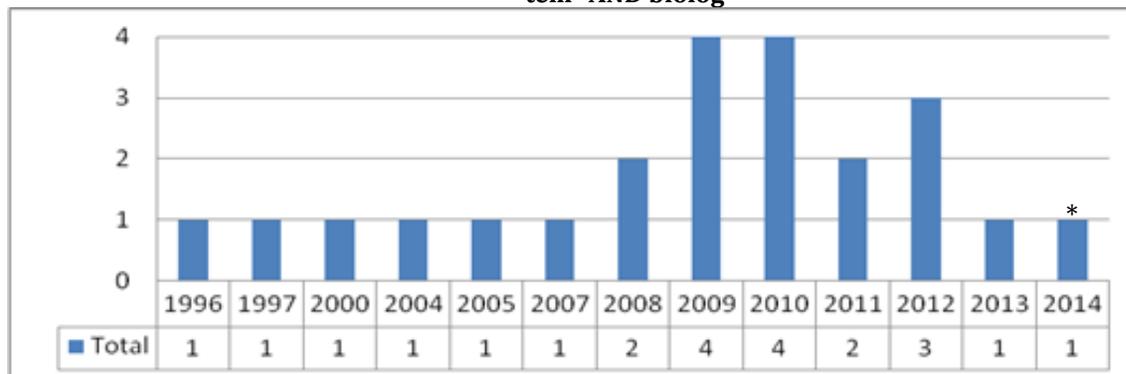
Uno de las técnicas más utilizadas que pertenecen a este tipo de manufactura son los Algoritmos genéticos, se considera a Holland como el fundador de los Algoritmos Genéticos, que en su publicación *Adaptation in Natural and Artificial Systems* en 1975 a partir del estudio de las características de los sistemas adaptativos explica el funcionamiento de estos algoritmos al trabajar con representaciones (genomas) y operadores de mutación, cruzamiento e inversión. La escuela de pensamiento fundada por Holland resultó en varias aplicaciones de esta técnica compilados en el *Handbook of Evolutionary Computation*: "Bagley propuso utilizarlos para determinar los parámetros en funciones de evaluación de programas capaces de jugar juegos sencillos. Rosenberg y Weinberg los aplicaron en la simulación de organismos alife o de vida artificial. Cavicchio trabajó sobre problemas de reconocimiento de patrones, siguiendo las ideas de Bledsoe y Browning. Hollstein aplicó algoritmos ge-

néticos a un problema de optimización matemática pura. Frantz estudió el fenómeno de la epístasis, el efecto posicional y los operadores de inversión, y colaboró proponiendo nuevos operadores evolutivos”. Los algoritmos genéticos trabajan sobre una población de soluciones potenciales y al imitar a la evolución natural de los seres vivos interactúan y se transforman de manera única, la técnica se inclina a través de la programación por las soluciones con mayor probabilidad de sobrevivir gracias a su adaptación (solución óptima) (Nesmachnow, 2004).

2.2.3. Sistemas de Manufactura Biológicos (Biologic Manufacturing Systems (BMS)).

Las publicaciones referentes al término específico de sistemas de manufactura biológico, han tenido un número limitado de registros desde su aparición en 1997, lo que se debe a que es más común la aplicación de elementos biológicos a sistemas de manufactura que se han utilizado de forma amplia como los flexibles y esbeltos, que la aplicación del paradigma biológico completo, pues este implica una serie de cambios radicales en la empresa como la estructuración de redes de gestión del conocimiento, incremento de la calidad y eficiencia del recurso humano y empoderamiento de los miembros de la empresa para fomentar la agilidad en la toma de decisiones con respecto a las tendencias y/o amenazas del entorno identificadas. Esto se observa en la Figura 2-4, donde se encontraron 24 publicaciones con la ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND bio*, con un pico en 2009 y 2010 en donde probablemente por la crisis mundial se trató de avanzar hacia paradigmas emergentes que permitieran la respuesta hacia cambios del entorno.

Figura 2-4. Evolución en el tiempo de las publicaciones, ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND biolog*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BdD: 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 reseñan la aplicación de elementos biológicos a sistemas de manufactura, se observa que la producción

bibliográfica, relacionada con los sistemas de manufactura biológica (BMS) tienen un máximo de 4 registros por año; 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.

Los sistemas de Manufactura Biológicos, son uno de los enfoques más conocidos para tratar de afrontar las perturbaciones internas y externas de los entornos de producción, propuestos por Ueda, Vaario, & Ohkura (1997) en Japón, su idea central es la aplicación de conceptos como la auto-organización, el auto-crecimiento y la evolución, traídos de la biología para poder enfrentar los cambios en los ambientes de la manufactura. El objetivo era desarrollar un sistema flexible para un entorno dinámico en lugar de una configuración óptima para un entorno estático. En un trabajo anterior Ueda en 1992, establece como bases de estos sistemas a la auto-organización, la aparición de redes en la cadena de suministro (cliente, distribuidor, productor, y proveedores) y la racionalidad limitada que se refiere a una característica propia de los seres humanos, donde se mezcla la emocionalidad y la racionalidad en la toma de decisiones (Uedaa, Kitob, & Fujiia, 2006).

Tabla 2-1. Bases de los Sistemas de Manufactura con aplicación de elementos Biológicos.

Elemento	Descripción
Auto-Organización	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).
Aparición de las redes de la cadena de suministro	La cadena Proveedor-Productor-Distribuidor-Cliente, aparece como un elemento fundamental en la producción manufacturera.
Racionalidad Limitada	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).

Fuente: Elaboración propia a partir de Otálora, Ramírez, & Castellanos (2013).

Los sistemas de manufactura biológica se pueden definir como sistemas auto-organizados capaces de adaptar su comportamiento en respuesta a la incertidumbre y los cambios del ambiente Hon (2005), utilizan el atributo de la capacidad de adaptación de los organismos biológicos a los cambios ambientales y sobrevivir a los mismos mediante funciones como el auto-reconocimiento, el auto-aprendizaje, la auto-recuperación y la evolución, las cuales se expresan mediante dos tipos de in-

formación 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). Un BMS ideal debe tener como características: 1. Autonomía: organización interna propia enfocada a la estrategia global. 2. Reconocimiento: capacidad de entender el objetivo global. 3. Percepción: el conocimiento de las condiciones locales y del entorno. 4. Aprendizaje: adquirir nuevos conocimientos para la creación de nuevas reglas y estrategias. 5. Espontaneidad: acciones espontáneas de reacción ante la turbulencia. 6. Cooperación: grupos interdisciplinarios (Hon, 2005).

En aproximaciones del uso del paradigma biológico se encuentra el aporte de un ejercicio científico previo, en el cual, se observa la tendencia en la investigación en el paradigma biológico, con el objetivo de entender cómo se pueden aplicar los elementos biológicos en contextos en vía de desarrollo, para lo cual se utilizaron ecuaciones de búsqueda, con términos como autoorganización, autoaprendizaje, evolución, inteligencia, computación biológica y desarrollo tecnológico determinándose que las principales temáticas se encuentran enfocadas a la aplicación de conceptos biológicos y de técnicas denominadas inteligentes en la fabricación de bienes, entre las cuales se encuentran los algoritmos genéticos y las redes neuronales artificiales en procesos de manufactura. Este estudio permite observar la tendencia de los elementos aplicados desde la biología hacia la computación y la manufactura, donde los artículos sobre algoritmos genéticos y redes neuronales se enfocan hacia la optimización y surge una nueva tendencia de manufactura en célula.

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 desarrollado a partir de 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 siguiente Tabla.

Tabla 2-2. Aplicaciones de sistemas con elementos biológicos para la resolución de problemas de manufactura.

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 et al. (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 et al. (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 et al. (2008), Chen et al. (2008), Xu et al. (2009), Blum and Sampels (2004), Gravel et al. (2002)	Qiu <i>et al.</i> (2009), Aggoune <i>et al.</i> (2001), Tharumarajah (1998)	Shi <i>et al.</i> (2009), Zhang and Wu (2008), Pham <i>et al.</i> (2007b), Cicirello and Smith (2001a), Cicirello and Smith (2001b), Xia and Wu (2005), Zhao et al. (2006)
Control de producción (production control)	Hadeli <i>et al.</i> (2004)	Leitao and Restivo (2006), Bussmann <i>et al.</i> (2004), Sallez <i>et al.</i> (2009)	Vaario and Ueda (1998), Ueda et al. (2001) Weyns <i>et al.</i> (2008), Zbib et al. (in press)
Cadena de suministro (supply chain)	Suva et al. (2004), Sun et al. (2008), Caldeira et al. (2007)	Elmahi <i>et al.</i> (2004), Kaijun <i>et al.</i> (2010), Jianhua and Xianfeng (2010)	Sinha et al. (2009), Qi <i>et al.</i> (2008)

Fuente: Adaptado de Leitao, Barbosa, & Trentesaux (2012).

Para el contexto de países en vía de desarrollo, se han llevado a cabo exploraciones de las aplicaciones de los conceptos biológicos a diferentes campos: Montoya (2010) hace una aproximación bioló-

gica a los mecanismos de integración empresarial, en este menciona que las organizaciones, en comparación con los organismos pueden ser entendidas como seres vivos y ecosistemas. Por su parte, Jiménez y sus colaboradores (2009) hacen un análisis de las tendencias y los aportes de los atributos de la vida al desarrollo tecnológico, donde destacan 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. En este mismo trabajo se concluye: “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 para el incremento de la productividad y la competitividad.

Particularmente en Colombia Rivas (2002) hace una aproximación sobre los nuevos paradigmas organizacionales, incluyendo la organización celular de la que dice parte de la idea que en una organización celular existen unidades autónomas que pueden actuar solas o en conjunto con las demás para crear mecanismos más complejos y además concluye sobre los nuevos paradigmas de las organizaciones que se caracterizan por establecer una ruptura con los principios clásicos de la organización como la formalización, la centralización y la estandarización, y dar paso a la coordinación y la cooperación como nuevas competencias centrales para dar respuesta a las oportunidades de negocio mediante configuraciones orgánicas mutables. También se encuentran referencias principalmente de aproximaciones a la aplicación de elementos biológicos en las ciencias de la computación, por ejemplo Ortiz & Rojas (1998) utilizan los fundamentos biológicos para desarrollar la teoría de la computación con ADN, otro ejemplo más reciente se encuentra en Gómez y Maldonado (2011), quienes presentan a los sistemas bio-inspirados como una solución teórica para los sistemas computacionales complejos. Sin embargo no se encontró evidencia de una aplicación de los elementos de la biología a los sistemas de manufactura colombianos.

El desarrollo de este capítulo, permitió observar la diferenciación existente entre los sistemas de manufactura tradicionales y emergentes, siendo la principal característica de los emergentes la flexibilidad y respuesta ante el entorno. Los sistemas de manufactura emergentes son una tendencia mundial de investigación ya que permiten la respuesta rápida al entorno conservando el incremento y/o estabilidad de indicadores de medición de eficiencia del desempeño de la empresa, entre los cuales se encuentra la productividad.

Sin embargo, países en desarrollo como los Latinoamericanos no han utilizado ni investigado temáticas referentes a los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos, y en su mayoría, se siguen tratando temáticas relativas 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 y a la larga impactarían en la productividad de la empresa.

El paradigma biológico a partir de la teoría de sistemas, en la que la empresa se ve como un sistema compuesto por múltiples sistemas, permite ver a la organización como un organismo vivo que evoluciona, trabaja conjuntamente entre sistemas para co-evolucionar y se adapta; a partir de estas y otras premisas puede explicar los fenómenos que llevan a que una empresa se adapte o no exitosamente a los cambios del entorno. Es así, como Montoya (2013) menciona que la estrategia vista desde el fundamento biológico es el mecanismo adaptativo que tiene la organización para permanecer en el medio, la estructura es la capacidad de organización interna que permite seguir la estrategia y además alcanzar su crecimiento, y la cultura organizacional es el proceso cognitivo de aprendizaje que posibilita a la empresa continuar con su desarrollo y alcanzar un tercer objetivo, muy importante, que tiene que ver con la rentabilidad la cual está asociada directamente con la productividad.

Es así, como teniendo en cuenta que 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, es necesario plantear nuevos escenarios para los métodos existentes de producción en contextos como el colombiano, en donde la aplicación de los sistemas de manufactura, con aplicación de elementos biológicos (SMB), puede ser pertinente para el incremento de la productividad, ya que permiten una respuesta más rápida y efectiva a las ame-

nazas 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.

El fundamento biológico, entonces, permite explicar a las empresas desde las relaciones entre los individuos que la conforman y a los sectores desde las relaciones entre las organizaciones que los integran, dando un concepto ampliado al término de productividad que permite el incremento de la misma a partir del mejoramiento de estas interacciones y la comprensión de acciones que pueden o no estarse desarrollando dentro de la industria.

3. PERTINENCIA DE LAS APLICACIONES DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS A LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.

Teniendo en cuenta lo presentado en los capítulos anteriores, se concluye que 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 del aparato productivo y cambios en la dinámica interna que hace más eficientes las relaciones entre las entidades que la conforman, y por lo tanto, ayuda al aumento de la eficiencia en el uso de los recursos. En consecuencia, con el fin de presentar las consideraciones para la aplicación de elementos biológicos en el sistema productivo del contexto Colombiano, el presente capítulo primero mostrará una caracterización del aparato productivo del país a partir de fuentes secundarias, haciendo énfasis en la subcadena de las artes gráficas, debido a que es una cadena tipo, que se encuentra en un punto de inflexión principalmente por las tendencias mundiales actuales, por lo que necesita responder a las turbulencias del ambiente para mantenerse competitiva a nivel mundial y posteriormente la propuesta de incorporación de los atributos biológicos a las empresas del país.

3.2. Caracterización del Sector Empresarial Colombiano.

Los resultados de la última encuesta manufacturera, muestran el comportamiento del sector manufacturero colombiano para el año 2011 (DANE, 2013), en el cual se destaca de forma general:

- Los resultados definitivos de la Encuesta Anual Manufacturera 2011 se refieren a un total de 9.8091 establecimientos.
- Geográficamente, 71,7% del personal ocupado por la industria nacional se concentró en los establecimientos ubicados en las áreas metropolitanas de Bogotá D.C. (40,4%), Medellín (19,7%) y Cali (11,6%).
- Según la Secretaria Distrital de planeación(2010) Bogotá es considerado el principal centro empresarial del país y se caracteriza por el predominio de actividades del sector servicios con un 46%, comercio con un 16% e industria con un 14%. En Bogotá se localiza el 27% de las empresas de Colombia, con la ventaja de una alta concentración de industrias y la cerca-

nía con los clientes potenciales y con la desventaja de la infraestructura de transporte (movilidad). Esta misma publicación menciona que en 2008 se crearon 40900 empresas en el Distrito Capital.

En 2008, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia, crea el Programa de Transformación Productiva con el objetivo de transformar a la industria colombiana e impulsar el desarrollo de las empresas de 20 sectores estratégicos de la economía nacional, para que compitan y crezcan. Los 20 sectores productivos que cobija este programa son (PTP, 2014):

Manufacturas: 1. Cosméticos y artículos de aseo, 2. Editorial e industria de la comunicación gráfica 3. Industria de autopartes y vehículos, 4. Textiles y confecciones (Hace parte del Sistema Moda), 5. Cuero, calzado y marroquinería (Hace parte del Sistema Moda), 6. Siderúrgico, 7. Metalmecánico, 8. Astillero. Agroindustria: 9. Hortofrutícola, 10. Chocolatería, confitería y sus materias primas, 11. Acuícola, 12. Carne bovina, 13. Lácteo, 14. Palma, aceites, grasas vegetales y sus biocombustibles. Servicios: 15. Energía eléctrica, bienes y servicios conexos, 16. Software & TI, 17. Tercerización de procesos de negocio BPO&O, 18. Turismo de Salud, 19. Turismo de bienestar y 20. Turismo de Naturaleza.

Entre ellos, el sector de las artes gráficas se ha caracterizado porque a pesar de dificultades como la disminución de exportaciones hacia Venezuela y Ecuador y la entrada de nuevas tendencias tecnológicas en empaque e impresión, principalmente se ha mantenido como un sector en crecimiento, por encima del crecimiento de los sectores de país; por ejemplo el crecimiento de su productividad entre 2009 y 2012 fue de 2,1% anual mientras que el país creció en un 1,3% promedio anual (Rico, 2014). Además, La industria de la comunicación gráfica aportó el 3.6% del PIB industrial del país en 2013, cuenta con 2.296 empresas dedicadas a actividades de impresión. Y según la Gran Encuesta Integrada de Hogares 2013, el sector emplea a un poco más de 61.000 personas (PTP, 2014). Uno de los objetivos del sector para el 2014 es Incrementar la productividad en la industria a través de la identificación de brechas productivas y su cierre (PTP, 2014).

Teniendo en cuenta, la relevancia del sector de la comunicación gráfica y la industria editorial para el país al ser un sector de clase priorizado de clase mundial, con un impacto significativo en El Producto Interno Bruto del país y que ha identificado al incremento de la productividad como uno de sus retos, a continuación se muestra la caracterización de la cadena del papel y las artes gráficas, con el objetivo de profundizar en los retos y estado del sector, para plantear las consideraciones que

se podrían dar al mismo desde el fundamento biológico para el incremento de la productividad. La caracterización de las demás cadenas manufactureras (exceptuando la cadenas de servicios de educación y turismo, ya que estas no están incluidas en el objeto del presente estudio), basándose en documentos disponibles en sobre las mismas, se puede encontrar en el Anexo 2,

Cadena de papel y artes gráficas.

La estructura de la cadena productiva del papel y las artes gráficas se divide en dos etapas, la primera es la producción de papel y cartón cuya materia prima puede ser la madera, el bagazo de caña u otras fibras las cuales se pueden o no mezclar con papel reciclado, esta materia prima se mezcla con soda cáustica o sulfato de sodio y se cocina bajo presión para la obtención de pulpa sin blanquear, esta pulpa la mayoría de las veces pasa al proceso de blanqueado con peróxido de hidrógeno, posteriormente la pulpa se disuelve en agua en una concentración inferior a 10% y se le agregan aditivos como colorantes y caolines para pasarla al proceso de formación donde se obtiene el papel en capas, finalmente se lleva un proceso de secado y terminado donde se realizan operaciones sobre el papel en bruto como la impresión de rayas en el papel, corte, perforación, plegado, pegado, troquelado y encuadernación(Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2004a).

La segunda etapa corresponde a la elaboración de productos impresos de la industria gráfica, esta se divide en tres etapas: i) Preprensa que abarca los procesos de preparación como el diseño, diagramación, autoedición, montaje y fotomecánica, ii) Impresión es la actividad mediante la cual la tinta con ayuda de un portaimagen es puesta por presión sobre un sustrato para el caso el papel y iii) Postprensa y terminado incluye el cosido, pegado, plegado, empaçado, entre otros.

A partir de la identificación de los procesos productivos del papel y la industria gráfica, se elaboró la estructura de la cadena productiva que recoge las principales líneas de producción y los diferentes productos del sector a través de 17 eslabones, esta se presenta en el anexo 2. La cadena de valor de la industria la componen 4 eslabones, algunas de sus características más importantes se pueden observar en el siguiente gráfico:

Figura 3-1. Cadena de valor de la industria gráfica.

	Tamaño US\$ Miles de Millones, 2005	Jugadores seleccionados	Observaciones
Maquinaria e insumos	Producción de Pulpa	<ul style="list-style-type: none"> Aracruz/VCP Suzano Stora Enso Botnia 	<ul style="list-style-type: none"> Se espera que la capacidad de producción aumente 18% al 2012, del cual Brasil representa la mitad de ese crecimiento
	Producción de papeles/cartón	<ul style="list-style-type: none"> International Paper UPM Stora Enso 	<ul style="list-style-type: none"> El consumo de papel en EE.UU. y Japón ha decrecido 2.5% y 0.8% entre 2005 y 2007
	Comunicación gráfica	<ul style="list-style-type: none"> RR Donnelley Quebecor Bertelsman Amcor Toppan Printing 	<ul style="list-style-type: none"> Industria altamente fragmentada con alta presión para bajar precios Tendencia a desarrollar impresión en países de bajo costo para productos sin sensibilidad a la entrega
	Comercialización	ND	<ul style="list-style-type: none"> Borders Barnes & Novel Wal-mart

Fuente: Tomado de (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo República de Colombia McKinsey & Company, 2009)

La fabricación de papel y cartón se concentra en unas pocas grandes empresas ubicadas por orden de participación en el sector en los departamentos de Valle del Cauca, Antioquia y el Distrito Capital de Bogotá (Secretaría de Planeación Distrital, 2009), caracterizadas por la intensidad de capital y elevadas economías de escala. Las empresas con un mayor nivel de activos en este eslabón son: Cartón Colombia, Colombiana Kimberly, Propal, Productos Familia, Cartones América y Papeles Nacionales, entre otras (Guerra, Osorio, Aguilar, & Gómez, Buscando Consenso Para El Sector de La Industria de la Comunicación Gráfica en Colombia (SICG), 2012).

Por su parte la actividad de las empresas editoriales y de impresión son en su mayoría Pymes ubicadas en Bogotá, con actividades de pre prensa y edición, libros, publicaciones y materiales comerciales y publicitarios (Secretaría de Planeación Distrital, 2009). En este eslabón, donde se ubican las imprentas y artes gráficas, se encuentran una gran cantidad de empresas de pequeño y mediano tamaño y que producen diversidad de bienes. Entre las empresas que sobresalen por su nivel de activos se cuentan: el grupo Carvajal (FESA, Cargraphics, Bico, Carpak, Tecar), la Casa Editorial el Tiempo, Thomas Greg y Sons, Panamericana Formas e Impresos S.A, El Colombiano, Publicar, Legislación Económica, entre otras (Guerra, Osorio, Aguilar, & Gómez, Buscando Consenso Para El Sector de La Industria de la Comunicación Gráfica en Colombia (SICG), 2012).

En Colombia los principales gremios para la comunicación gráfica, son la Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica (ANDIGRAF), El Centro de Desarrollo Tecnológico para la Competitividad de la Industria de la Comunicación Gráfica (CIGRAF) y Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica (CENIGRAF) (Briceño , 2012). Otras organizaciones gremiales y asociaciones en el sector que cabe aquí mencionar son: la Federación de Cooperativas de Impresores y Papeleros de Colombia FEIMPRESORES, el Parque Industrial Ecoeficiente, CENIGRAF y ANDIARIOS (Guerra, Osorio, Aguilar, & Gómez, 2012). Algunas funciones de estas agremiaciones descritas por el PTP (2012), se presentan a continuación:

- Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica – Andigraf: Trabaja por la, defiende los intereses de la Industria Gráfica Colombiana, desarrolla análisis de carácter macroeconómico, sectorial, de comercio y realiza alianzas estratégicas que sirvan a los empresarios para su gestión y crecimiento. Su objetivo es impulsar el sostenimiento y la competitividad de esta industria.
- Coimpresores Bogotá: Es una organización del sector solidario, comercializadora de insumos para el mercado de las artes gráficas y papeleros, que tiene como filosofía agrupar pequeños, medianos y grandes comerciantes de este sector, para brindarles el mayor beneficio en cuanto a regulación. Ofrece una alternativa de valor agregado mediante el diseño y la creación de nuevos servicios establecidos dentro de un modelo logístico integrado.
- Federación de Cooperativas de Impresores y Papeleros de Colombia – Fedegráfica: Es una entidad sin ánimo de lucro que agremia y representa a las cooperativas de impresores y papeleros del país.
- Cámara Colombiana del Libro: Es un gremio sin ánimo de lucro que representa y defiende los intereses de editores, libreros y distribuidores para promover el desarrollo del sector del Libro en Colombia. Busca orientar, representar y proteger los intereses de todos sus agentes dentro de un criterio de bienestar, cooperación y progreso educativo y cultural de la nación.
- Centro de Desarrollo Tecnológico para la Competitividad de la Industria de la Comunicación Gráfica – Cigraf: Se orienta a apoyar a las empresas del sector Gráfico en el incremento de su productividad y competitividad. Realiza acciones encaminadas al cumplimiento de los requerimientos de los empresarios y trabajadores, como el desarrollo de programas de innovación, de desarrollo tecnológico, de formación del talento humano y de servicios tecnológicos. Cigraf basa su estrategia en la oferta de programas académicos, el acompañamiento en programas normativos, el desarrollo de asesorías tecnológicas, los incentivos a programas

de innovación, el fortalecimiento de líneas de investigación y la asesoría para programas ambientales (PTP, 2013).

Cadena de Artes Gráficas:

Las Artes Gráficas se refieren a las profesiones, empresas y ocupaciones industriales que crean productos impresos; donde las actividades de diseño gráfico, pre impresión, impresión, encuadernación y ocupaciones similares están directamente relacionadas y las de publicidad, redacción, fotografía, dibujo, pintura y similares ocupaciones están indirectamente relacionadas (Briceño , 2012). La Cadena de las Artes Gráficas tiene 3 actividades principales (Mendoza, Arcón , Álvarez, & Cantillo , 2012)

- A. Preimpresión: son todas aquellas actividades que se encuentran entre el diseño y la impresión, como la Fotocomposición, la maquetación y las ilustraciones.
- B. Impresión: en la que se encuentran diferentes procedimientos como: i) la Tipografía en la que se usa como forma impresora imágenes en relieve cuya superficie se entinta y entra en contacto, bajo presión, con la superficie del soporte a imprimir; ii) Offset: proceso de impresión plano gráfico en el cual las zonas con imagen y las zonas sin imagen se encuentran en el mismo plano superficial, iii) Hecograbado: método de impresión en el que la imagen que se va a reproducir se graba en bajo relieve en un cilindro. Los alvéolos formados recogen la tinta que después es transmitida al papel, iv) Flexografía: es el procedimiento de impresión con forma en relieve que se caracteriza por el empleo de formas de caucho, grabadas directamente u obtenidas por duplicación de formas metálicas originales en relieve y por el empleo de tintas líquidas, que contienen solubles o pigmentos cubrientes, disueltos o dispersos en alcohol y v) Serigrafía: es el procedimiento de impresión en el que las áreas impresoras de la forma impresora o pantalla quedan abiertas como en el caso de una malla normal.
- C. Encuadernación y acabado.

En el mundo la industria de la comunicación gráfica, en el año 2008, se concentraba en Estados Unidos con ventas de 395 Billones de Dólares, seguido de Japón con 90 Billones de Dólares y el Reino Unido con 62 Billones (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo República de Colombia McKinsey & Company, 2009). En el país las empresas de esta cadena son las que se encuentran clasificadas en los siguientes códigos CIU:

Tabla 3-1. Clasificación de las empresas pertenecientes al sector de la comunicación gráfica según el Código Industrial Internacional Uniforme (CIU)

SUBPRODUCTOS EN EL SECTOR DE LAS ARTES GRÁFICAS	CÓDIGO CIU 2010	SISTEMA ARMONIZADO	CÓDIGO CIU 2009
Papel, Cartón y subproductos	Código 34 Sub-Código 341	48	Código 21 Sub-Código 210
Actividades de edición, impresión y servicios conexos	Código 34 Sub-Código 342	49	Código 22 Sub-Código 221,222,223

Fuente: Tomado de (Briceño , 2012)

En Colombia el eslabón de la impresión ha sido históricamente el eje principal de la producción en la industria de la Artes Gráficas, las líneas de sus productos se pueden clasificar en (Briceño , 2012):

- Productos editoriales: Son productos impresos de reproducción masiva. Ejemplos: Revistas, libros, periódicos, publicaciones empresariales.
- Productos publicitarios: Están destinados a la publicidad ya sea en un producto o servicio. Ejemplo: Calcomanías, *Banners*, catálogos.
- Productos comerciales: De carácter visual dirigidos a la venta de productos o servicios de consumo, entretenimiento o productos exclusivos de una industria. Ejemplo: Artículos escolares, manuales.

En el primer semestre de 2014 la industria de la comunicación gráfica ha reportado valores positivos, con un incremento del 21% en su producción real y 15,7% en las ventas totales. Este comportamiento corresponde en buena parte al incremento de las exportaciones de artículos escolares y de oficina, en un 38% en este periodo de tiempo. Sin embargo, es necesario aclarar que el comportamiento en la producción y las ventas de las PYMES no es tan favorable como el agregado de la industria, puesto que la producción real de este grupo de empresas se redujo hasta 19,8% (ANDIGRAF, 2014).

La Balanza comercial de la industria en el primer semestre de 2014, continúa siendo deficitaria, acumulando un saldo negativo por 55 millones de dólares. La misma es positiva en el segmento de libros con una balanza de 3,4 millones de dólares; sin embargo este valor ha experimentado un decrecimiento del 23% en lo corrido del año. Mientras tanto, los artículos escolares y de oficina reportan una balanza positiva de 11 millones de dólares con un incremento relativo del 26%. Los datos de las exportaciones e importaciones se mencionan a continuación (ANDIGRAF, 2014).

Para el primer semestre del presente año las exportaciones de los productos finales de la industria de la comunicación gráfica reportaron una contracción del 8% en términos de valor y 1% en el volumen exportado con relación al mismo periodo del año 2013. Cabe resaltar el buen comportamiento registrado por los artículos escolares y de oficina que en los primeros 6 meses del año, aumentaron su facturación al exterior en un 38% y su volumen de ventas hasta 98% (ANDIGRAF, 2014).

Por su parte, aunque el material publicitario y comercial reporta un aumento de 2% en su valor exportado, el volumen de estos productos vendidos al extranjero disminuyó en 27%. Similar situación se presenta con las exportaciones de libros, que aumentaron su porcentaje en un 15%, mientras que el valor facturado descendió en 9%. La comparación del comportamiento de esta sub-cadena, para el primer semestre de 2013 y 2014 se puede observar en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2. Comportamiento comparativo de las exportaciones del sector de la comunicación gráfica primer semestre del año 2013 y 2014.

Variación Exportaciones de Colombia Según categoría de Productos Enero-Junio 2013-2014						
Subcategoría	Millones de Dólares CIF			Toneladas		
	2013	2014	Variación	2013	2014	Variación
Formas comerciales y valores	10,00	13,70	38%	3,17	6,28	98%
Material Publicitarios y comercial	9,80	10,00	2%	731,00	530,00	-27%
Empaques de papel y cartón	2,90	2,90	-1%	240,00	247,00	3%
Etiquetas	25,40	24,50	-4%	5,91	5,28	-11%
Empaques de plástico y sus sustratos	31,20	28,20	-9%	3,63	4,16	15%
Publicaciones Periódicas	7,20	6,30	-13%	1,87	1,91	2%
Libros	16,40	11,00	-32%	6,81	3,77	-45%
Artículos escolares y de oficina	4,40	2,30	-48%	144,00	104,00	-28%
Total general	107,00	98,80	-8%	22,50	22,28	-1%

Fuente: DIAN-DANE. Cálculos ANDIGRAF.

En el primer semestre de este año Ecuador se ha constituido en el principal destino de las exportaciones de la industria gráfica, con una facturación cercana a los 18 millones de dólares y un incremento del 20% con respecto al mismo periodo del año anterior. Por otra parte, las exportaciones hacia Venezuela se han contraído en un 40% pasando de facturar 23,5 millones en 2013 a 14 millones durante el primer semestre del 2014. Cabe resaltar los aumentos en las exportaciones realizados hacia Estados Unidos (20%); Puerto Rico (27%), Guatemala (94%) y Chile (31%) (ANDIGRAF, 2014).

Las importaciones experimentaron un incremento del 21% en términos de valor y 8% en volumen. El 32% de las importaciones realizadas en este periodo corresponden al segmento del material publicitario y comercial, facturando 49 millones de dólares lo que representa un incremento del 90% en valor y tan sólo el 8% en volumen. La comparación del comportamiento de las importaciones de esta sub-cadena, para el primer semestre de 2013 y 2014 se puede observar en la tabla 3-3:

Tabla 3-3. Comportamiento comparativo de las importaciones del sector de la comunicación gráfica primer semestre del año 2013 y 2014

Variación Importación Según categoría de Productos Enero-Junio 2013-2014						
Subcategoría	Millones de Dólares CIF			Toneladas		
	2013	2014	Variación	2013	2014	Variación
Formas comerciales y valores	0,60	2,00	204%	6,00	7,00	23%
Material Publicitarios y comercial	25,80	49,10	90%	3,51	3,79	8%
Empaques de papel y cartón	10,40	12,70	22%	2,94	4,08	39%
Etiquetas	2,90	3,40	17%	193,00	264,00	36%
Empaques de plástico y sus sustratos	37,60	41,90	12%	10,52	11,87	13%
Publicaciones Periódicas	2,80	2,90	2%	667,00	578,00	-13%
Libros	40,50	36,50	-9,00%	4,12	3,51	-15%
Artículos escolares y de oficina	6,50	5,80	12%	2,42	2,25	-7%
Total general	127,20	154,20	21%	24,38	26,35	8%

Fuente: DIAN-DANE. Cálculos ANDIGRAF.

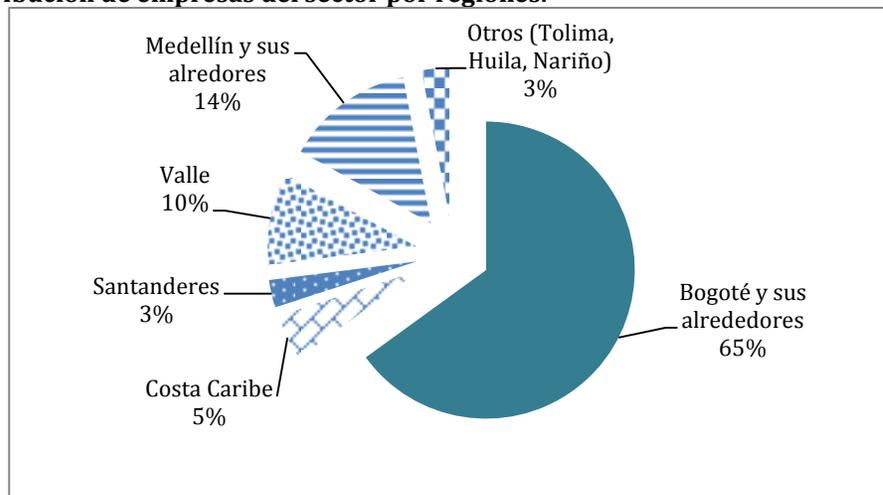
La industria gráfica colombiana depende mucho de los insumos que en su mayoría son importados de la Unión Europea y Estados Unidos, en el caso de la producción local de papel es insuficiente y se importa, como también maquinaria, cartón y sus derivados. En la industria de la comunicación gráfica, Colombia importa solo el 10 % del total de maquinaria nueva por sus altos costos de importación y poca capacitación para el manejo de las mismas (Briceño , 2012).

Según Briceño (2012) en investigaciones realizadas por diferentes entidades en el país, los eslabones de la cadena de la industria gráfica proveedor-impresor-distribuidor se puede ubicar geográficamente de la siguiente forma (Figura 3-2):

- Valle del Cauca: se concentran las empresas proveedoras, en este caso la producción de papel, con un 88,1% de los papeles y cartones para imprenta / escritura, 68,7% de papeles para empaques y una participación importante en la fabricación de pulpa para papel con relación a todo el país. En Colombia la distribución porcentual de la celulosa utilizada para la producción de papel y cartón es de papel reciclado 51%, pulpa de madera 33%, la pulpa de bagazo de caña de azúcar 16%, entre otros.

- Bogotá, en donde se concentra el eslabón de la transformación, que corresponde a las empresas dedicadas a la impresión editorial, en el Distrito Capital se encuentra un 82% de la producción, pre-prensa y edición, 97% de libros, 67,5% de las publicaciones periódicas y 67,6% de los materiales comerciales y publicitarios.
- Antioquia, se concentra el eslabón de distribución; la distribución de los productos impresos terminados se encuentra principalmente en Medellín, porque las editoriales, intermediarios y algunas universidades, establecieron el centro de operación en esta región, también se encuentran en Bogotá y Valle del Cauca en menor proporción.

Figura 3-2. Distribución de empresas del sector por regiones.



Fuente: Adaptado de PTP (2013).

De acuerdo con la información de Confecámaras, en 2012 había alrededor de 7.430 establecimientos del sector censados en el país (PTP, 2013). Este alto número de empresas implica una alta competencia, sin embargo la diferencia entre las mismas por el tamaño es marcado, es así como las microempresas del sector, en su mayoría, son unipersonales o familiares y tienen un número de trabajadores que varía entre 5 y 10 personas y en varias ocasiones los operarios se contratan a destajo. El dueño comúnmente es el gerente de la empresa y desempeña, además, labores productivas, comerciales y de atención a clientes. Los equipos que usan este tipo de empresas no incorporan mucha tecnología y su fabricación se concentra en productos que necesitan mano de obra de alta concentración. Por otro lado, las empresas pequeñas y medianas hacen énfasis en la impresión e incorpora en sus productos toda la cadena de valor, desde la premedia hasta los acabados incorporando nuevas tecnologías, especialmente la digital (PTP, 2013). Las grandes empresas superan los 200 trabajadores e involucran a personal calificado y especializado. Por su estructura organizacional e infra-

estructura física se pueden encontrar empresas que tienen la capacidad de responder a la mayoría de actividades que integran la cadena de valor del sector. Se especializan, principalmente, en actividades que implican altos volúmenes de impresión y cuentan con tecnologías de alta velocidad y capacidad de producción. Son generalmente exportadoras. (PTP, 2013).

En cuanto a los Indicadores de Sostenibilidad de la Industria Gráfica 2013, medidos mediante una encuesta desarrollada por Andigraf a 31 empresas del sector, que representan el 21% de los ingresos operacionales de la industria, se destacan los siguientes hallazgos:

- La microempresas se concentra en los sistemas de impresión offset y digital, por su parte las medianas incursionan en todos los sistemas de impresión disponibles.
- El 67% de las empresas encuestadas compran el 80% tanto de papeles como de tintas certificadas.
- El 61% de las empresas cuentan con un programa para el uso eficiente de agua con metas e indicadores y el 68% cuentan con un programa de uso eficiente de energía.

Se puede ver en este acápite, que el aparato productivo que lo compone al sector de las artes gráficas es diverso en cuanto a tamaño y tecnologías utilizadas para la producción. Al estar priorizado en Colombia hacia su transformación en sector de talla mundial, se han hecho esfuerzos para superar las brechas que se han identificado. Sin embargo, presenta retos en su transformación productiva, los cuales se han planteado a través de diferentes estudios, como los que se presentan a continuación.

Análisis del sector

En el informe referente al sector gráfico denominado desarrollando sectores de clase mundial (2009), para las industrias colombianas pertenecientes a este grupo se encontraron como tendencias mundiales que afectarían el desarrollo del sector (Tabla 3-4):

Tabla 3-4. Principales tendencias mundiales que afectan el desarrollo del sector gráfico en Colombia.

TENDENCIA	DESCRIPCIÓN	EFEECTO
Print on demand	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clientes ordenan imprimir según la necesidad ó la venta real de sus productos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demanda menor tiraje y tiempo de entrega ▪ Conlleva a impresión digital como alternativa económica ▪ Traslada al impresor la responsabilidad de planificar demanda y administrar inventarios
Offshoring	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traslado de actividades a países con estructura de costos menores 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traslada a otros países desde la creación de contenido hasta la impresión

TENDENCIA	DESCRIPCIÓN	EFEECTO
Digitalización de contenido	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de contenido en medios digitales, en especial libros de educación y profesionales 	<ul style="list-style-type: none"> Reduce la demanda de medios impresos Disminuye los costos para cambio de proveedor
Conciencia ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Demanda por productos biodegradables y con bajo consumo de recursos 	<ul style="list-style-type: none"> Minimiza materiales optimizando empaques Fomenta el uso de materiales reciclables
Diferenciación de Productos	<ul style="list-style-type: none"> Búsqueda de diferenciación de productos a través del empaque 	<ul style="list-style-type: none"> Genera valor en empaques trabajando conjuntamente entre productor y cliente.
Servicios adicionales a impresión	<ul style="list-style-type: none"> Clientes demandan servicios adicionales al dejar de percibir la calidad de la impresión como factor diferenciador 	<ul style="list-style-type: none"> Obliga a los impresores a ofrecer servicios de valor Agregado

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo República de Colombia McKinsey & Company, 2009)

Estas tendencias mundiales implican para el contexto colombiano: adquirir nuevas tecnologías de impresión que permitan ser competitivo en tirajes bajos y tiempos de entrega cortos, ubicar centros de producción cerca de los puertos, desarrollar capacidad para atender la demanda de impresión de EE.UU. y América Latina, desarrollar servicios de contenido/edición/desarrollo de productos para empresas americanas y de valor agregado para evitar la dependencia de precios como factor determinante de compra, anticipar los productos impresos que no serán atractivos en la industria y las necesidades del cliente, desarrollar servicios relacionados con la digitalización como traducción de contenido y manejo de bibliotecas virtuales, entre otros, fomentar el uso de insumos de bajo impacto ambiental en la cadena de valor, innovar en la creación de productos de alto impacto visual para los clientes a través de empaques innovadores y buscar relaciones de largo plazo con los clientes (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo República de Colombia McKinsey & Company, 2009).

En el 2009 la productividad colombiana por empleado era 26%, comparada con Estados Unidos que como valor de referencia tiene un 100%, efecto del cual se encontraron como principales barreras a la alta informalidad, baja oferta de capacitación y fortalecimiento de la industria. A su vez las causas primarias de la baja productividad son:

- La baja escala: el sector posee bajas barreras de entrada lo que ha implicado que muchas empresas pequeñas puedan participar, y competir por precio fragmentando el mercado al ofertar por debajo del precio de producción.
- Baja oferta de servicios integrales: Las empresas colombianas no tienen un porcentaje importante de sus ventas debidas a servicios de valor agregado, el cual se encuentra estimado en un 1%, por lo que se dedica a vender *commodities*.
- Altos costos de materias primas, transporte y energía: El papel como materia prima constituye el factor que pesa más en los costos de la Industria de la comunicación gráfica en Co-

lombia, debido a que la producción interna es insuficiente debe importarse con un arancel del 15%, que sumado a los altos costos de transporte y electricidad disminuyen la competitividad nacional para la exportación

- Alto rezago tecnológico: este efecto se ve aumentado por una baja inversión extranjera directa (IED) y una baja inversión en maquinaria, puesto que la maquinaria antigua genera ineficiencias como desperdicio de insumos y en el país se estima que sólo un 10% de la maquinaria importada es nueva.
- Deficiente organización de las funciones y tareas (OFT): existen oportunidades para desarrollar la cadena productiva y asignar funciones a cada eslabón de la misma, el sector carece de servicios de educación para desarrollar habilidades en comercio exterior y gestión de operaciones y talento humano, entre otros.

En el mismo informe el MinCIT menciona que las habilidades en las que debe centrarse el sector para convertirse en un sector de clase mundial son:

- Desarrollar la participación de servicios de valor agregado: promover desde las agremiaciones la oferta de servicios adicionales de mayor valor agregado, la especialización de productos y servicios. Además estas instituciones deben contribuir en la capacitación en las empresas.
- Desarrollar una alta orientación al exterior. El sector debe continuar destacándose en Latinoamérica y reforzar su presencia en EE.UU., promoviendo acuerdos comerciales, buscando sinergias con otras industrias y construyendo una visión conjunta para la industria basada en el entendimiento del mercado, los clientes y el desarrollo del recurso humano y la tecnología; que permita focalizarse en las exportaciones.
- Construir una estructura que permita el desarrollo de la industria. Esta debe incluir la asociatividad en las compras y la comercialización, el fortalecimiento de las agremiaciones, la promoción de la innovación tecnológica y el desarrollo del talento humano.
- Combatir la informalidad, piratería y contrabando. Estrategias para incentivar la formalización de pequeños jugadores, facilitar crédito a empresas para modernizarse e invertir en tecnología y combatir la piratería y el contrabando.

Con el objetivo de llegar a un escenario en el que el sector se desarrolle hasta la talla mundial se proponen 3 etapas:

- **Diversificación de mercados (2009-2012)** con un enfoque hacia los mercados de Estados Unidos, México, Perú y Centroamérica, en el cual se debe tener como Postura Estratégica: Productos de alta calidad, competitivos en precio para venta doméstica, y para exportación regional; buscar mantenerse en cuanto a la exportación de Libros e incrementar la penetración en el subsector de empaques. Se consideran como Requerimientos Claves para esta primera etapa: Fortalecimiento del gremio, Inteligencia de mercados objetivo, Habilidades de comercio exterior, Posicionamiento en calidad y fiabilidad en la entrega y Bilingüismo.
- **Diversificación de Producto (2013-2019)** con un enfoque a los mercados de Chile y Estados Unidos en el cual se debe tener como Postura Estratégica: Distinción en uso de tecnología: Print on demand –POD- y Web to Print -W2P- y Servicios de pre-impresión; Aumento de exportaciones en segmentos no tradicionales; desarrollo del subsector de etiquetas y publicitarias. Se consideran como Requerimientos Claves para esta segunda etapa: Colaboración a través de la cadena de valor, Oferta de servicios relacionados, Investigación y desarrollo, Estructuras de cooperación entre Pymes, Alianzas internacionales y Desarrollo marca país
- **Diversificación de Servicios (2020-2032)** con un enfoque en los mercados de Brasil y Argentina, en el cual se debe tener como Postura Estratégica: Productos/servicios de alta calidad y valor agregado como: Empaques ecológicos, Libros digitales, Servicios de traducción, edición, diseño etc. Se consideran como Requerimientos Claves para esta tercera etapa: Investigación para desarrollar insumos y productos diferenciados; Reconocimiento internacional de Colombia como productor reconocido en digitalización; Producción de impresos en varios Países.

Paralelamente la Universidad Nacional llevó a cabo el direccionamiento estratégico de algunos sectores entre ellos el de las artes gráficas, donde se propone un escenario apuesta, con 12 estrategias para alcanzarlo, la cual se resume en la siguiente tabla 3-5:

Tabla 3-5. Estrategias Propuestas para el direccionamiento estratégico del sector de las Artes Gráficas.

Estrategia	Objetivo	Acciones
Tratados de libre comercio.	Generar condiciones favorables para la apertura de nuevos mercados.	+Desgravación total de materias primas. +Promoción de zonas francas y contratos de estabilidad jurídica. +Integración de la cadena alrededor de medios +Generación de confianza para actividades comunes +Sistema de información a base de inteligencia de mercados y análisis del consumidor. +Identificar la oferta de crédito blando.

Estrategia	Objetivo	Acciones
Materias primas	Atraer nuevos proveedores favorables para la cadena.	+Participar en ferias y eventos internacionales para búsqueda de nuevas materias primas. +Diversificación de proveedores.
Producción limpia	Implementar producción limpia en el 50% de las empresas de la cadena.	+Divulgación de la normatividad. +Ajuste de los procesos de acuerdo con la norma. +Creación y/o asignación de un ente regulador. +Creación de cultura al interior de la empresa.. +Reconversión tecnológica. +Divulgación de incentivos existentes.
Mercado	Desarrollar estrategias de mercadeo conducentes al 50% tradicional y 50% nuevos medios.	+Ampliar y fortalecer canales de comercialización, +Promover creación de librerías en todo el territorio nacional. +Promover el consumo masivo de productos: campañas de lectura. +Promoción de producto impreso como medio de publicidad. +Promover la pauta comercial en la Internet. +Creación de portales institucionales.
Financiación	Obtener nuevos créditos, 40% sector internacional y 60% local.	+Acceder a financiación de la Banca multilateral. +Apoyar la formulación de planes de negocio. +Planes de financiación para los proveedores.
Capacitación	Capacitar el 75% del personal en competencias.	+Divulgar las normas de competencia laboral existentes. +Identificar los programas de capacitación y/o desarrollar programas de formación en las empresas, individuales o asociativos. +Certificación por competencias.
Calidad	Certificar el 50% de las empresas en estándares internacionales de calidad.	+Sensibilización a las empresas y trabajadores en las ventajas de poseer los estándares de calidad. +Instrumentos explicativos de las normas. +Identificar las empresas e implementar el proceso.
Exportaciones	Desarrollar nuevos mercados que permitan el crecimiento de las exportaciones a un 30% de la producción.	+Desarrollar programas de exportación asociativos de la cadena. +Realizar inteligencia competitiva enfocada a la medida de las empresas en capacidad de exportar. +Desarrollar programas de mejoramiento productivo de la cadena. +Medir la productividad de las empresas. +Desarrollar nuevos valores agregados de los productos de la cadena.
Tecnologías de mediano y largo plazo.	Apropiar innovaciones basadas en la autoedición en la pre-impresión, innovaciones en empaques verdes y preparación e impresión de archivos complejos (Adobe suite).	+Facilitar el acceso a tecnologías de mediano plazo. +Negociar la transferencia tecnológica. +Desarrollar programas de actualización. +Desarrollar proyectos de investigación alrededor de estas tecnologías. +Alianzas entre empresas, proveedores y centros de investigación en Colombia.

Estrategia	Objetivo	Acciones
Migración hacia lo digital	Desarrollar servicios (creación, almacenaje, recuperación y distribución) basados en contenido para ser aprovechados en tecnologías digitales (ePaper y eBook).	+Monitoreo permanente para determinar el impacto a la cadena. +Propiciar encuentros de cadena para analizar este tema. +Vigilancia del mercado de los productos de la cadena con respecto a los digitales.
TICs	Apropiar procesos de gestión de clase mundial basados en el uso de variadas aplicaciones de tecnología de información de amplio reconocimiento global que favorezcan el incremento en la eficacia del negocio.	+Identificación de oferta y necesidades de sensibilización. +Actividades de capacitación con los proveedores de tecnología TICs y entidades del Estado relacionadas con el tema.

Fuente: (Castellanos, Fúquene, & Fonseca, 2009).

En el análisis del sector de las artes gráficas que se muestra en este acápite, es preciso concluir que éste es uno de los sectores manufactureros priorizados en Colombia por aportar un porcentaje importante del PIB, y mantenerse en crecimiento a pesar de las dificultades que ha experimentado principalmente en sus exportaciones; sin embargo, se identifica como una de las brechas más importantes la baja productividad empresarial al compararla con el mismo sector en otros países, para disminuir esta brecha se han propuesto metodologías y estrategias que al ser aplicadas ayudarían al direccionamiento del sector para convertirse en un sector de clase mundial.

En conclusión, del presente acápite, los retos del sector de las artes gráficas identificados por los diferentes estudios para disminuir la brecha de productividad existente en el sector son:

- Superar el rezago tecnológico que lo conduzca al uso de herramientas como la impresión digital a través de apropiación de conocimientos existentes.
- Minimizar el uso de materiales de empaque y trasladarse a empaques de bajo impacto ambiental
- Desarrollar nuevos productos de alto valor agregado, que se refleje en el incremento de exportaciones en los segmentos no tradicionales (diversificación) e incrementar el valor agregado de los productos existentes (sofisticación)
- Desarrollar el talento humano mediante la capacitación y la especialización de los eslabones de la cadena productiva.
- Posicionarse como un sector con productos de alta calidad.

Es así, como el fundamento biológico visto en el capítulo anterior, puede ser un elemento integrador fundamental de estrategias ya propuestas hacia el incremento de la productividad, brindándoles

características que les permitan responder rápidamente al entorno y auto-gestionarse dentro de las organizaciones. Teniendo en cuenta lo anterior a continuación se presentan las consideraciones para la aplicación de los elementos biológicos con el fin de incrementar el indicador de la productividad.

3.2. Consideraciones para la aplicación de elementos biológicos para el incremento de la Productividad.

En el contexto colombiano, específicamente en el sector de las artes gráficas se observa una brecha de productividad con otros países, que se ha determinado por varios estudios es importante superar, ya que la productividad está directamente relacionada con el desarrollo económico y con la calidad de vida de los habitantes, como se vio en el capítulo 1. Por otro lado, desde países que han logrado consolidar economías importantes como los de Asia Pacífico, a partir de desarrollos conceptuales se pretende impartir características de los organismos vivos para que las organizaciones puedan reaccionar ante los cambios del entorno, disminuyendo los efectos de estos en factores como la productividad (Capítulo 2). Por lo tanto, en el presente acápite se desarrollan consideraciones que permitan a sectores como el de las artes gráficas, impartir mediante cambios organizativos y operativos algunas características de los seres vivos a su sistema de manufactura para el incremento de la productividad.

3.2.1. Imperativos para el mejoramiento de la Productividad en el contexto Colombiano

En 2010 el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), mencionaba el logro de una productividad más alta debe ubicarse en el epicentro del debate económico actual, ya que el crecimiento de este indicador se relaciona directamente con el crecimiento económico de América Latina. Es así, como Villegas (2013) retomando los hallazgos del BID, afirma que la pérdida de competitividad de largo plazo está vinculada a una profunda brecha de productividad, especialmente la laboral, que con respecto a Estados Unidos como país de referencia es del 80% (53.000 dólares por trabajador por año) en el contexto colombiano, lo que se evidencia en una fuerte caída en la competitividad del país en estudios como el *World Competitiveness Yearbook del International Institute for Management Development (IMD)* y el *Global Competitiveness Report* del Foro Económico Mundial. En el análisis económico de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) para Colombia en el 2013, se encuentra como uno de los principales problemas del país la baja productividad agregada de la economía (BID, 2010). Como se había visto en el capítulo 1, este tipo de productividad es

usado para la comparación entre países lo que le da Colombia y a sus sectores una disminución importante en los índices globales.

El Consejo Privado de Competitividad (CPC, 2013), coincide en el imperativo de mejorar la productividad en las empresas colombianas, haciendo énfasis en la necesidad del compromiso del sector privado para lograrlo, pues existe una alta heterogeneidad en la productividad de organizaciones del mismo sector económico. El CPC, aclara que las empresas deben aportar al incremento de su productividad aplicando buenas prácticas en ámbitos como la innovación logística, capacitación del capital humano, gestión de operaciones, clusters, trabajo con universidades, entre otros. Es así, como uno de los principios de la Política de Desarrollo Productivo para Colombia es: "La empresa, su productividad y su avance tecnológico en el centro de la política", principio que se fundamenta en que entre las recomendaciones dadas por la OCDE al país, se deben invertir los recursos de CTel hacia inversión que mejore la productividad de las empresas, y por lo tanto los recursos de investigación deberán concentrarse en proyectos que tengan una clara relación con el desarrollo productivo del país. El CPC sugiere que la meta de productividad del país se mida en términos de productividad laboral y se traduzca en duplicar (aumentar en un 100%) la productividad laboral actual, es decir pasar de US\$20.000 a US\$40.000, un nivel similar al que tiene actualmente Chile. (CPC, 2014).

La productividad en Colombia presenta dos riesgos estructurales importantes, el primero se refiere a que la productividad de la economía colombiana, medida como la productividad total de los factores (PTF) no ha crecido a la par del incremento de la inversión; lo que se evidencia en un diagnóstico elaborado por el CPC (2014b) a la economía colombiana, en el que se observa que entre los años 2000 y 2013, el PIB per cápita del país pasó de US\$6.700 a US\$12.400, y el nivel de inversión de 14% a 24% del PIB. Según la teoría de Solow (1956) la acumulación de capital lleva a mayores ingresos per cápita, pero el crecimiento de largo plazo depende exclusivamente del crecimiento en productividad. Por tanto, si el país quiere continuar con altos crecimiento de manera sostenida, tendrá que incrementar sus niveles de productividad. A pesar, de incrementar la productividad laboral (pasando de US\$17.000 por trabajador en el año 2000 a US\$20.000 en 2013), Colombia sólo supera a Brasil y está significativamente por debajo de países como México y Chile.

Un segundo riesgo estructural para el crecimiento sostenido de la economía en el país, es que Colombia tiene una economía cada vez menos sofisticada y menos diversificada, presentándose por lo tanto estos dos como imperativos para el mejoramiento de la productividad:

La sofisticación de una economía mide el nivel de productividad asociado a sus actividades productivas. Ricardo Hausmann, de la Universidad de Harvard, explica que las empresas son como micos y los sectores productivos son árboles, cuando los micos trepan a las ramas más altas de los árboles en los que ya están, incrementan su sofisticación, lo que permite el incremento del valor agregado de los bienes producidos y de la correcta asignación de recursos, disminuyendo la brecha de productividad. En Colombia los niveles de sofisticación son bajos debido en un alto porcentaje a la coexistencia de sectores de productividad alta y muy baja, en el sentido transversal y de empresas con baja productividad y un número cada vez menor de firmas que aumentan su productividad en un mismo sector a nivel vertical. Como se mencionó anteriormente, la coexistencia de empresas de alta productividad y baja productividad en un mismo sector, incrementa las brechas de productividad del país y según Stiglitz y Greenwald (2014) ejemplifica las distorsiones asociadas al conocimiento y a su transferencia. Estos mismos autores mencionan que una parte importante de la brecha en productividad se debe a la no adopción de buenas prácticas que están disponibles y que podrían implementarse a bajo costo. Otra medida de sofisticación que muestra el rezago del país es la de intensidad tecnológica de la canasta exportadora, en 2013 el 90% de las exportaciones del país fueron productos primarios lo que lo aleja de países de referencia como Méjico en donde este número llegó a tan solo el 33%. Existen países como los escandinavos que han logrado incrementar su nivel de sofisticación a partir de la integración hacia adelante o hacia atrás de la cadena de productos primarios saltando a actividades de mayor complejidad que la mera explotación (CPC, 2014). Además, entre 2000 y 2013, las exportaciones de productos primarios pasaron de representar el 60% a más del 80% del total de exportaciones y estas se concentraron en los 5 primeros productos en un 70%, cuando en el 2000 era del 55%. Teniendo en cuenta la importancia de la sofisticación para el incremento de la productividad en el aparato productivo, la Política de Desarrollo Productivo para Colombia, propone como meta que en el 2032 el 60% de las exportaciones del país deben corresponder a bienes y servicios de alto valor agregado (CPC, 2014).

Por su parte, **la diversificación** del aparato productivo, mide la cantidad y variedad de actividades económicas y capacidades productivas con que cuenta una economía, por lo tanto el crecimiento económico y por ende el del indicador de productividad se ve afectado positivamente por el surgimiento de nuevas actividades y nuevas capacidades productivas. Según el CPC (2014), Colombia ha retrocedido en la diversificación de su aparato productivo al concentrarse en un pequeño grupo de productos de exportación y perder la capacidad de producir nuevos bienes y servicios. La disminución de la diversificación del aparato productivo colombianos se ve reflejado en que las subpartidas

arancelarias de las exportaciones no han cambiado significativamente en los últimos 10 años. Esta radiografía es preocupante ya que según este mismo estudio los especialistas coinciden en que la época de los altos precios de los *commodities* y bajas tasas de interés a nivel mundial que favoreció a países en desarrollo como Colombia, parece haber llegado a su fin lo que disminuirá el porcentaje de crecimiento de las economías emergentes como China e India y normalizará las políticas monetarias de países desarrollados. Es decir, el país depende cada vez más de un grupo reducido de recursos naturales, principalmente petróleo, carbón y oro lo que lo deja expuesto a la volatilidad de precios de los mismos (CPC, 2014). Los escenarios para desarrollar el sector de las artes gráficas de talla mundial también incluyen la diversificación de mercados, productos y servicios, como una estrategia para disminuir la baja oferta de servicios integrales una de las causas raíces de la baja productividad (Acápíte 3.1.). Teniendo en cuenta la importancia de la diversificación para el incremento de la productividad en el aparato productivo, la Política de Desarrollo Productivo para Colombia, propone como meta que en el 2032 que los 5 productos con mayor nivel de exportación deberían representar menos del 30% de la canasta exportadora (CPC, 2014).

Por su parte la OCDE, en el estudio de Políticas de innovación para el caso de Colombia 2014, deja ver la relación entre la innovación empresarial y el incremento de la productividad, por lo que menciona que la tarea clave de las políticas de CTI consiste en combatir los bajos niveles de innovación en la industria y en el sector servicios, lo cual puede tener un gran impacto en la productividad. En el caso de Colombia a pesar de que el crecimiento fue fuerte, sobre todo si lo comparamos con muchos países de la OCDE, la productividad laboral y el PIB per cápita aún se encuentran rezagados con respecto a otros países, incluso de Latinoamérica. La evaluación económica de Colombia de 2013 por parte de la OCDE identifica tres áreas de atención en términos de políticas: adaptarse al auge de los productos básicos (*commodities*), impulsar el crecimiento de la productividad y reducir la desigualdad de ingresos, donde la innovación puede desempeñar un papel en las tres áreas.

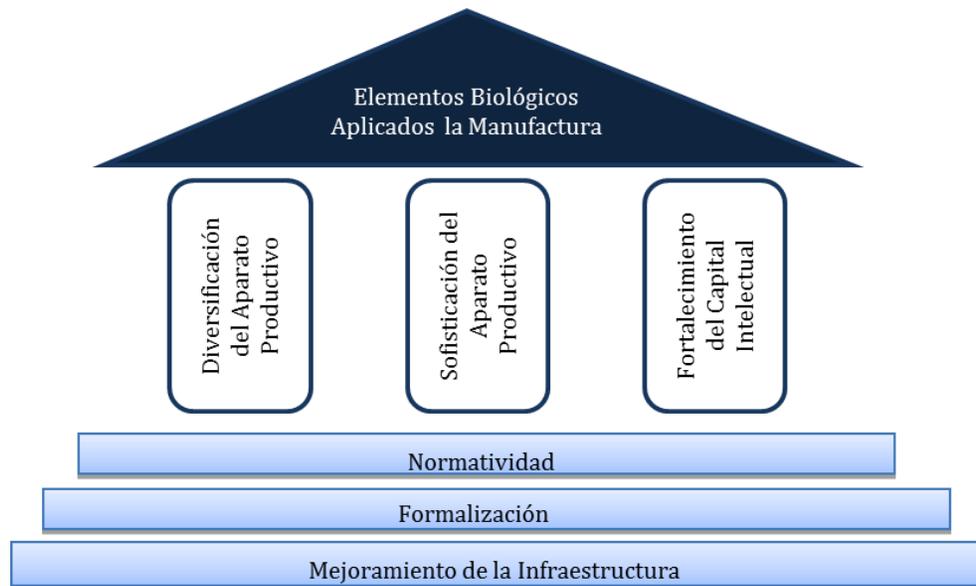
Los anteriores puntos en los que se indica la importancia del incremento de la productividad para el país y de la preparación para las nuevas tendencias mundiales, principalmente el del decrecimiento en los precios de los *commodities*, no es ajeno al sector de la comunicación gráfica, es así que según Fabián Ruíz (2014), presidente de la junta directiva de ANDIGRAF, la industria gráfica pasa por un “punto de inflexión”, por lo que es necesario estar preparados para la incertidumbre con información sobre las tendencias en tecnología y como aprovecharlas o usarlas en beneficio del sector. Además, indica la importancia de la asociatividad, el desarrollo de la cadena de valor de la industria

gráfica y el incremento del capital intelectual del aparato productivo con respecto a técnicas y nuevas prácticas. (Ruiz, 2014). Lo que reitera lo señalado por el PTP (2013) como elementos claves para la competitividad del sector: la productividad, la innovación, el servicio de entrega y la renovación de maquinaria y equipo, y por consiguiente indica que uno de los retos de la industria es aumentar la productividad.

El incremento de la productividad está relacionado de manera tangible con el desarrollo económico tanto de los países como de los sectores. Se han estudiado de forma extensa los factores externos que afectan la productividad (Acápite 1.3.), ya que sobre estos se basan las políticas de los países. Sin embargo, el incremento de la productividad desde la empresa disminuyendo y/o controlando los factores internos que afectan el valor de la productividad y preparándose para enfrentar los externos que afectan la productividad, se reflejaría en el incremento de la misma que en sumatoria en un sector manufacturero como el de las artes gráficas incrementaría el uso de los recursos existentes, la productividad laboral y por lo tanto contribuiría para que la productividad país también incrementara.

Teniendo en cuenta lo desarrollado en el presente capítulo y en el capítulo 1, se infiere basándose en los diferentes estudios de competitividad y productividad del contexto latinoamericano, colombiano y específicamente del sector gráfico que existen 3 imperativos (pilares) transversales que permitirían el mejor uso de los recursos, y por lo tanto, necesarios para el incremento de la productividad que son: **la sofisticación del aparato productivo, la diversificación de las actividades de los sectores y el fortalecimiento del capital intelectual**, entendido como la suma del capital humano, estructural y relacional, pero enfocándose en el capital humano y estructural, que debe incluir la estrategia de innovación de la empresa. Entendido desde este punto, la aplicación de elementos biológicos puede alinear estos tres pilares hacia el mejoramiento de la productividad, comprendidos estos elementos biológicos como el medio desde la gestión de la innovación (puesto que los tres requieren innovación para su desarrollo), para lograr el funcionamiento y/o consecución de los tres pilares en una empresa. Además de estos, 3 pilares que deben fortalecerse dentro de la empresa, fuera de la empresa y como base se observa que se debe trabajar en la normatividad, la formalización y el mejoramiento de la infraestructura traducido en el mejoramiento de la logística (Figura 3-3).

Figura 3-3. Imperativos para el mejoramiento de la productividad alineando pilares con la aplicación de elementos biológicos a la manufactura



Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, para el contexto colombiano y específicamente para el subsector manufacturero de las artes gráficas, se identifica la necesidad de cambios en las formas de producción que le permita al sistema productivo el mejoramiento de su productividad, desde la alineación de los imperativos identificados para su mejoramiento, en aspectos como el manejo adecuado del recurso humano, el capital, las materias primas, el aumento en los beneficios a largo plazo y por consiguiente su sostenibilidad en el mercado dando como resultado el incremento de este factor, para lo cual se debe dar paso a nuevas estructuras organizativas que sean capaces de lograr cambios sostenibles en el largo plazo, como la aplicación de elementos biológicos a los sistemas de manufactura, que permiten ver las organizaciones como un organismo vivo, comprendiendo su relación con el medio que la rodea y por lo tanto impartir características propias de los seres vivos al aparato productivo, como las desarrolladas anteriormente en el capítulo 2, que principalmente se refieren a: auto-organización, auto-aprendizaje, flexibilidad y agilidad de respuesta a los cambios del entorno.

Es así, como en este contexto la aplicación de los sistemas de manufactura biológicos podría permitirle a las empresas prepararse ante los factores externos que afectan la productividad como la interacción con los clientes y la competencia, pues al tener estructuras menos rígidas los trabajadores pueden tomar decisiones directas y evitar situaciones como la pérdida de cliente y las regulaciones

del gobierno, y al actuar como un ser vivo la compañía puede reagruparse evitando la disminución de la productividad. En cuanto a los factores internos que afectan la productividad 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 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 del aparato productivo, lo que según las teorías expuestas anteriormente es uno de los factores de éxito para el incremento de la productividad.

La aplicación del fundamento biológico ayudaría a superar los retos que el sector de las artes gráficas, tiene en este momento para la disminución de la brecha de productividad. Por consiguiente, teniendo en cuenta los retos identificados en el acápite 3.1. de este trabajo, en la siguiente tabla se relacionan los elementos biológicos que se presentarían como una posible solución al desarrollo de los mismos.

Tabla 3-6. Relación del fundamento biológico y los retos del sector gráfico para el incremento de la productividad.

Reto para el incremento de la productividad	Solución desde el fundamento biológico
Superar el rezago tecnológico que lo conduzca al uso de herramientas como la impresión digital a través de apropiación de conocimientos existentes.	Auto-aprendizaje (Acápites 2.2.3), como la capacidad de un sistema productivo de apropiar conocimiento mediante la incorporación por imitación de formas de producción ya existentes o mejoramiento de las mismas.
Minimizar el uso de materiales de empaque y trasladarse a empaques de bajo impacto ambiental	La organización como un ser vivo capaz de minimizar sus residuos (Acápites 2.2.1.)
Desarrollar nuevos productos de alto valor agregado, que se refleje en el incremento de exportaciones en los segmentos no tradicionales (diversificación) e incrementar el valor agregado de los productos existentes (sofisticación)	Evolución (acápites 2.2.1. y 2.2.3.): Referida a la analogía de empresas que cambian para mejorar y adaptarse al medio ambiente difícil, variable y altamente competitivo para poder subsistir, crecer y multiplicarse; incorporando nueva información al desarrollo de productos que les permita mutar.
Desarrollar el talento humano mediante la capacitación y la especialización de los eslabones de la cadena productiva.	Auto-aprendizaje (Acápites 2.2.3.) Auto-organización, entendida como la capacidad de un sistema para volver a su estado natural después de una perturbación y aprender de la misma, y teoría de la manufactura holónica (Acápites 2.2.1. y 2.2.3.), que permite dar autonomía a los holones para desarrollar sus objetivos parciales sin perder de vista el objetivo general.
Posicionarse como un sector con productos de alta calidad.	Auto-aprendizaje, auto-organización (Acápites 2.2.3.)

Fuente: Elaboración Propia

Esta relación de los elementos biológicos como un método para afrontar los retos del incremento de la productividad en el sector de las artes gráficas, desde la modificación de los sistemas de manufactura a través de la aplicación de características traídas desde la disciplina biológica, permite concluir que los elementos biológicos aplicados a los sistemas de manufactura, son pertinentes en cuanto al incremento de la productividad a través de nuevas estructuras de innovación en proceso y que le permitan al sector estar preparado para el entorno; para este contexto y por extensión, para contexto colombiano que como se observó en este acápite, presenta también el gran reto del incremento de la productividad, relacionados con la baja productividad y por ende con la poca sofisticación y diversificación del aparato productivo colombiano.

Es así, como teniendo en cuenta la pertinencia del fundamento biológico para afrontar el reto del incremento de la productividad del aparato productivo, desde la modificación de su sistema de manufactura a través de la aplicación de características propias de los seres vivos, a continuación se proponen consideraciones para la aplicación del fundamento biológico para el incremento de la productividad en organizaciones del sector gráfico, teniendo en cuenta que estos retos se relacionan directamente con alguno de los imperativos del mejoramiento de la productividad identificados.

3.2.2. Consideraciones para la aplicación del fundamento biológico en la manufactura para el mejoramiento de la productividad.

Como se observó, en el Capítulo 2 los sistemas de manufactura emergentes que se han basado en impartir características de los seres vivos a las formas de producción y específicamente los sistemas de manufactura biológica que ven a los sistemas productivos como un ser vivo, bajo la premisa de convertirla en un sistema auto-organizado capaz de mantenerse ante los cambios del entorno, han tenido resultado al aplicar elementos como la autonomía y auto-aprendizaje a la programación de las máquinas, principalmente, sin embargo en esta tesis se propone explorar su aplicación en el mejoramiento de la productividad, como se encontró anteriormente la productividad está referida a la medición numérica del uso de los recursos en un organización, por lo que el fundamento biológico podría ser capaz de incrementar la eficiencia en el uso de los recursos puesto que un ser vivo a través de la evolución, adaptación y capacidad de supervivencia a partir de la disminución o mejoramiento del uso de los recursos tanto internos como externos, es capaz de mantenerse en el tiempo mediante mutaciones, nuevas funciones, almacenamiento de recursos, entre otros.

Por lo tanto, el fundamento biológico se presenta como un enfoque válido planteado conceptualmente desde países de Asia Pacífico, que han sido capaces de mantener el crecimiento, o por lo menos sostenerlo, de la productividad en sus países, mostrándose como economías sólidas en el contexto actual, porque al tratar al sistema de producción como un ser vivo, permite impartir características propias de estos principalmente la adaptación, evolución, auto-organización y aprendizaje.

La productividad tanto parcial como Total de los factores se mide al dividir el total de las salidas o productos sobre los factores utilizados para producirlos, lo que da como resultado un valor que indica el uso de los recursos en la organización, es así como varios de estos factores que inciden en el indicador de productividad pueden relacionarse con los elementos biológicos que se plantean para un sistema de manufactura, y a la vez se puede establecer su relación con los imperativos para el mejoramiento de la productividad a nivel macro, como se observa en la siguiente tabla

Tabla 3-7. Relación de los factores de productividad, los elementos biológicos y los pilares del mejoramiento de la productividad.

Factores de productividad	Atributo biológico relacionado	Pilar relacionado
Transferencia de Tecnología	Adaptación	Sofisticación
Efectividad de la I+D	Evolución y adaptación	Diversificación
Calidad de los recursos Humanos	Auto-aprendizaje	Fortalecimiento del Capital Intelectual
Capital	Auto-aprendizaje	Sofisticación
Administración Organizacional	Auto-organización	Fortalecimiento del Capital Intelectual
Capacidad y Disponibilidad de la Planta	Auto-organización	Optimización de Procesos
Interacción con los clientes- Demanda cambiante del mercado	Adaptación/Auto-aprendizaje	Sofisticación y Diversificación

Las consideraciones, que se presentan en los siguientes acápites, se pueden ver reflejadas en actividades propuestas para el incremento de la productividad a través de los 5 puntos que se muestran a continuación (Tabla 3-8):

Tabla 3-8. Actividades propuestas para la implementación de elementos biológicos para el incremento de la productividad.

Ventana de Ejecución.	Auto-aprendizaje	Innovación como proceso Evolutivo	Visión Sistémica.	Auto-organización como medio de optimización	Respuesta a las tendencias tecnológicas
Corto	Incorporación de la experiencia en los procedimientos de la empresa. Codificación de premisas para los tomadores de decisiones.	Alineación de la innovación evolutiva con la estrategia de la empresa.	La productividad en la estrategia de la empresa. Medición efectiva de la productividad.	Diagnóstico de la empresa en estructuras jerárquicas, funciones y áreas.	Retroalimentación desde el auto-aprendizaje para los estrategias de la variable tecnológica. Cuantificar los efectos de la variable tecnológica

Ventana de Ejecución.	Auto-aprendizaje	Innovación como proceso Evolutivo	Visión Sistémica.	Auto-organización como medio de optimización	Respuesta a las tendencias tecnológicas
	Identificación de los ciclos de vida de la empresa y de los productos de la misma.				en la productividad.
Mediano	Rutinas de Aprendizaje al interior de la empresa.	Responsables de la innovación. Sistema de Gestión de Ideas.	Inclusión del objetivo de mejoramiento de la productividad en los sistemas de gestión. Indicadores de productividad en sistemas de gestión.	Establecimiento de funciones de tomadores de decisiones en estructuras horizontales. Optimización del uso de insumos como la energía.	Transferencia de tecnología impartiendo el concepto de la pronoiá para llevarlo a cabo más rápido.
Largo	Establecimiento de sistemas de análisis de tendencias en el aparato productivo, utilizando herramientas como <i>benchmarking</i> , la prospectiva tecnológica, el mapeo y la vigilancia tecnológica, que se propone sean de carácter asociativo en el sector.	Establecimiento de innovación como proceso evolutivo que lleve las ideas hasta productos y procesos tangibles.	Trabajo interdisciplinario para la definición de estrategias para el incremento de la productividad.	Sistemas de producción sin supervisión.	Estrategia de gestión de la variable tecnológica.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.1. *Visión sistémica de la organización*

La primera de las consideraciones para aplicar el fundamento biológico al aparato productivo, para el incremento de la productividad, es el de ver a la organización como un todo con un objetivo común, y no como la suma de las partes (Acápito 2.2.2.), en un sistema de manufactura biológico a pesar de manejarse en módulos autónomos con jerarquías organizacionales, la gestión de la innovación traducida como evolución, la gestión del conocimiento como autoaprendizaje y la gestión tecnológica como adaptación a las nuevas tendencias del entorno, deben perseguir el mismo fin estratégico que es el mejoramiento de la productividad, este objetivo debe ser claro y expresado explícitamente en los lineamientos estratégicos de la compañía, con el fin de generar sinergias en torno al tema a través de trabajo interdisciplinario e inter-áreas (agentes) y la propuesta desde diferentes escenarios de mecanismos para el mejoramiento de la productividad a partir de los sistemas de gestión encadenados.

Para que el mejoramiento de la productividad sea un objetivo estratégico de la organización, la empresa debe contar con mecanismos de medición de la productividad (Acápite 1.4.1.). Si la empresa posee estos mecanismos es necesario identificar para que se están utilizando, es decir, si se encuentran alineados con el control y la disminución de los factores internos que afectan la productividad como el uso de la capacidad de la planta, reducción de desperdicios, control de calidad, entre otros. Estos mecanismos básicos son el mínimo que debe tener implementado la empresa con el fin del incremento de la productividad desde el punto de vista de la manufactura tradicional, y que deben ser la base para la aplicación de mecanismos emergentes, puesto que es necesario tener una estructura organizacional y de medición de la productividad que permita sostener los cambios que requiere el sector para comportarse como un ser vivo y ayuda al incremento de la productividad sectorial principalmente en empresas de muy baja productividad, pues permite la visualización de la utilización de los recursos en la empresa, puntos de control y procedimientos que están bajando el indicador de la productividad.

Este enfoque en un mediano plazo, debe permitirle a la empresa la inclusión del mejoramiento de la productividad como un fin mismo de los sistemas de gestión y por lo tanto del aparato productivo.

3.2.2.2. Auto-aprendizaje: La gestión de la información como base en la Gestión del Conocimiento.

El imperativo del mejoramiento de la productividad nombrado fortalecimiento del capital intelectual, está directamente relacionado con el atributo biológico del auto-aprendizaje (Acápite 2.1.2.) entendido como el uso de la información de eventos pasados para tomar decisiones futuras, y por lo tanto con la productividad laboral o del recurso humano. Esta relación según Castellanos, Fúquene y Ramírez (2011), se da en que la gestión de la información soporta la generación de conocimiento brindando elementos para la innovación y debe contener tanto la aplicación de herramientas para captar tendencias del entorno tecnológico y comercial como el fortalecimiento de las capacidades y competencias del capital intelectual.

En el sector de la industria gráfica, que refleja los retos del contexto colombiano, una de las brechas más importantes respecto a otros países horizontalmente y dentro del mismo sector, es decir verticalmente en empresas del mismo sector es la productividad laboral. La mera capacitación, sin rutinas de gestión del conocimiento no es suficiente para incrementar la productividad laboral, por lo que el auto-aprendizaje dentro del sistema productivo entre áreas permitiría no perder el conoci-

miento adquirido por la experiencia y permear a la compañía de los conocimientos necesarios para desarrollar los procedimientos productivos, como el manejo de la maquinaria, el control de la calidad en proceso y el paso a paso de la producción.

Los organismos biológico, tienen dos tipos de información, la genética o de tipo ADN, donde se encuentra la información recolectada a través de generaciones y la de conocimiento o tipo Cerebral que se obtiene a través de la vida del organismo por el aprendizaje de este. La unificación de este conocimiento es uno de los factores más importantes que hacen que el ser vivo muestre auto-aprendizaje y auto-reconocimiento principalmente. Por lo tanto, para fortalecer el capital intelectual que se categoriza tangiblemente en a) capital humano, en donde se encuentran las capacidades y habilidades de las personas que pertenecen a la compañía, b) capital estructural, que incluye como tal la tecnología, los procesos, la maquinaria, y c) capital relacional, que vincula las dos categorías en interacción con los stakeholders (Castellanos, Fúquene y Ramírez; 2011), se requiere de una codificación de la información dependiendo de si es tipo ADN ó tipo BN, que como se vio en el capítulo dos se refiere a las dos formas en las que los organismos vivos clasifican la información, puesto que su tratamiento y rutinas serán diferentes, que permiten adquirir información y transformarla en conocimiento útil para la organización que incremente la productividad laboral y del capital:

Información tipo ADN: Esta información se relacionada con la recopilación de éxitos y fracasos en la toma de decisiones y de afrontar tendencias del entorno, tanto desde el sistema productivo como de referentes externos. Para poder gestionar la información de este tipo es necesario tener rutinas hacia adentro de la compañía donde: i) Los procedimientos de producción incorporen la experiencia del capital intelectual, es decir sean estándar para la organización pero personalizados para la misma; con el fin de que la codificación e incorporación de esta información permita disminuir el impacto de la rotación de personal en la productividad laboral, mediante el acortamiento de los ciclos de aprendizaje; ii) La información de las premisas que deben tener los tomadores de decisiones (basándose en éxitos y fracasos) estén explícitas en la compañía para evitar el síndrome del profeta innovador⁸, que podría tener consecuencias tan graves como la negociación de tecnologías obsoletas lo que disminuiría la productividad del capital pues la inversión realizada no se reflejaría proporcionalmente en el incremento de las ventas.

⁸ En donde se pretende hacer innovación sin tener en cuenta información estratégica, o se obtienen productos o servicios con los cuales se cree haber realizado una innovación, que al llegar al mercado resulta poco competitiva (Castellanos, Fúquena, & Ramírez, 2011).

Información tipo BN: Esta tipología de información se puede encontrar a través de los ciclos de vida de la organización, identificando los puntos en el tiempo en donde la empresa ha mutado por cambio ya sea de tecnología, metas o aparición de nuevos productos o tendencias en el mercado. Es importante que la empresa hacia adentro identifique los puntos de inflexión de sus ciclos de vida como organización y establezca los ciclos de vida de sus productos, para poder tener nuevos productos viables a tiempo dentro de su ciclo de innovación, lo que le permitirá tanto la diversificación como la sofisticación del aparato productivo, que se refleja en nuevos productos en tiempo de mercado (*time to market*) y el incremento de la complejidad de los existentes como una forma de alargar su ciclo de vida.

Posterior, a la codificación de esta información propia de la compañía y las rutinas necesarias para su retroalimentación como talleres de transferencia de conocimiento, revisión continua de procedimientos y documentación constante de procesos de negociación, el siguiente paso es el establecimiento formal de sistemas de análisis de tendencia en la organización que buscando implementar el fundamento biológico, se propone sea asociativo o en red entre las empresas del sector, puesto que los sistemas biológicos trabajan en retroalimentación constante entre sus partes, donde las agrupaciones puedan ofrecer análisis de tendencias desde herramientas como el benchmarking, la prospectiva tecnológica, el *roadmapping* y la vigilancia tecnológica, entre otros que se consideren pertinentes; este tipo de análisis de tendencias de forma asociativa permitirá disminuir los costos de la misma y por lo tanto su peso en el factor de la productividad agregada. Permitiendo, el incremento de la productividad de las compañías del sector, principalmente de las de productividad más baja, emulando el trabajo en redes neuronales.

Finalmente con el objetivo de lograr que la empresa apropie el auto-aprendizaje como rutina, entendido como la capacidad de una empresa de retroalimentarse de situaciones pasadas convirtiendo esta información en conocimiento para la toma de decisiones y por lo tanto permitiendo la regeneración en caso de la ausencia de alguno de sus miembros la gestión de la información que es su base, debe evolucionar hacia la gestión del conocimiento al interior de la empresa, comprendido como los sistemas consolidados de información que permiten monitoreo permanente de las dinámicas tanto internas como externas de la industria, teniendo como premisas: la divulgación del conocimiento dentro del sistema productivo, la disponibilidad de la información, la pertinencia de la información en las áreas en las que se encuentra, relación de la necesidad de la información que se tiene con la toma de decisiones que se desarrolla en este punto y la generación de nuevo conocimiento o adqui-

sición del mismo a partir de transferencia no sólo externamente si no entre áreas, o de procesos de vigilancia tecnológica.

3.2.2.3. *La Innovación como un proceso Evolutivo*

Los productos y procesos en los seres vivos están en constante evolución para adaptarse y sobrevivir al ambiente, algunas de estas adaptaciones son radicales u otras con más del tipo de adquisición de nuevas técnicas para asegurar la supervivencia de la especie en el tiempo, por lo que se propone que la innovación en las empresas sea visto como un proceso evolutivo que tenga como premisa la dinamización de los procesos y productos. Con el fin de tener un crecimiento del valor agregado de los productos y por lo tanto incrementar el numerador en el factor de la productividad total.

Esta característica biológica está fuertemente relacionada con el auto-aprendizaje y debe retroalimentarse por lo tanto de los procesos de gestión de la información tanto internos como externos, es decir la innovación puede venir de cualquier parte, incluso de señales débiles de la externalidad del sector o de la aplicación de paradigmas de otros sectores a manera de analogía al sector de las artes gráficas. La innovación evolutiva está relacionada con las nuevas formas de fabricación tanto en el proceso como en el producto final.

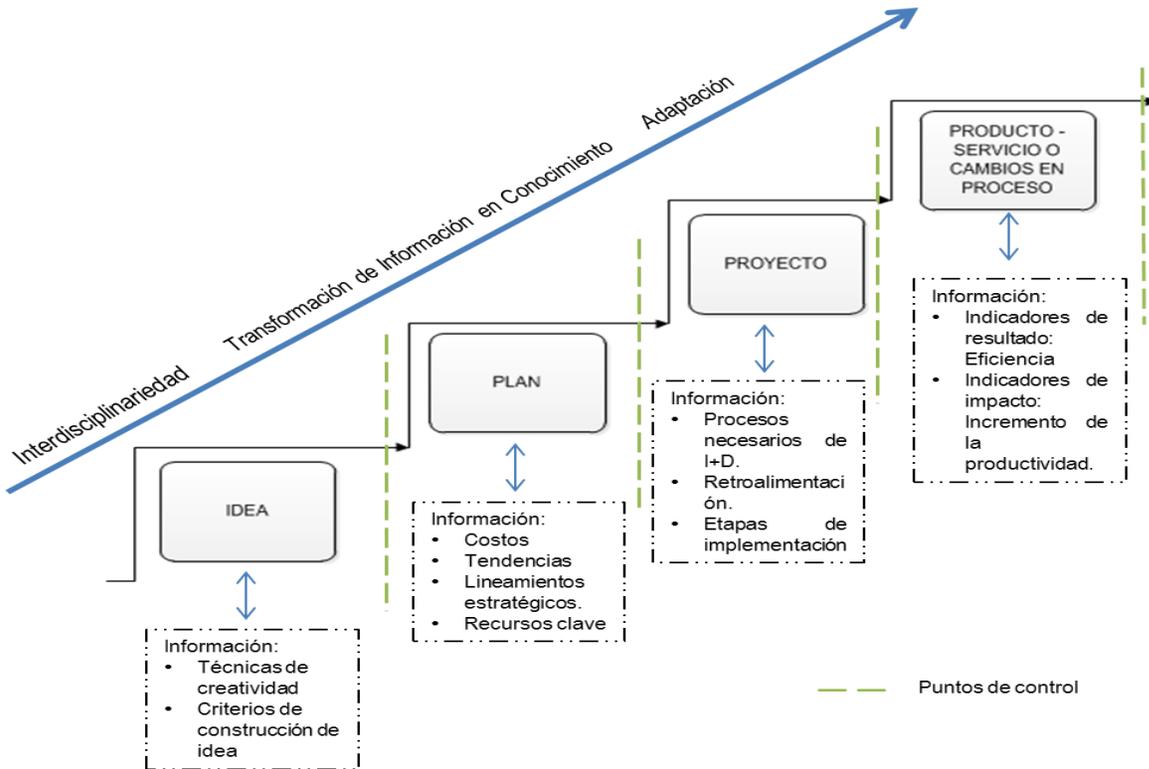
La innovación como proceso evolutivo gestionado de forma sistemática, desde la gestión de las ideas hasta la gestión de proyectos de innovación, sean estos incrementales o radicales, permiten la evolución de la manufactura de la empresa hacia la agregación de valor de los productos y/o procesos existentes (sofisticación) o la elaboración de nuevos productos (diversificación). La innovación evolutiva tendrá como base a la gestión de ideas, entendida como el proceso sistemático que lleva a una idea de serlo a evolucionar a un producto, servicio o cambio de proceso.

De esta forma la gestión de la innovación como proceso evolutivo se traduce en que la innovación puede venir desde el interior de la empresa pero para ello deben recopilarse las ideas desde dentro de la empresa, lo cual puede desarrollarse a través de diferentes técnicas de creatividad, es importante que esta recopilación tenga un foco y como en todo proceso evolutivo un descarte (priorización) en puntos de control, puesto que pueden existir ideas muy poco desarrolladas que tomaría tiempo tangibilizar pero que teniendo en cuenta las señales externas son importantes o no, e ideas muy desarrolladas que al igual valdría o no la pena seguir con su evolución. Mientras la idea evolu-

ción hacia plan-proyecto y producto o servicio, debe crecer también en interdisciplinariedad, transformación de información en conocimiento y adaptación, para lo cual necesita incorporar diferente información a lo largo del proceso (Figura 3-7).

Es así, como el concepto de innovación como proceso evolutivo ayudaría a disminuir los costos de la innovación, conduciendo la creatividad (ideas) al mejor uso de los recursos, puesto que al evaluar en ciertos puntos de control las innovaciones que se están desarrollando evitaría desperdiciar recursos en procesos innovativos que no daría resultado o cuyo resultado es inferior a los demás, es importante que la evaluación en el punto de control de proyecto a producto la lleven a cabo los tomadores de decisiones y en lo posible personas diferentes a los involucrados en el proyecto, para evitar sesgo en la toma de decisiones. Cabe anotar que la gestión de ideas llevada hasta la creación de un nuevo producto, servicio o cambios en proceso incluye procesos de Investigación y Desarrollo, ligados como se mencionó anteriormente con la gestión de la información y busca incrementar la efectividad de la I+D uno de los factores internos más relevantes que afectan la productividad.

Figura 3-4. La innovación como un proceso evolutivo.



Fuente: Elaboración Propia

Otro punto de vista, desde el que el fundamento biológico puede ayudar a la organización a mejorar la eficiencia de sus procesos de innovación y por lo tanto de bajar los costos de la innovación, incluyendo estos procesos de I+D, es del aprovechamiento de la tendencia de la Biomimesis en el que los productos se asemejan a características de los seres vivos, que para el caso de las artes gráficas se vería reflejado principalmente en nuevos materiales, más resistentes a factores ambientales pero a la vez biodegradables.

3.2.2.4. Auto-organización como medio de optimización

En el presente estudio se pudieron identificar como uno de los factores que más afectaban a la productividad los métodos organizacionales y la automatización de los procesos, los dos influyen tanto en los tiempos y movimientos de los procesos de producción como en las capacidades del aparato productivo para la toma de decisiones necesarias para el mejor uso de los recursos. Desde el fundamento biológico convertir a la empresa en un sistema auto-organizado podría incrementar la productividad referida a la utilización de máquinas, manejo de desperdicios y uso de la capacidad de planta, con el enfoque global de la toma de decisiones desde diferentes sectores de la empresa.

Desde el fundamento biológico, la analogía del sistema productivo como un de sistema autopoietico se relaciona directamente con la auto-organización de la empresa en lo referente a los métodos organizacionales, en el que los individuos generan procesos que mantienen a la vez las partes individuales, que como lo menciona Montoya & Montoya (2012), poseen dos características fundamentales la primera referida a que los individuos suplen sus necesidades específicas mediante el desarrollo de procesos para tal fin, que a la vez validan la importancia de la existencia de ese individuo como miembro de la organización, por lo que el mismo es quien garantiza su permanencia en la compañía y en segundo lugar los individuos reconocen que los recursos que administran y gestionan propician su crecimiento individual por lo que los toman como si fueran propios. Por lo tanto, los modelos organizacionales desde sistemas de manufactura emergentes tienen como característica vital a la cooperación por encima de la jerarquía, caracterizada por redes horizontales de agentes autónomos, y a la racionalidad limitada que busca concebir un proceso de toma de decisiones desde la información existente y el contexto.

El atributo biológico de la auto-organización entonces, se puede implementar en un sector como el de la industria gráfica comenzando por el establecimiento de funciones de los agentes (módulos o áreas) en los que está dividido el sistema productivo, funciones en las que se debe aclarar que deci-

siones puede tomar en el cargo, evitando que los tomadores de decisiones se encuentren concentrados en un solo punto del organigrama, lo que hace que la compañía adopte el concepto de autopoiesis al empoderar a los individuos de la organización para la administración de los recursos. Posteriormente, se debe recolectar información preponderante de los otros sistemas de la compañía como clientes, competidores y proveedores que permitan la aplicación de la racionalidad limitada al llevar a cabo procesos de negociación y demás interacciones propias de la cadena de valor, y finalmente es necesario que la información se encuentre disponible lo cual se relaciona con el auto-aprendizaje, consideración expuesta anteriormente.

La auto-organización de los sistemas de manufactura, desde el fundamento biológico también se ha utilizado en la automatización de maquinarias y en los sistemas de control de los mismos, esta característica influiría en el aumento de la productividad al optimizar los tiempos de las máquinas y del uso de la capacidad de las mismas a través de la planeación de la producción por algoritmos genéticos, imitando procesos de selección natural al combinar funciones y escoger soluciones lo más cercanas a las óptimas.

La aplicación de las premisas mencionadas anteriormente debe resultar en un sistema de manufactura que no necesite supervisión, para que esto ocurra en una última instancia la organización al establecer sus procedimientos debe garantizar que los trabajadores conozcan todo el proceso desde la adquisición de materias primas y su almacenamiento, pasando por el proceso productivo y los controles de producción hasta las pruebas de control de calidad de producto, convirtiéndolos en trabajadores multitarea que puedan suplir necesidades en momentos de turbulencia sin estar necesariamente especializados en ellas, y por lo tanto disminuir la aversión al cambio.

La auto-organización se traduce entonces en el uso de las capacidades de la planta y el manejo acertado de órdenes de producción y desperdicios, estos últimos referidos tanto a reprocesos como a usos inadecuados de materias primas y recursos, entre ellos la energía que como se mencionó en el primer capítulo es uno de los valores referentes para los insumos del indicador de la productividad, al imitar procesos biológicos las máquinas deben poseer sistemas auto-controlados que usen diferentes cantidades de materias primas e insumos en los diferentes procesos productivos, ya que en los seres vivos la energía y los diferentes recursos se utilizan en niveles diferentes dependiendo del proceso productivo que se lleve a cabo.

3.2.2.5. Respuesta a tendencias tecnológicas

Como se observó en el primer capítulo, la tecnología es una de las variables que tiene una incidencia más fuerte en el indicador de la productividad, dado que la incorporación de las mismas al aparato productivo cambia los métodos y procesos de producción y por lo tanto la estructura administrativa de la misma, sin embargo el fundamento biológico ofrece una perspectiva de respuesta rápida hacia el cambio de tendencias tecnológicas, incorporando las consideraciones mencionadas anteriormente en especial el auto-aprendizaje a la estrategia tecnológica de la empresa, coincidiendo con Jiménez *et al* (2007) quienes mencionan que el desarrollo de la gestión tecnológica se basa en la adquisición y difusión de conocimiento, más allá de la obtención o desarrollo de tecnología, es así, como Castellanos y Jiménez (2009), proponen a la pronoia organizacional, en el cual se buscan opciones a las dificultades, como un concepto que explora alternativas para que las empresas mejoren su adaptación al entorno a través de procesos más rápidos de transferencia de tecnologías. Como elementos para implementar la pronoia al sector a partir del auto-aprendizaje es impositivo aplicar una política de integración tecnológica que vaya desde la negociación de tecnologías hasta la inserción de las mismas en la dinámica productiva, es importante entonces la búsqueda de opciones que incluya la evaluación de efectos de los cambios en la tecnología en la productividad para lo cual se deben llevar a cabo procesos de transferencia tecnológica que permeen a la organización a través de los mecanismos descritos anteriormente en referencia al auto-aprendizaje.

Para imprimir rapidez y adaptabilidad a la gestión de la tecnología, se retoman algunas de las premisas formuladas por Fonseca (2010), en el octograma estratégico tecnológico, que imprimirían a la organización la capacidad de llevar a cabo transferencias de tecnología más rápidas y adaptar de forma ágil la variable tecnológica a los cambios del entorno: 1) Disponibilidad de Fuentes de Información: esta premisa se encuentra ligada al auto-aprendizaje expuesto anteriormente ya que requiere que la empresa disponga de información tanto del entorno (características del mercado, tecnologías usadas) como de la propia compañía (competencias tecnológicas), 2) Proceso Participativo Permanente: esta premisa está relacionada con la auto-organización como mecanismo de optimización, ya que lograr un empoderamiento y compromiso posterior, que permita hacer de la estrategia tecnológica una iniciativa sostenible, 3) Competencias del estratega tecnológico contextualizado: que desde el fundamento biológico debe impartirse mediante la racionalidad limitada, característica mencionada con anterioridad, en el acápite 2.2.3, 4) Establecimiento de Prioridades y Consistencia de la estrategia tecnológica con los lineamientos estratégicos generales: que desde las características de ser vivo se refleja en ver al sistema productivo como un todo y cuantificar los efectos de la

tecnología en el factor de la productividad de la empresa, ya que al momento de generar una estrategia tecnológica se debe asegurar una eficiencia en la asignación de dichos recursos.

La aplicación de estas premisas debe permitir al aparato productivo tanto la incorporación de nuevas tecnologías como la negociación informada de tecnologías y transferencias tecnológicas. Como en un ser vivo, la información necesaria para llevar a cabo estos procesos debe alimentarse y cambiar continuamente, por lo que los canales de información prioritaria como indicadores y tendencias del mercado deben producirse en línea y además se debe garantizar la fácil y rápida consulta dentro de la organización. El incremento de la rapidez en la Transferencia Tecnológica hacia las organizaciones es importante para la sofisticación de sus productos, que en un sector como el de la industria gráfica es imperativo por el cambio acelerado de tendencias.

3.2.2.6. *Implementación por fases*

Como última consideración, y teniendo en cuenta el contexto de las organizaciones colombianas del sector gráfico se propone llevar a cabo una implementación por fases de los anteriores atributos biológicos, ya que no todas las organizaciones presentan los mismos grados de avance en las acciones propuestas en la tabla 3.9. Se considera pertinente que este modelo en fases sea objeto de investigaciones posteriores que permitan presentar un modelo a la organización. Esto debido a que 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 3-9).

Tabla 3-9. Características de los tipos de Organizaciones según la asimilación de conocimiento y tecnología.

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 desarrollo de competencias. -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 movilizado 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 con-

Tipo	Descripción
	siderable. 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	-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.

Fuente: Adaptado, a partir de Castellanos, 2007 & León, 2013.

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.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La productividad, es un indicador vigente, presentándose como una temática estructural de la Economía mundial, como se evidencia en el capítulo 1, el concepto de productividad se entiende como una de las características de la supervivencia de las organizaciones en el mercado; y con la calidad de vida de los habitantes de un país. Para analizar su concepto en el primer capítulo se llevó a cabo una recopilación de los aportes más importantes al mismo a través del tiempo, los más importantes métodos de medición de su variación y tipos de productividad adicionalmente se hizo una revisión de los factores tanto internos, caracterizados por la posibilidad de la injerencia de la organización en su control, como externos que se han identificado a lo largo de la literatura como factores que afectan la productividad. Finalmente en el acápite 1.4. se identificaron los mecanismos que se han utilizado en pro del mejoramiento de la productividad. Este análisis permitió identificar la necesidad de la proposición desde la academia de mecanismos de ruptura de que le permitan a la empresa un reconocimiento de la importancia del incremento de la productividad con premisas más allá de la disminución de costos laborales.

Los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos (BMS), basan sus premisas conceptuales en la analogía de la organización como un ser vivo, para impartir características propias de estos como la auto-organización, auto-aprendizaje y flexibilidad (ácapite 2.2.). Estos tipo de sistemas, como se evidenció en el Capítulo 2 pertenecen a los sistemas de manufactura emergente diferenciados de los tradicionales por responder de forma dinámica a los cambios del entorno. Los sistemas de manufactura emergentes, son una tendencia mundial de investigación, como se evidenció en el acápite 2.1, referidos principalmente a la aplicación de atributos biológicos a sistemas de manufactura más ampliamente aplicados como los de manufactura flexible o reconfigurable. Sin embargo, en contextos emergentes como el Latinoamericano, no se encuentran de forma explícita investigaciones referentes a los 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.

Los atributos biológicos a los métodos de producción de las empresas, se han aplicado en partes de la producción como la planeación de la producción, el ensamble y desensamble de maquinarias, y principalmente el control de la producción, como se evidencia en el acápite 2.2, siendo todos ellos actividades que se tienen en cuenta al medir la productividad empresarial, por lo que la aplicación de este paradigma de manera más global a los sistemas de manufactura se considera pertinente para el incremento de la productividad, puesto que permite administrar los factores internos que afectan la productividad, pero además dar respuesta rápida a los cambios del entorno lo que permitiría al sistema productivo la adaptación con menor impacto a los mismos.

En el capítulo 3, se plantean las consideraciones sobre la aplicación de un sistema de manufactura biológica para un sector de las artes gráficas colombiano para el incremento de la productividad, teniendo en cuenta la relación de las mismas con los imperativos para el mejoramiento de la misma según estudios relacionados a la productividad del sector y del aparato productivo colombiano en general (acápites 3.2.1.). Las consideraciones para la aplicación de los atributos biológicos al sistema de manufactura de la organización, se basa en la capacidad de cada uno de los atributos de responder e incrementar los diferentes factores de la productividad como se relacionan en la tabla 3-8. Las consideraciones se relacionan directamente con una característica que desde la biología se puede impartir a la empresa, acápite 3.2.2. Estas consideraciones son: a) La organización como un todo, b) Auto-aprendizaje, c) La innovación como un proceso evolutivo, d) Auto-organización como un medio de optimización y e) Respuesta a las tendencias tecnológicas.

Los diferentes capítulos en los que se desarrolló la investigación, permiten evidenciar la pertinencia del paradigma emergente de los atributos biológicos aplicados al sistema de manufactura de las organizaciones, al contexto productivo colombiano y específicamente al sector de las artes gráficas, ya que son un medio para lograr la diversificación, sofisticación y el fortalecimiento del capital intelectual, imperativos que a lo largo de las reflexiones sobre la productividad del aparato productivo colombiano se tornan como los principales acciones para el incremento de la productividad. Es así, como el fundamento biológico, mediante una respuesta más rápida y efectiva a las amenazas externas del sistema productivo y cambios en la dinámica interna que hace más eficientes las relaciones entre las entidades que la conforman, dan como consecuencia la eficiencia en el uso de los recursos. El fundamento biológico, entonces, permite explicar a las empresas desde las relaciones entre los individuos que la conforman y a los sectores desde las relaciones entre las organizaciones que los integran, dando un concepto ampliado al término de productividad que permite el incremento de la

misma a partir del mejoramiento de estas interacciones y la comprensión de acciones que pueden o no estarse desarrollando dentro de la industria.

En el contexto de economías emergentes, como la colombiana, está latente el reto del mejoramiento de la productividad, por lo que desde investigaciones académicas como la presente es pertinente plantear desde nuevos paradigmas, que aunque se encuentren en su etapa conceptual, como el de la aplicación de los elementos biológicos a los sistemas de manufactura, nuevos enfoques para el incremento de la misma que permitan a sectores como el de la industria gráfica la inclusión y reorganización de las estructuras productivas. Esta investigación, pretende dar nuevas perspectivas al mejoramiento de la productividad, puesto que los paradigmas tradicionales parecen agotados ante la efectividad en la respuesta a cambios en el entorno, por lo que se deben buscar nuevos postulados de ruptura que desde la oferta académica le permitan al aparato productivo incrementar su productividad con nuevas estructuras.

La tesis plantea bases para la aplicación de elementos biológicos para el incremento de la productividad a partir de la integración de características como la evolución, el auto-aprendizaje y la auto-organización en los sistemas de gestión de la innovación, del conocimiento y de la estrategia tecnológica. Lo que permite desarrollar estudios posteriores donde el fundamento biológico permita el desarrollo de estrategias puntuales para una empresa en particular conociendo los valores de sus indicadores de productividad, entre otros.

Es importante, desarrollar investigaciones y aplicaciones de las mismas para el incremento de la productividad, desde diferentes puntos de vista, ya que como se observa en el fundamento biológico es imprescindible el trabajos interdisciplinario que permita la sinergia entre disciplinas, por lo que una investigación exploratoria como la presentada en este trabajo, se enriquecería con el complemento de ciencias como la económica y las ciencias humanas, que en torno a las nuevas tendencias de mecanismos de mejoramiento de la productividad permitan integrar el manejo del recurso humano y no sólo de la maquinaria para disminuir las brechas de productividad. Lo cual se comienza a entrever en las consideraciones presentadas en esta tesis primordialmente las referentes a convertir la empresa en un sistema auto-organizado.

4.2. Recomendaciones

En el presente estudio se abordó el mejoramiento de la productividad, desde fuentes secundarias, por lo que se recomienda, fortalecer las consideraciones, mediante datos reales comparativos en una compañía específica que permitan establecer el paso a paso para la misma de la implementación de los atributos biológicos para el mejoramiento de la productividad, y en lo posible evaluar sus efectos en el indicador.

El fundamento biológico, desde la Ingeniería Industrial se presenta en Colombia con referente a estudios de la variable tecnológica, la valoración del capital, el aporte a metodologías de gestión y la valoración de recursos y capacidades, por lo que se evidencia, al igual que con el presente trabajo la necesidad de comenzar a incorporar este paradigma en un sector diferente al de la programación y control, que es el que se ha estudiado con más frecuencia. Por lo tanto, se recomienda desarrollar nuevas investigaciones con perfil integrador que permitan tener un modelo de implementación del paradigma biológico desde los diferentes sistemas de gestión de la organización, para que esta sea un organismo vivo capaz de responder al entorno en todos los campos en los que se desarrolla.

La productividad se muestra como una variable estructural de la economía, sin embargo en contextos como el colombiano su incremento desde nuevos puntos de vista o desde la inclusión de otras ciencias como la biología no ha sido estudiado de forma extendida. Se recomienda, entonces incorporar desde nuevas ciencias conceptos que junto al paradigma biológico permitan a las organizaciones incrementar el valor de la productividad agregada.

Es importante mantener la simplicidad de los sistemas que conforman la organización para que se puedan alimentar y retroalimentar unos de otros compartiendo principalmente información, que permita ir adaptando los mismos a las tendencias del entorno y que deje actuar a los sistemas de manera independiente pero interrelacionada.

Las consideraciones planteadas en la presente investigación necesitarán un mayor desarrollo para la aplicación en fases propuesta, por lo tanto se recomendaría para futuros estudios desarrollar instrumentos que permitan el diagnóstico empresarial en cada uno de los aspectos que se mencionan en las consideraciones, para el establecimiento de brechas con respecto a la implementación en las organizaciones de atributos biológicos, para lograr la diversificación, sofisticación y fortalecimiento del capital intelectual a través de la superación de los retos específicos de la empresa.

5. Bibliografía

- Miller , S., Mukti , P., & Upadhyay. (2000). The effects of openness, trade orientation, and human capital on total factor productivity. *Journal of Development Economics*, 399-423, v:63.
- OCDE, Banco de Desarrollo de América Latina y CEPAL. (2013). *Perspectivas económicas de América Latina 2014 LOGÍSTICA Y COMPETITIVIDAD PARA EL DESARROLLO* .
- 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.
- Agosin, M., Atal, J., Blyde, J., Busso, M., Cavallo, E., Chong, A., y otros. (2010). La era de la productividad: cómo transformar las economías desde sus cimientos. *Inter-American Development Bank*.
- ANDIGRAF. (Septiembre de 2014). Balance industria gráfica primer semestre 2014. *Notigraf(48)*, 7-13.
- Araúzo , 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.
- Araúzo, J. A., de Benito, J. J., & del Olmo, R. (5-6 de 09 de 2002). Sistemas de Fabricación Holónicos. *II Conferencia de Ingeniería de Organización*, 717-724.
- Barbosa, J., Leitao, P., & Pereira, A. (2011). Combining adaptation and optimization in Bio-inspired Multi-Agent Manufacturing Systems. *Artificial Intelligence*, 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.
- BID. (2010). *La era de la productividad: cómo transformar la economía desde sus cimientos*.
- Bongaerst, L. (1998). *Integration of Scheduling and Control in Holonic Manufacturing Systems*. Bélgica: Ph.D. Dissertation, K.U.Leuven, PMA Division.
- Branstetter, L., & Jong, R. C. (2006). The impact of technology transfer and R & D on productivity growth in Taiwanese industry: Microeconomic analysis using plant and firm-level data. *J. Japanese Int. Economies* , 177-192, v:20 .
- Briceño , M. (2012). Caracterización de la cadena de abastecimiento en las PYMES de la Comunicación Gráfica Impresa en Colombia. *Trabajo de monografía para optar el título de Ingeniero de Producción*. Bogotá, Colombia: Universidad EAN-Facultad de Ingeniería.
- Castellanos, O., Fúquene, A., & Fonseca, S. (2009). *Direccionamiento estratégico de sectores industriales en Colombia a partir de sistemas de inteligencia tecnológica*. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia- Facultad de ciencias económicas.
- Catellanos, O., Fúquena , A., & Ramírez, D. (2011). *Análisis de tendencias:de la Información hacia la Innovación*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia-BioGestón.
- 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).

- Cequea, M., Rodriguez, C., & Núñez, M. (2010). Los factores humanos que inciden en la productividad y sus dimensiones. *4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Donostia-San Sebastián .
- Christo, C., & Cardeira, C. (2007). Trends in intelligent manufacturing systems. *Industrial Electronics*, 3209-3214.
- Coccia, M. (2009). What is the optimal rate of R&D investment to maximize productivity growth? . *Technological Forecasting & Social Change* , 433-446, v:76 .
- Colmenares, O. (2007). *Medición de la productividad empresarial* . Gestiópolis .
- Consejo Privado de Competitividad. (2014). *POLÍTICA DE DESARROLLO PRODUCTIVO COLOMBIA*. Bogotá.
- DANE. (2012). *Boletín de prensa. Cuentas departamentales-Base 2005, resultados PIB Departamental, 2009 y 2010*. Bogotá.
- DANE. (2013). *Boletín de prensa, encuesta anual manufacturera-EAM 2011*. Bogotá.
- Davenport, T. (1996). The Fad that Forgot People. *Fast Company*, 77-74. Vol1. No.1 .
- Demeester, L., Eichler, K., & Loch, C. (2003). What the biological cell can teach us about the future of manufacturing. *Working Paper Series Organic Production Systems* .
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004a). Pulpa , papel e industria gráfica. En D. N. (DNP), *Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección* (págs. 243-269). Bogotá.
- Efstathiou, J., Calinescu, A., & Huatuca, L. (2001). Classes of complexity in manufacturing . *Proc. National Conf. Manufacturing. Research, UK*, 351-356.
- Elmaraghy, H., Algeddawy, T., & Azab, A. (2008). Modelling evolution in manufacturing: A biological analogy. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1), 467-472.
- Escandón , D., Arias, A., & Salas, J. (2012). Recursos y capacidades que inciden en el desempeño de los subsectores económicos colombianos 2003-2004:un acercamiento desde la teoría basada en recursos. *Ingeniería y Competitividad*, 14(2), 53-67.
- FARE , R., GROSSKOPF , S., NORRIS , M., & ZHANG, Z. (1994). Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries . *American Economic Review*, 84(1), 66-83.
- FARE, R., & GROSSKOPF, S. (1992). "Malmquist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes. *Economic Journal*. January, 158-60.
- Ferro, G., & Romero, C. (2011). Comparación de medidas de cambio de productividad las aproximaciones de Malmquist y Luenberger en una aplicación al mercado de seguros. *Versión online: http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/59/79/46/PDF/Ferro_Romero_-_AAEP_180511_documento_de_trabajo.pdf*.
- Fun-Hwa, F., & Peng-hsiang, W. (2008). DEA Malmquist productivity measure. Taiwanese semiconductor companies. *International Journal of production economics*, 367-379.
- Gaitán Villegas , J. (04 de Febrero de 2013). *Razón Pública*. Recuperado el Noviembre de 2014, de <http://www.razonpublica.com/index.php/econom-y-sociedad-temas-29/3542-baja-productividad-la-enfermedad-cronica-de-la-economia-colombiana.html> Baja productividad, la enfermedad crónica de la economía colombiana
- Gallego López, L. F. (2009). *Perspectivas para una estructura de gestión de mercadeo de electrodomésticos de línea blanca en el mercado colombiano para contrarrestar la incursión del mercado asiático*. Manizales.

- 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.
- Gómez, A., & Maldonado, C. (2011). Sistemas bio-inspirados: Un marco teórico para la ingeniería de sistemas complejos. *Documento de investigación No. 112*. Universidad del Rosario-Facultad de Administración.
- González, C., & Urdaneta, A. (2007). Medición de la eficiencia en el sector avícola mediante índices de Malmquist. *Agroalimentaria*.
- Gonzalez-Ayara, M., & Verdugo, G. (2010). Análisis de la eficiencia y productividad de las universidades chilenas mediante el análisis y encapsulamiento de datos.
- Guerra, F., Osorio, M., Aguilar, H., & Gómez, J. (2012). Buscando Consenso Para El Sector de La Industria de la Comunicación Gráfica en Colombia (SICG). *Colombia X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas III Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas*. Universidad Central Bogotá.
- Guerrero, A., & Rivera, C. (2009). México: cambio en la productividad total de los principales puertos de contenedores. *REVISTA CEPAL*.
- Gunasekara, A., Korukondab, A., & Virtanenf, I. (1994). Improving productivity and quality in manufacturing organizations. *Int. J. Production Economics*, 36, 169-183.
- Halevi, G. (2001). *Handbook of Production Management Methods*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hammer, M. (1990). Reengineering work: don't automate, obliterate. *Harvard business review*, 104-112. Vol 68. No 4.
- Hannula, M. (2002). Total productivity measurement based on partial productivity ratios. *International Journal of Production Economics*, 57-67.
- Herron, C., & Braiden, P. (2006). A methodology for developing sustainable quantifiable. *Int. J. Production Economics*, 104, 143-153.
- Hitt, L., & Brynjolfsson, E. (2012). The extroverted Firm: How external information practices affect innovation and productivity. *Management Science*, 58 (5), 843-859.
- Hon, K. (2005). Performance and Evaluation of Manufacturing Systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54(2), 139-154.
- Huang, S., Dismukes, J., Shi, J., & Su, Q. (2002). Manufacturing System Modeling for Productivity Improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 2(4).
- Illera, E. (1982). *Anatomía Y Fisiología De La Organización*. Bogotá: Universidad De La Salle.
- 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.
- J.Peklenik. (1971). *Advances in manufacturing systems*. Pergamon Press.
- Jáuregui, A. (2000). *Productividad y competitividad. Algunas consideraciones*. Gestiópolis.
- Jiménez, C., Castellanos, O., & Montoya, L. (2009). Manufactura biológica e inteligente: atributos de la vida aplicados al desarrollo tecnológico. *Ingeniería e Investigación*, 127-134. Vol. 29. No.2.

- Kao, C., Hsuan, L., Chan, T., Wang, S., & Shi-Dai, H. (1995). Productivity Improvement: Efficiency Approach vs Effectiveness Approach. *Omega, Int. J. Mgmt Sci*, 23(2), 197-204.
- Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G., y otros. (1999). Reconfigurable Manufacturing Systems. *Annals of the CIRP*, 527-540. Vol. 48. No. 2.
- Kumar, S. (2011). Production and Productivity- Factors affecting productivity. *EnZineArticles.com*.
- Lanteri, L. (2002). Productividad, Desarrollo Tecnológico y eficiencia. LA propuesta de los Índices de Malmquist. *Anales de la asociación argentina de Economía política*.
- Laos, E. H. (2007). La productividad multifactorial concepto, medición, significado. *Economía Teoría y Práctica*.
- Leitao, P., & Restivo, F. (2008). A holonic approach to dynamic manufacturing scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 625-634. Vol 24. No 5.
- Leitao, P., Barbosa, J., & Trentesaux, D. (2012). Bio-inspired multi-agent systems for reconfigurable manufacturing systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(5), 934-944.
- Martínez, E., Díaz, J. J., & Jara-Díaz, S. (2011). Productivity and efficiency with discrete variables and quadratic cost function. *International Journal of Production Economics*, 251-257.
- Martínez, M. E. (2006). *El concepto de la productividad en el análisis económico*. Asociación de economistas críticos.
- Mawson, P., Carlaw, K. I., & McLellan, N. (Junio de 2003). Productivity measurement: Alternative approaches and estimates. *New Zealand Treasury working paper 03/12*.
- McLellan, N. (Junio de 2004). Measuring Productivity using the Index Number Approach: An Introduction. *NEW ZEALAND TREASURY WORKING PAPER 04/05*.
- Medina, J. (2010). Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación. *Revista EAN* (69).
- Mendoza, H., Arcón, J., Álvarez, L., & Cantillo, E. (2012). Tendencias Productivas y Competitivas en el Sector de la Industria Grafica. *LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012)*. Panamá.
- Merino, F. (2012). Firms internationalization and productivity growth. *Research in Economics*, 349-354.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo República de Colombia McKinsey & Company. (2009). *Desarrollando sectores de clase mundial en Colombia Bogotá*. Bogotá.
- Montoya, R., Castellanos, O., & Montoya, I. (2004). La gerencia genética: Una biológica aplicada a la gestión de la biotecnología. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 93-104.
- Montoya, A., & Montoya, I. (2012). *Metáforas biológicas aplicadas a las organizaciones* (Vol. 1). Bogotá: Universidad Nacional: Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CID).
- Montoya, L. (2010). Gestión de sistemas de integración empresarial desde una perspectiva biológica. *Tesis de Grado para optar al título de Doctor en ciencias económicas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Montoya, L., Montoya, I., & Castellanos, O. (2010). Características de una aproximación biológica para el estudio de mecanismos de integración empresarial. *XIV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas-Monterrey*.

- Muñoz, M., López, J., & Caicedo, E. (2008). Inteligencia de enjambres: sociedades para la solución de problemas (una revisión)-Swarm intelligence: problem-solving societies (a review). *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(2), 119-130.
- N.R.Greenwood. (1988). Implementing Flexible Manufacturing Systems. *Macmillan Education, London*, 10-13.
- Niño, L. F., & Bednarek, M. (2010). Metodología para implantar el sistema de manufactura esbelta en PyMES industriales mexicanas. *CONCYTEG*.
- OCDE. (2013). *Estudios económicos de la OCDE COLOMBIA Evaluación económica VISIÓN GENERAL OCDE*. OCDE.
- OECD. (2001). Measurement of aggregate and industry-level productivity growth. *Measuring productivity-OECD Manual*.
- OECD. (2001). *Measuring productivity-OECD Manual. Measurement of aggregate and industry-level productivity growth*. OECD.
- Olazarán, M., & Otero, B. (2009). La perspectiva de sistema nacional/regional de innovación: balance y recepción en España. *Arbor. Ciencia, pensamiento y cultura*, ISSN: 0210-1963. No. 738.767-779 p.
- Ortega, C., & Eguía Salinas, I. (2011). Sistema de manufactura reconfigurable y competitividad industrial. *Economía y Administración (E&A)*, 97-113.
- Ortiz, E., & Rojas, C. (1998). Fundamentos de computación con ADN. *Ingeniería e investigación*, 25-44. Vol. 40.
- Otálora, I., Ramirez, 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.
- Park, H.-s., & Tran, N.-h. (2010). An Intelligent Manufacturing System with Biological Principles. *International Journal*, 39-50.
- Pedraza, O. H. (2007). *Un enfoque sistémico sobre los factores determinantes de la productividad*. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- PTP. (2013). *INFORME DE SOSTENIBILIDAD INDUSTRIA EDITORIAL Y DE LA COMUNICACIÓN GRÁFICA*. Bogotá: PTP.
- PTP. (2014). *Programa de Transformación Productiva*. Recuperado el 29 de 11 de 2014, de <https://www.ptp.com.co/contenido/contenido.aspx?catID=607&conID=1>
- Rico, S. (28 de 11 de 2014). Mesa de trabajo Sector Industria Editorial. Cartagena.
- Rivas, L. A. (2002). Nuevas formas de organización. *Estudios Gerenciales*, 2002, vol. 18, no 82, p. 13-45., 13-45. Vol.18. No 82.
- Rivera, H. (2010). Cambio estratégico para entornos turbulentos. (U. d. Rosario, Ed.) *Revista facultad de ciencias económicas Investigación y Reflexión*, 28(1).
- Ruiz, F. (Septiembre de 2014). El Futuro de la Industria Gráfica. *Notigraf*(48), 13.
- Saadat, M., & Owliya, M. (2008). Changes and disturbances in manufacturing systems: a comparison of emerging concepts. *Automation Congress World*, 1-6.

- Saadat, M., & Owliya, M. (2008). Changes and disturbances in manufacturing systems: a comparison of emerging concepts. *Automation Congress World*, 1-6.
- Schmitt, O. (1969). Some Interesting and Useful Biomimetic Transforms. *Third Int. Biophysics Congress*, 297.
- Schonberger, R. J. (2007). Japanese production management: An evolution with mixed success. *Journal of Operations Management*, 403-419.
- Shape, A. (2002). Productivity concepts, trends and prospects. An Overview. *The review of economic performance and social progresses*, 29-56.
- Shu, L. H., Ueda, K., Chiu, I., & Cheong, H. (2011). Biologically inspired design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 673-693.
- Singh, H., Motwani, J., & Kumar, A. (2000). A review and analysis or the state-of-art research on productivity measurement. *Industrial Management and data systems*, 234-241.
- Solow, R. (Agosto de 1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 312-320.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *The International Journal of Production Research*, 553-564. Vol 15.No.6.
- Tovar, L. A. (2002). Nuevas Formas Organizacionales. *Estudios Gerenciales-Icesi*.
- Ueda, K. (1992). Emergent synthesis approaches to biological manufacturing systems. . *Manufacturing Systems*.
- Ueda, K., Kito, T., & Fujii, N. (2006). Modeling Biological Manufacturing Systems with Bounded-Rational Agents. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 469-472.
- Ueda, K., Vaario, J., & Ohkura, K. (1997). Modelling of biological manufacturing systems for dynamic reconfiguration. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 343- 372. Vol. 46, No. 1.
- Uedaa, K., Kitob, T., & Fujiiia, N. (2006). Modeling Biological Manufacturing Systems with Bounded-Rational Agents. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 469-472. Vol.55. No.1.
- Velásquez, Y., & Rodríguez, C. (2009). Modelo de factores internos que afectan la productividad, con base en los valores organnizacionales. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XIII Congreso de Ingeniería de Organización Barcelona-Terrassa, September 2nd-4th 2009*.
- Velásquez, Y., Rodriguez, C., & Guaita, W. (2012). Modelo de los factores que afectan la productividad. *XVI Congreso de Ingeniería de la Organización. Vigo. Julio 18-20, 2012* (págs. 847-854). ADINGOR. Asociación para el desarrollo de la Ingeniería de la Organización .
- 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.
- Zamacona, R. (2003). *Tesis profesional: Creación de valor en la empresa a través del análisis estratégico de costos*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla .

ANEXO 1. CIENCIOMETRÍA

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. El ejercicio se dividió en tres temáticas:

PRODUCTIVIDAD

En la primera se utilizó como ecuación de búsqueda: Productivity, y se limitó la búsqueda a la ventana de tiempo de 2004-2014, es decir los últimos 10 años para permitir observar la evolución del término y que tan actual es su estudio; en esta primera búsqueda se obtuvieron como resultado 3568 artículos científicos.

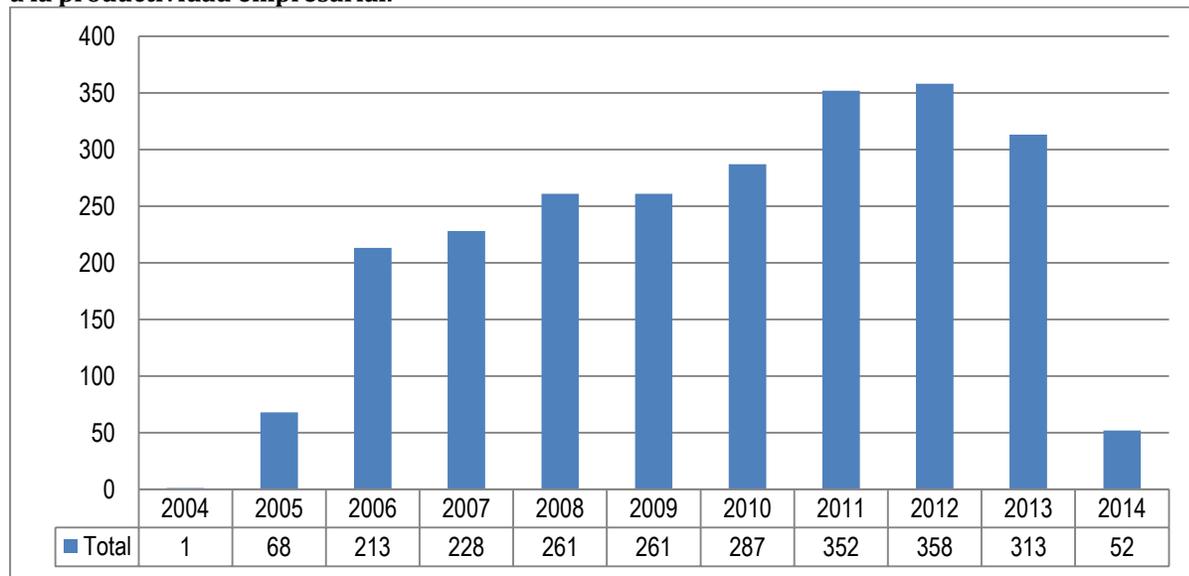
Posteriormente se procedió a hacer una limpieza de los títulos obtenidos, en un primer lugar se eliminaron los títulos duplicados. Teniendo en cuenta que para objeto del presente trabajo los mismos deben estar enfocados a la productividad industrial y/o empresarial, por lo que en una primera instancia se eliminan los artículos referentes a productividad de la educación y de la investigación, así como referentes a condiciones de suelo o de crecimiento para la productividad vegetal y/o de cultivos y productividad de servicios, entre ellos los bancos. Después de aplicar este primer filtro el número de referencias es de 2680.

Con el objetivo de llevar a cabo un filtro más minucioso se revisan las palabras clave, con ayuda del software reference manager se eliminan los artículos relativos a las palabras clave: medical-medicare-medical education and training medical-dental service y hospital, ya que se observa que estos se relacionan con la productividad de hospitales y la propagación de enfermedades, por lo que no son representativos para los indicadores del término productividad referente a sistemas industriales de producción, con lo que se obtienen 2664 artículos para análisis.

Utilizando nuevamente reference manager se filtran los artículos referentes a la medición de la productividad en aeropuertos y los servicios que estos prestan, obteniendo un total de referencias para análisis de 2625. Finalmente se revisan uno a uno los artículos restantes y se eliminan los que se relacionan con la productividad de los terrenos, productividad en los servicios y duplicados. Posterior a este filtro se obtienen 2395 registros para el análisis de indicadores del término productividad.

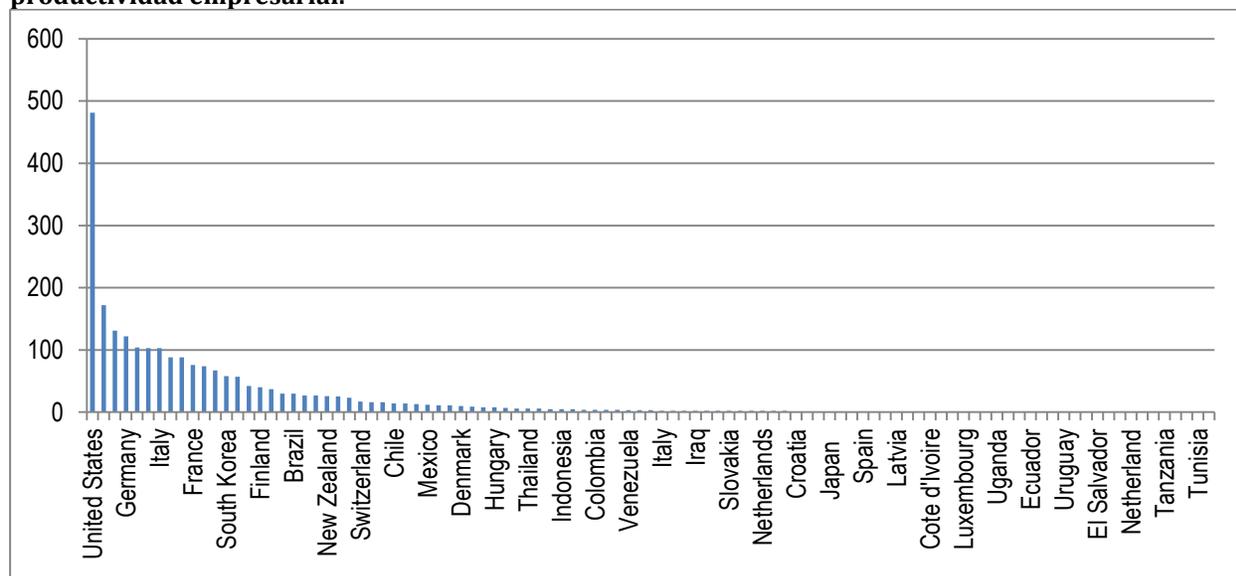
Utilizando Excel ® como software de análisis, se obtienen las siguientes gráficas de análisis utilizadas como indicadores de revisión del estado del arte de la productividad. En las mismas se observa la producción bibliográfica alrededor del término por año, y los países con mayor número de artículos en el tema en los últimos 10 años.

Figura A1-1. Evolución de la producción bibliográfica alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.



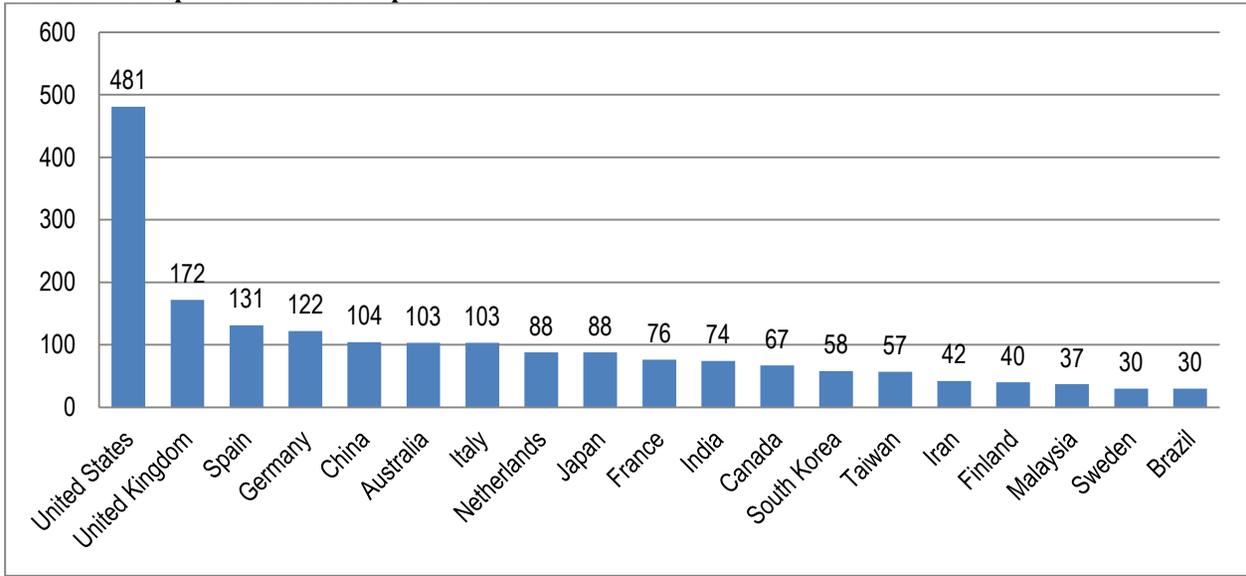
Fuente: Universidad Nacional de Colombia, cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Figura A1-2. Producción de los diferentes países alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia, cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

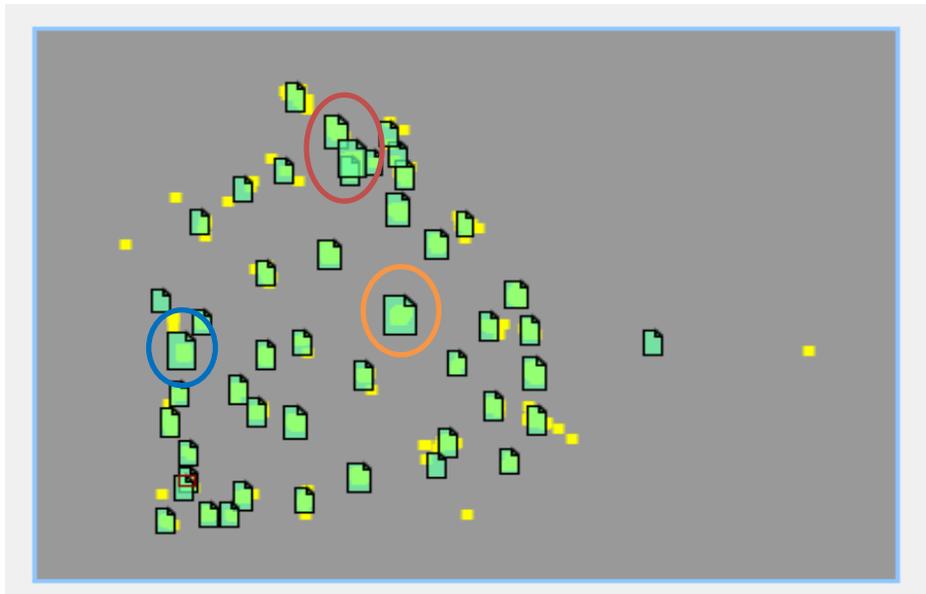
Figura A1-3. Producción de los países con 30 o más referencias alrededor del término productividad, referente a la productividad empresarial.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Para llevar a cabo un análisis de las palabras clave y los clúster que mediante estas forman las referencias bibliográficas, se utilizó el software RefViz, obteniéndose como resultado la siguiente gráfica (Gráfica A1-4):

Figura A1-4. Clúster de palabras clave del término productividad.



Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

Sobre esta gráfica es importante mencionar que las palabras clave que se encuentran como las que más influyen en la creación de clúster alrededor de esta temática son:

Tabla A1-1. Términos que agrupan el mayor número de referencias para el análisis de clúster de la búsqueda con la ecuación productivitat*

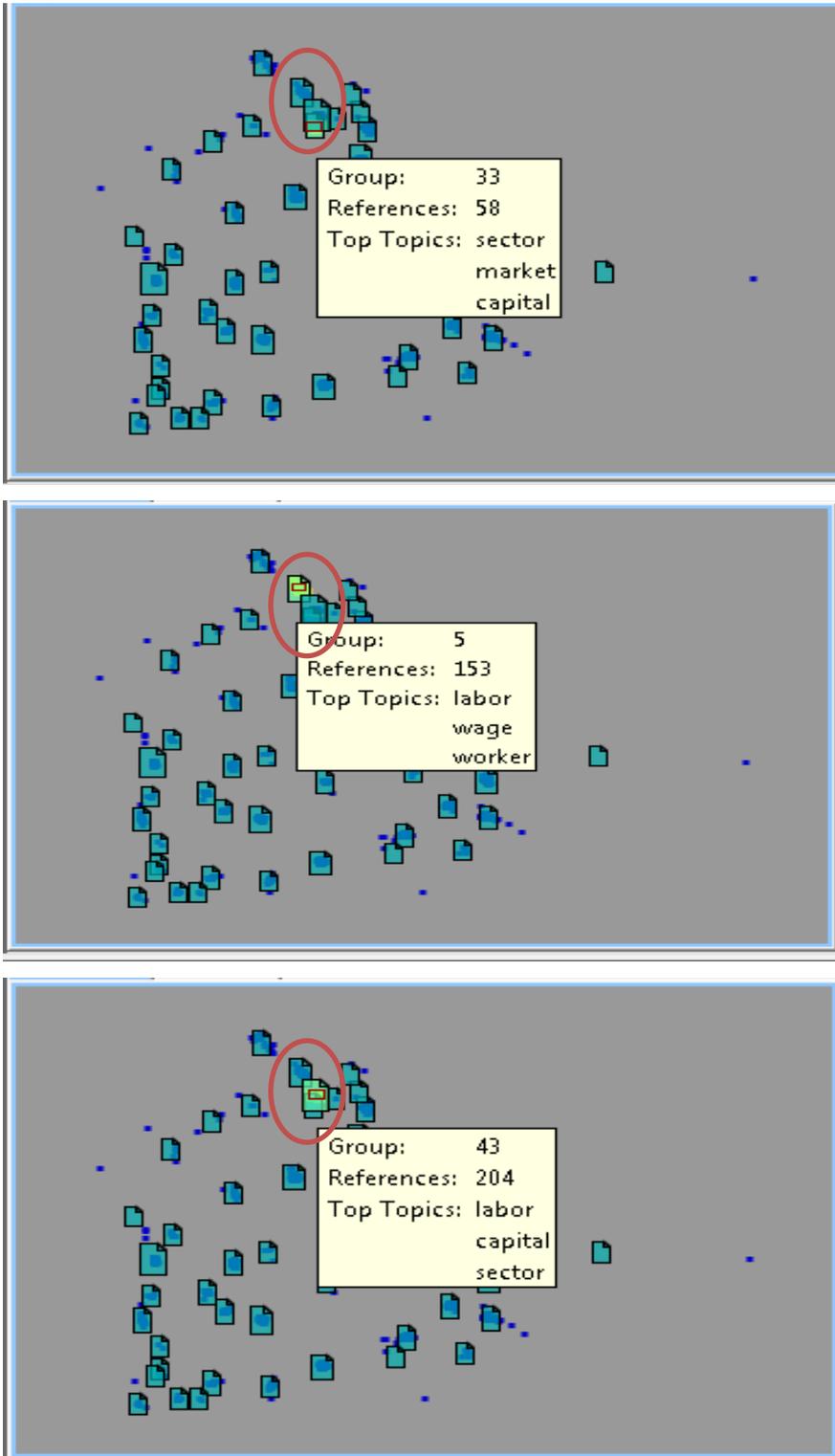
Término	Número de referencias	Término	Número de referencias
labor	606	export	148
manufacture	497	measurement	146
sector	434	price	144
efficiency	430	progress	138
capital	414	wage	136
market	341	malmquist	128
output	332	employment	127
investment	324	real	122
tfp	311	plant	122
index	275	domestic	120
cost	274	employee	117
trade	231	public	116
management	209	construction	115
worker	195	reform	112
innovation	188	distribution	111
service	184	intensity	109
region	183	financial	106
quality	175	gap	105
human	166	competition	104
agriculture	165	social	103
regional	160	spillovers	97

Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

En la ilustración 1 se pueden observar señalados los 3 clúster que agrupan un mayor número de referencias y que se revisarán de forma más detallada a continuación:

El **primer clúster** conformado por tres grupos, el primero se relaciona con las palabras clave más relevantes: sector, mercado y capital, agrupando a 58 referencias, el segundo agrupado por las palabras: labor, salario y trabajador, grupo al que pertenecen 153 referencias y un tercero que se agrupa alrededor de las palabras: labor, capital y sector, en el cual se encuentran 204 registros. Al analizar las referencias de este grupo se encuentra que trata temáticas relacionadas con la productividad laboral, su medición y los factores que la afectan, seguida de temáticas referentes a la crisis económica y sus efectos en la productividad, principalmente de los países. A continuación en la gráfica A1-5 se muestran los grupos que conforman el clúster analizados mediante el software REfViz.

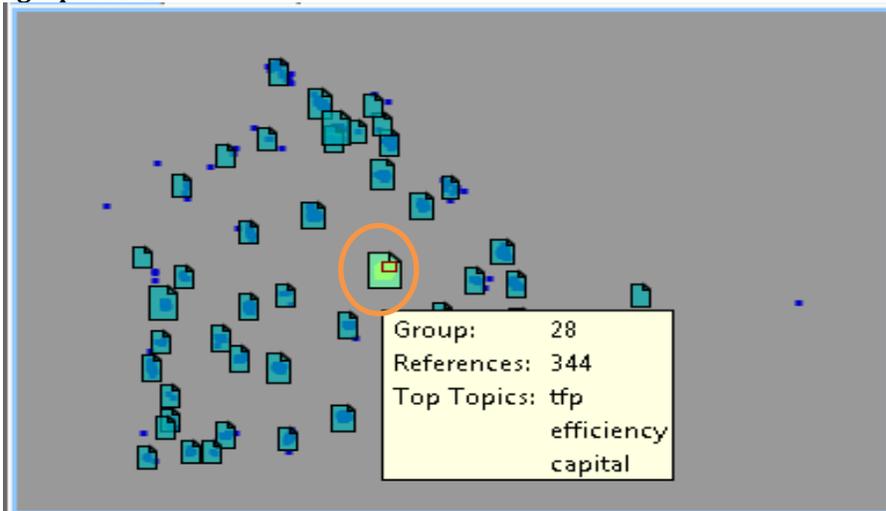
Figura A1-5. Primer Clúster con el mayor número de referencias alrededor del término Productividad. Palabras clave: sector, mercado, labor, trabajador, salario y capital. Total de referencias agrupadas: 415.



Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las Bdd: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

Un **segundo clùster** agrupa 344 referencias con las palabras clave: Productividad Total de los Factores, Eficiencia y Capital. A continuación en la gráfica A1-6 se muestran el clùster analizado mediante el software RefViz.

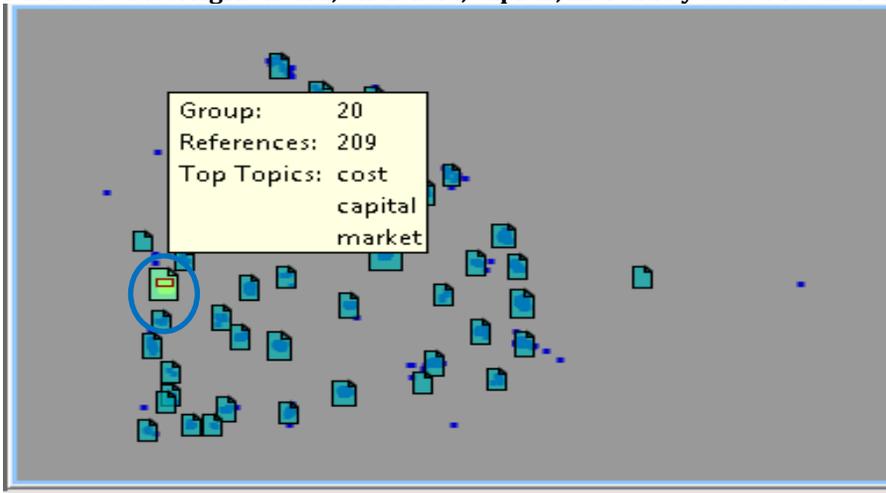
Figura A1-6. Segundo Clùster con el mayor número de referencias alrededor del término Productividad. Palabras clave: Productividad Total de los Factores, Eficiencia y Capital. . Total de referencias agrupadas: 344.

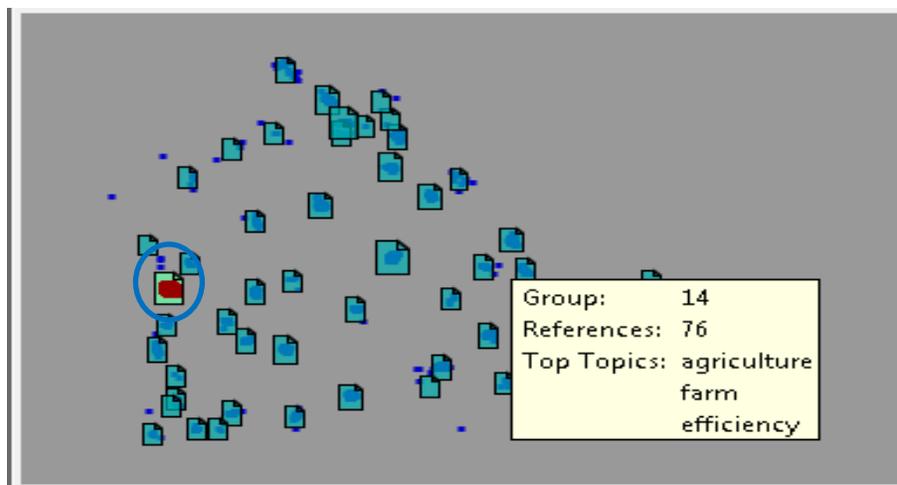


Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

El **tercer clùster** agrupa 285 referencias relacionadas mediante las palabras clave: costo, capital, mercado, agricultura y eficiencia. Aunque las palabras de capital, costo y mercado ya habían sido utilizadas por un grupo anteriormente para llevar a cabo la agrupación al revisar los registros de forma más detallada se evidencia que este clùster se correlaciona por temáticas referentes a políticas agropecuarias y su repercusión en la medición de la productividad país principalmente.

Figura A1-7. Tercer Clùster con el mayor número de referencias alrededor del término Productividad. Palabras clave: Agricultura, eficiencia, capital, mercado y costo. Total de Referencias agrupadas: 285.





Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

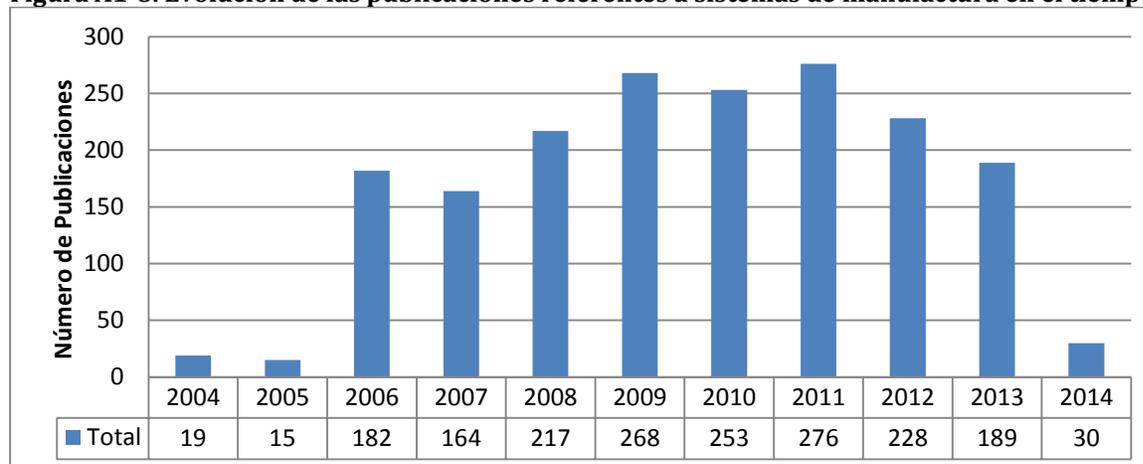
SISTEMAS DE MANUFACTURA

Para la segunda temática se utilizó como ecuación de búsqueda: “manufacturing system*”, y se limitó la búsqueda a la ventana de tiempo de 2004-2014, es decir los últimos 10 años para permitir observar la evolución del término y que tan actual es su estudio; en esta primera búsqueda se obtuvieron como resultado 2369 artículos científicos.

Posteriormente se procedió a hacer una limpieza de los títulos obtenidos, en un primer lugar se eliminaron los títulos duplicados. En una primera instancia se eliminan los artículos referentes a productividad de la educación y de la investigación, así como referentes a la medicina. Después de aplicar este primer filtro el número de referencias es de 2352. En un segundo filtro se eliminan los términos referentes a sistemas de manufactura de servicios, debido a que esta temática no está directamente relacionada con el presente proyecto de grado, luego de la aplicación de este filtro se obtienen 2343. Como tercer filtro se eliminan las referencias relativas a la productividad del suelo, para un total de 2308 y posteriormente a los referentes a la eficiencia energética y de mantenimiento para obtener una lista filtrada de 1841.

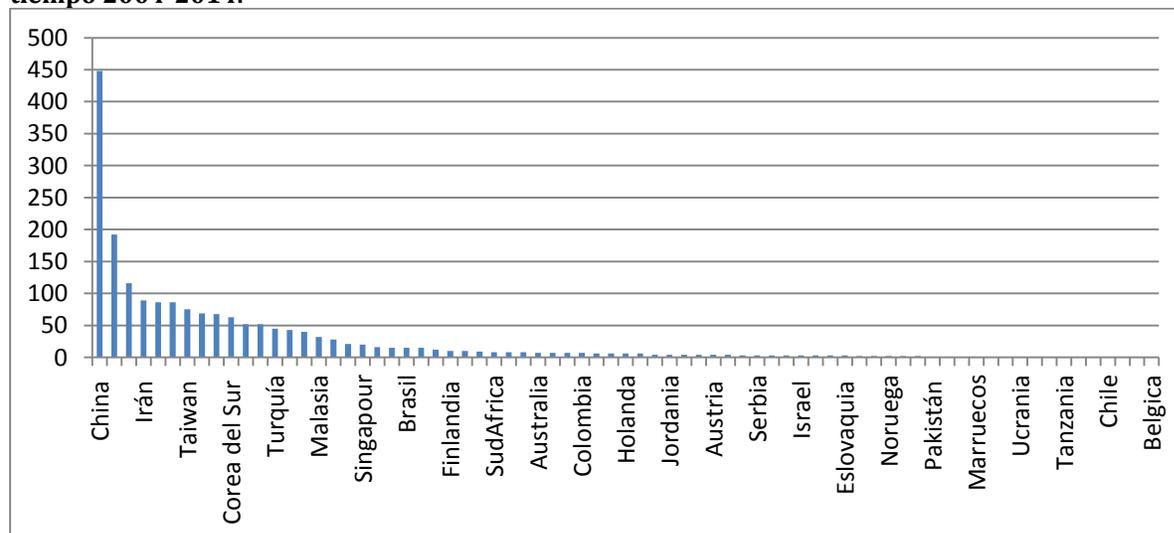
Utilizando Excel ® como software de análisis, se obtienen las siguientes gráficas de análisis utilizadas como indicadores de revisión del estado del arte de los sistemas de manufactura. En las mismas se observa la producción bibliográfica alrededor del término por año, y los países con mayor número de artículos en el tema en los últimos 10 años.

Figura A1-8. Evolución de las publicaciones referentes a sistemas de manufactura en el tiempo



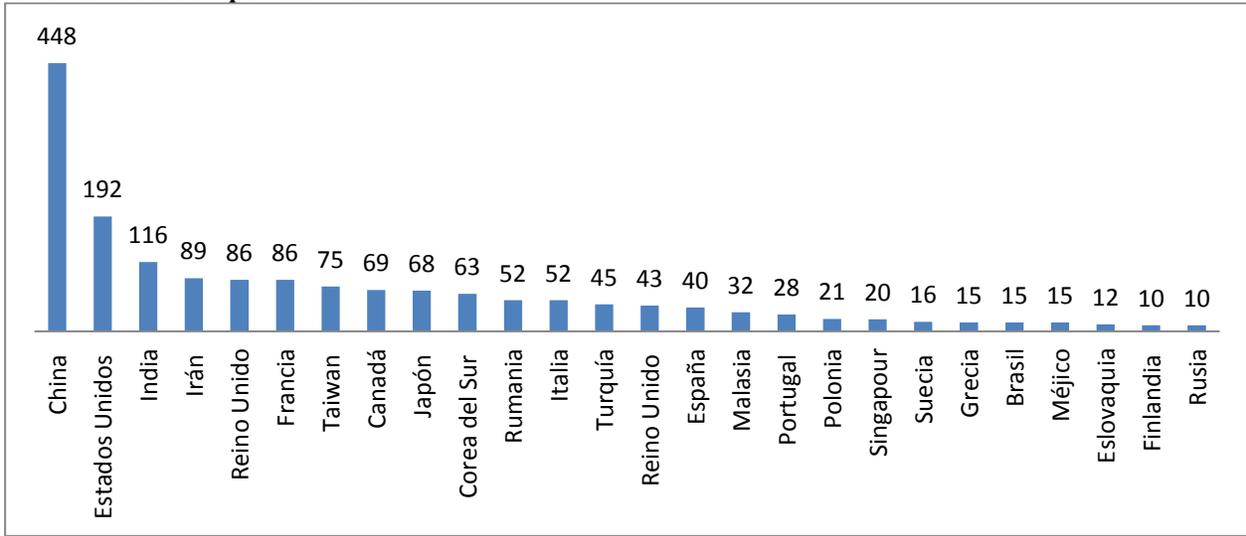
Fuente: Universidad Nacional de Colombia, cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Figura A1-9. Número de publicaciones por país referentes a sistemas de manufactura en la ventana de tiempo 2004-2014.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia, cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

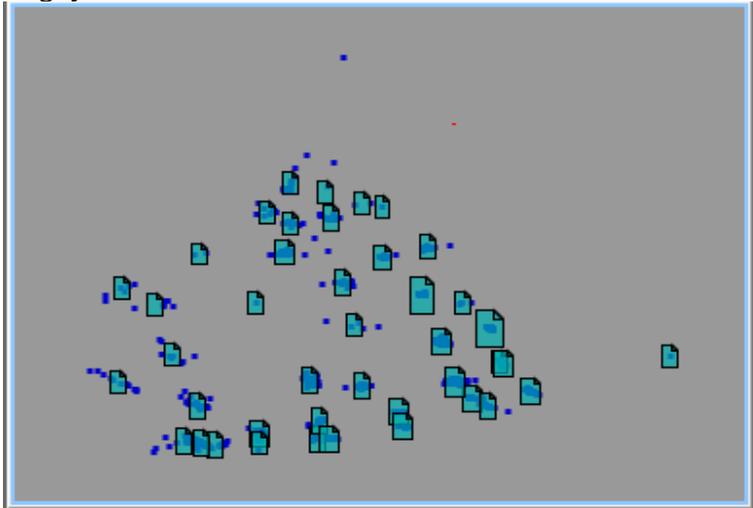
Figura A1-10. Países con el mayor número de publicaciones referentes a sistemas de manufactura en la ventana de tiempo 2004-2014.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Mediante el software Reference Manager ® se hace una sinonimización de palabras clave para poder proseguir con el análisis de clúster agrupando registros por palabras clave mediante el software RefViz, el cual muestra como resultado la siguiente gráfica:

Figura A1-11. Gráfica resultado del análisis de palabras clave de la ecuación de búsqueda: manufacturing system.



Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BdD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

Sobre esta gráfica es importante mencionar que las palabras clave que se encuentran como las que más influyen en la creación de clúster alrededor de esta temática son:

Tabla A1-2. Términos que agrupan el mayor número de referencias para el análisis de clúster de la búsqueda con la ecuación manufacturing system.

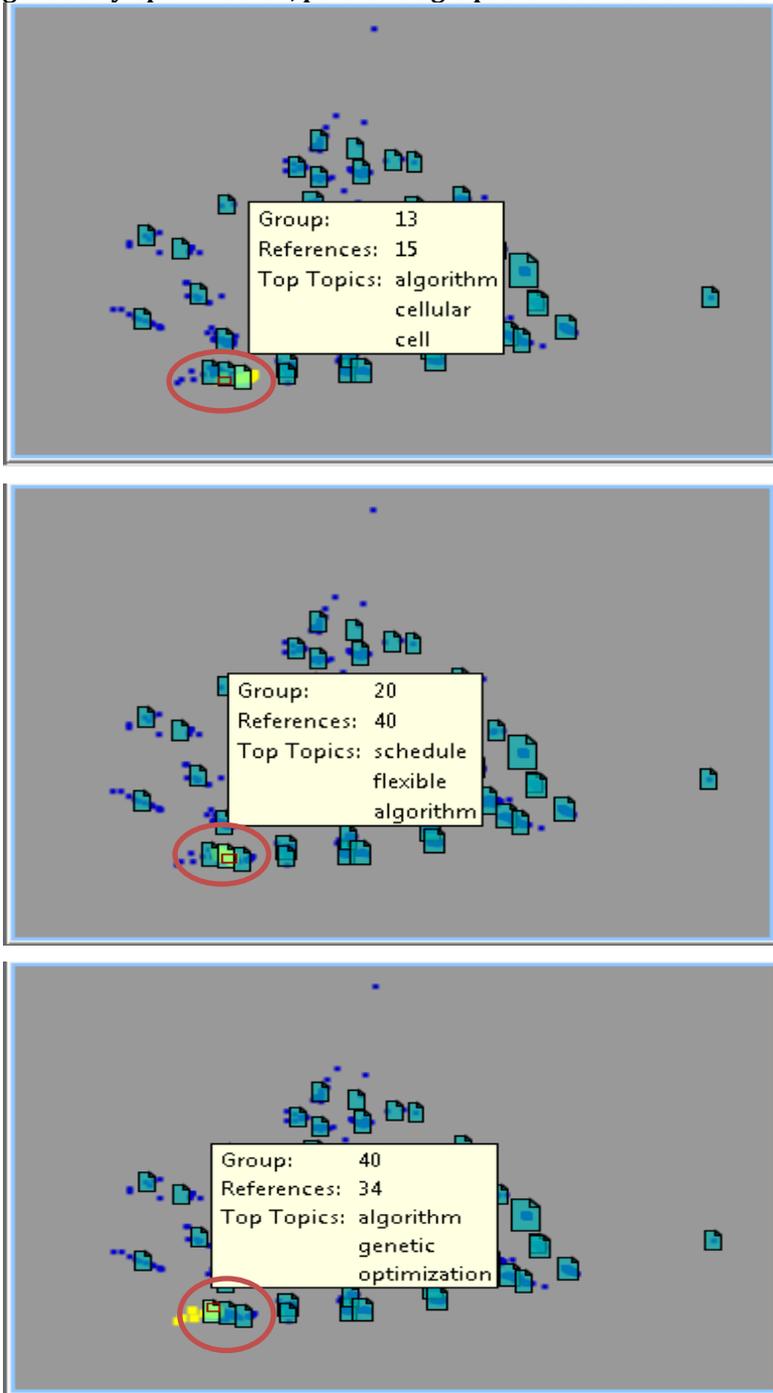
Término	Número de referencias	Término	Número de referencias
production	657	engineer	166
flexible	537	flow	165
machine	492	reconfigurable	164
performance	458	framework	163
algorithm	405	policy	162
product	398	material	162
simulation	384	configuration	152
cost	359	capacity	152
resource	303	cellular	151
dynamic	292	complexity	146
integrate	274	component	144
net	268	sequence	139
optimization	263	constraint	138
plan	258	job	124
petri	252	hybrid	118
decision	243	controller	117
fms	209	rule	116
flexibility	191	genetic	115
management	189	integration	114
cell	185	reconfiguration	109
automate	177	layout	102
quality	175	stage	101
architecture	174	intelligent	101
distribute	173	search	100
network	166	deadlock	99

Fuente: Elaboración propia a partir del software RefViz., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 2004 hasta Marzo de 2014.

A continuación se muestran los clúster que agrupan mayor número de referencias en este análisis:

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.

Figura A1-11. Clúster relacionado con las palabras clave: algoritmo, celular, célula, horario, flexible, genética y optimización, para una agrupación total de 89 referencias

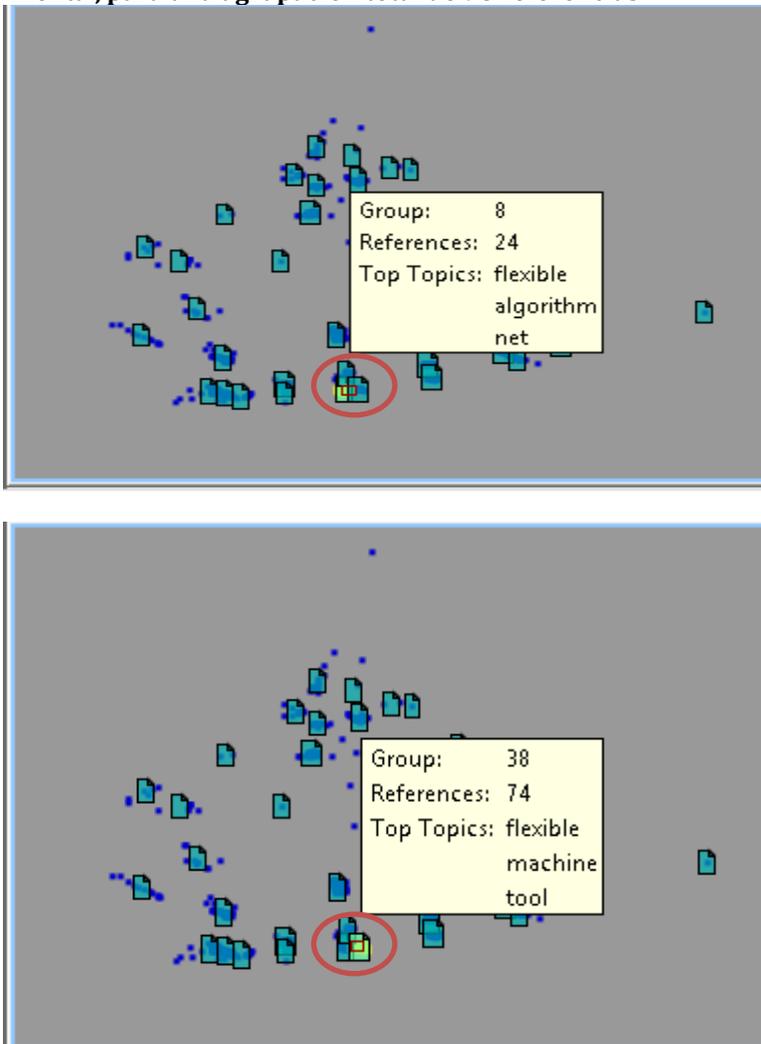


Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BbD: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

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, màquina y herramienta. Para un total de 98 referencias.

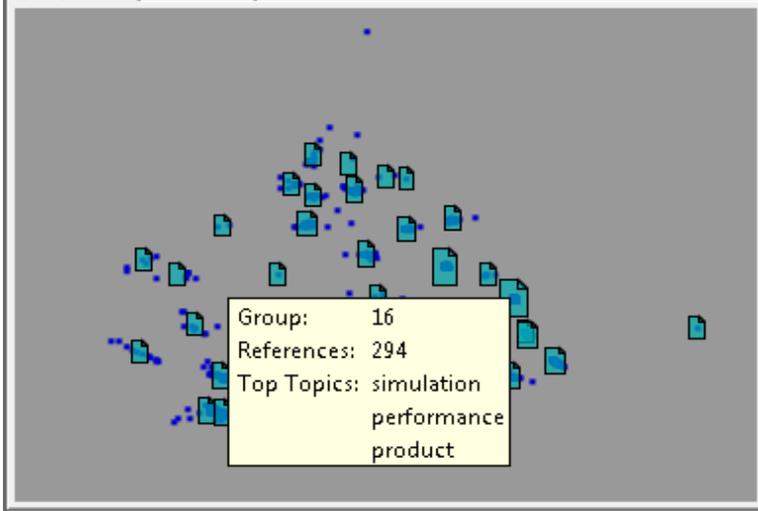
Figura A1-12. Clúster relacionado con las palabras clave: flexible, algoritmo, net, màquina y herramienta., para una agrupación total de 98 referencias



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BDD: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Un tercer cluster que agrupa 294 registros con las palabras clave: simulación, desempeño y producto.

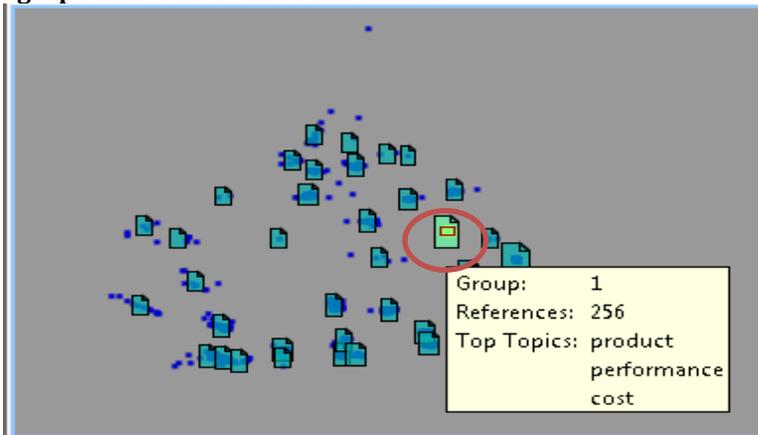
Figura A1-13. Clúster relacionado con las palabras clave: simulación, desempeño y producto., para una agrupación total de 294 referencias



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las Bdd: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Un cuarto grupo que 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.

Figura A1-14. Clúster relacionado con las palabras clave: producto, desempeño y costo., para una agrupación total de 256 referencias.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las Bdd: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Posteriormente se hace un análisis del término en artículos provenientes de Latinoamérica, utilizando como base de datos de búsqueda a la red Scielo, para esta búsqueda se utilizó la ecuación de búsqueda sistemas de manufactura y manufacture system, y posterior a la eliminación de duplicados y de artículos relacionados con geología y producción de enzimas se obtuvieron 65 artículos,

sobre los mismos 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 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, en esta se revisaron las publicaciones de los diferentes grupos encontrándose 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, encontrándose que este último es el único que ha tocado 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. A continuación se encuentran los productos más relevantes de los grupos colombianos con respecto a los sistemas de manufactura.

Tabla A1-3. Productos académicos colombianos relacionados con sistemas de manufactura.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	PRODUCTO	AUTOR	AÑO	REVISTA O EVENTO
GESTION DE LA CALIDAD	Ponencia: Metodología, bajo un enfoque de procesos, para la iniciación de pymes manufactureras en el mejoramiento paso a paso	Jorge Iván Pérez <i>et al.</i>	2010	5ª Conferencia Internacional de las Américas en investigación en producción
	Trabajo de pregrado: Aproximación de la gestión por procesos y del enfoque Lean, a la producción de indigo en una empresa del Valle de Aburrá	Miltón Benavides	2010	Universidad de Antioquia-Ingeniería Industrial
GRUPO DE INVESTIGACION EN TECNOLOGIA PARA LA MANUFACTURA - GITEM	Ponencia: Diseño y montaje de un sistema de manufactura flexible para tornillos de hueso liofilizado	Diego Angarita Fabio Rojas Miguel Angel Salazar	2004	IX Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica
MANUFACTURA FLEXIBLE	Artículo: Planeamiento de Espacio de Estado para modelar el Flujo de Producción en sistema Flexibles de Manufactura	Fernando Alzate Gómez	2001	Scientia Et Technica, vol:7 fasc: 15 págs: 101 - 105
	Artículo: Problema de Programación de Operaciones y Herramientas en un Sistema de Manufactura Flexible: Heurística de Carga Fase I	Fernando Alzate Gómez	2008	El Hombre Y La Máquina, vol:Año XX fasc: 30 págs: 100 - 107

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	PRODUCTO	AUTOR	AÑO	REVISTA O EVENTO
MANUFACTURA FLEXIBLE	Artículo: Problema de formación de lotes de fabricación en un sistema de manufactura flexible: Heurística de selección de partes	Pedro Daniel Medina Eduardo Cruz Jorge Restrepo	2009	El Hombre Y La Máquina vol:XXI fasc: 32 págs: 68 - 75
	Libro resultado de investigación : Libro de Manufactura Flexible	Enis García Carlos Buritica	2007	ISBN: 978-958-8236-96-4 vol: 1 págs: 357
	Libro resultado de investigación : Celdas de Manufactura	Pedro Daniel Medina Eduardo Cruz Manuel Pinzón	2010	ISBN: 978-958-8344-52-2 vol: 1 págs: 220
	Libro resultado de investigación : Definición, Clasificación y Aplicación del Sistema Kanban.	Jorge Restrepo Eduardo Cruz Paula Perez	2007	ISBN: 978-958-8344-05-8 vol: 0 págs: 106
	Libro resultado de investigación : Eficiencia y Productividad - Talleres aplicados a la Ingeniería de Métodos y los sistemas de Producción	Maria Helena Loaiza Germán Cock Jorge Restrepo	2010	ISBN: 958834451-4 vol: 0 págs: 39
ZEN TECH - MEJORAMIENTO Y TECNOLOGIA	Publicado en revista especializada: Manufactura Esbelta: nueva alternativa de mejoramiento de procesos de producción con conocidas herramientas de ingeniería industrial	Jorge Silva	2004	Ingenieria Y Universidad, vol:7 fasc: 2 págs: 193 - 203
	Publicado en revista especializada: Programación de la Producción en Sistemas de manufactura tipo taller con el algoritmo combinado cuello de botella móvil y búsqueda tabú.	Rodrigo Britto Gonzalo Mejía Juan Pablo Caballero	2007	Ingenieria Y Universidad, vol:11 fasc: págs: 203 - 224
	Publicado en revista especializada: Redes de Petri y algoritmos genéticos, una propuesta para la programación de sistemas de manufactura flexible	Juan Pablo Caballero Gonzalo Mejía	2006	Ingenieria Y Universidad, vol:10 fasc: 1 págs: 55 - 75
	Publicado en revista especializada: Evolución de un sistema de manufactura flexible (FMS) a un sistema de manufactura integrada por computador (CIM)	Carlos Fúqene Santiago Aguirre Nazly Cordoba	2007	Ingenieria Y Universidad, vol:11 fasc: 1 págs: 57 - 69
	Ponencia: Myopic Behaviour in Holonic Multiagent Systems for Distributed Control of FMS	Emmanul Adam Gabriel Zambrano Cyrille Pach Thierry Berger Damien Trentesaux	2011	9th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, Advances In Intelligent And Soft Computing, vol: 90 págs: 184,

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	PRODUCTO	AUTOR	AÑO	REVISTA O EVENTO
ZENTECH - MEJORAMIENTO Y TECNOLOGIA	Trabajo de conclusión de curso de pregrado : Procedimientos y Herramientas para la implantación de Lean Manufacturing en la Pequeña Industria Maderera Colombiana.	Martha Helena Romo Lucero David Leonardo Corso Díaz	2004	Pontificia Universidad Javeriana-Industrial Ingeniería
	Trabajo de conclusión de curso de pregrado : Aplicación y fortalecimiento de los principios del sistema global de manufactura en el proceso de pintura de GM Colmotores	María Andrea Acevedo Jorge Gabriel Becerra	2004	Pontificia Universidad Javeriana-Industrial Ingeniería
	Trabajo de conclusión de curso de pregrado : Aplicación de las herramientas de Manufactura Lean en Trenzados y Cordones Ltda	Natalia Pulido Sepúlveda Santiago Beltrán Patiño	2004	Pontificia Universidad Javeriana-Industrial Ingeniería
	Trabajo de conclusión de curso de pregrado: Aplicación de Herramientas de Manufactura Esbelta en el proceso de Fabricación de filtros de aceite sellados para automotores en Interfil LTDA.	Jose Luis Carulla Jaime Guzmán Borrás	2005	Pontificia Universidad Javeriana-Industrial Ingeniería
GRUPO DE INVESTIGACION EN GESTION DE PRODUCCION Y LOGISTICA	Publicado en revista especializada: Benchmarking sobre Lean Manufacturing en el sector de la confección en la ciudad de Medellín	Juan Arrieta Maria Jimena Romano Victoria Botero	2010	Journal Of Economics Finance & Administrative Science, vol:15 fasc: 28 págs: 141 - 170
	Publicado en revista especializada: A particle swarm optimization algorithm for minimizing makespan of nonidentical parallel batch processing machines	Purushothaman Damodaran Don Asanka Omar Ghrayeb César Vélez	2012	International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, vol:58 fasc: 9-12 págs: 1131 - 1140
	Ponencia: Benchmarking Methodology on Lean Manufacturing in the Apparel Industry	Juan Arrieta	2011	21st International conferences on Production Research ICPR 21
	Trabajo de conclusión de curso de pregrado : Benchmarking en Lean Manufacturing en el sector de la confección: antecedentes y metodología	María Clara Uribe Londoño	2008	Universidad EAFIT: Ingeniería de Producción.
	Trabajo de grado de maestría o especialidad médica : Estudio sobre la aplicacion de lean manufacturing en el sector de la salud en la ciudad de medellin	Emerson Andres Giraldo Betancur	2013	Universidad EAFIT: Ingeniería de Producción.
	Trabajo de grado de maestría o especialidad médica : estudio	Juliana Arango Uribe	2013	Universidad EAFIT: Ingeniería de Producción.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	PRODUCTO	AUTOR	AÑO	REVISTA O EVENTO
	de la aplicación de manufactura esbelta, lean manufacturing en el sector hotelero en la ciudad de Medellín			ción.
	Trabajo de grado de maestría o especialidad médica : estudio de la aplicación de manufactura esbelta, lean manufacturing en el sector de transporte de mercancías "courier" en la ciudad de medellín	Lucas Daniel Bencur Latorre	2013	Universidad EAFIT: Ingeniería de Producción.
GRUPO DE PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD	Publicado en revista especializada: Aplicación de algoritmos evolutivos para la optimización multiobjetivo del proceso de inyección de plástico	Carlos Paternina Miguel Jaller Yezid Donoso Elyn Solano	2010	Revista Internacional De Investigación De Operaciones, vol:1, págs: 40 - 48
	Publicado en revista especializada: Ant colony optimization algorithm for a Bi-criteria 2-stage hybrid flowshop scheduling problem	Carlos Paternina Laila Cure Diana Ramirez William Miller	2011	Journal Of Intelligent Manufacturing, vol:22 fasc: 5 págs: 815 - 822
	Publicado en revista especializada: Un enfoque de redes neuronales hacia el control de calidad para procesos multivariados basados en estimación de densidades.	Carlos Paternina Eduardo Lerin Erika Marceles	2001	Ingeniería & Desarrollo, vol:9 fasc: N/A págs: 78 - 87
	Publicado en revista especializada: A multi-agent reinforcement learning approach to obtaining dynamic control policies for stochastic lot scheduling problem	Carlos Paternina Tapas K Das	2005	Simulation Modelling Practice And Theory, vol:13 fasc: 5 págs: 389 - 406
	Publicado en revista especializada: Competitiveness in the Supply Chain Management: An overview in an Oils' and Greases' Manufacturer	Johanna Amayo Brayan Bravo Krizztie Cortes Melyna Aguilar	2007	Ingeniería & Desarrollo, vol:22 fasc: 1 págs: 38 - 53
	Publicado en revista especializada: Non-linear programming model for cost minimisation in a supply chain, including non-quality and inspection costs	Gina Maria Galindo Pacheco	2012	International Journal Of Operational Research, vol:14 fasc: 3 págs: 301 - 323
GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN GESTION,	Publicado en revista especializada: Manufactura biológica e inteligente: atributos de la vida aplicados al desarrollo tecnológico	Claudia Jiménez Oscar Castellanos Alexandra Montoya	2009	Ingeniería E Investigación, vol:29 fasc: 2 págs: 127 - 134

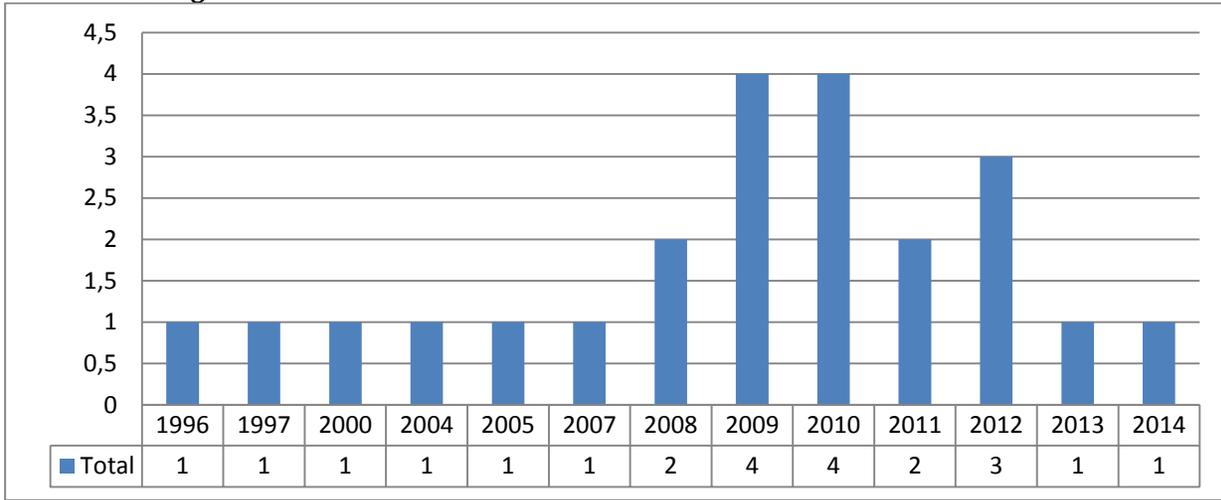
GRUPO DE INVESTIGACIÓN	PRODUCTO	AUTOR	AÑO	REVISTA O EVENTO
PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD - BIOGESTION	Ponencia: Alternativas para el manejo de la producción sistemas de manufactura biológica	Oscar Castellanos Alexandra Montoya Sindy Serrato	2010	II Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación
	Ponencia: Aproximación de los modelos biológicos a la comprensión de las Organizaciones	Oscar Castellanos Alexandra Montoya Iván Montoya	2009	XIII Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas, ACACIA, La administración frente a la globalización: Gobernabilidad y desarrollo
GRUPO DE INVESTIGACION EN LOGISTICA Y PRODUCCION - UNIVERSIDAD DEL VALLE	Publicado en revista especializada: Manufactura ágil: Aclaraciones y Confusiones	Pablo Manyoma Angélica Alarcón	2008	Heurística, vol:15
	Publicado en revista especializada: Medición de la flexibilidad en la manufactura	Pablo Manyoma	2011	Revista Eia, vol:16, págs: 61 - 76
	Ponencia: Completo : Analizando las decisiones de flexibilidad en manufactura: una perspectiva desde las opciones reales	Diego Manotas Pablo Manyoma	2007	XIII International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM)
	Ponencia: Planning and setting of production systems in manufacturing flexible	Juan Pablo Orejuela Juan Bravo Zuzet Meduina	2009	20th International Conference on production research

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de productos de los grupos de investigación colombianos ScienTi, consultada el 5 de Mayo de 2014.

SISTEMAS DE MANUFACTURA CON APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOLÓGICOS

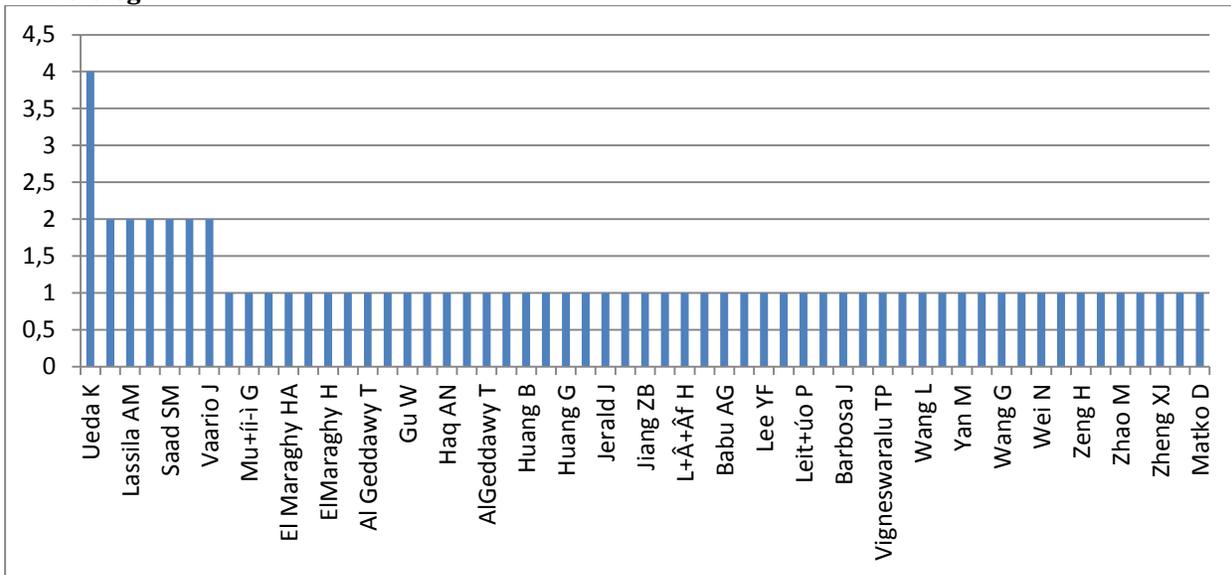
En la tercera temática que cuenta con el objetivo de identificar el estado del arte de los sistemas de manufactura con aplicación de elementos biológicos se utilizó la ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND bio*, obteniéndose un total de 30 publicaciones, a las que se les aplicó un filtro referente a la eliminación de artículos referentes a la reproducción de enzimas y células. Obteniendo un total de 24 publicaciones. Los indicadores para las mismas obtenidos mediante Excel®, se muestran a continuación:

Figura A1-15. Evolución en el tiempo de las publicaciones, ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND biolog*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BDD: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

Figura A1-16. Principales autores de las publicaciones, ecuación de búsqueda: “manufacturing system” AND biolog*



Fuente: Universidad Nacional de Colombia., cálculos basados en la información de las BDD: Scopus®, cobertura: 1994 hasta marzo 2014; software de análisis Excel®.

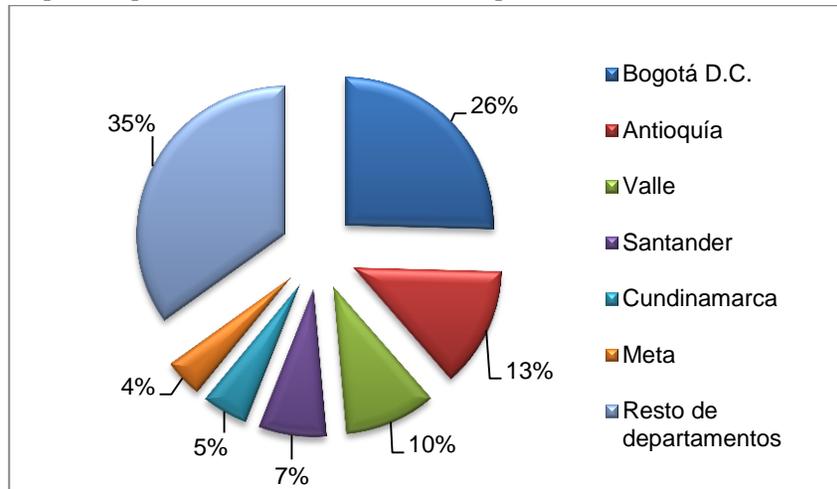
ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR EMPRESARIAL COLOMBIANO.

Los resultados de la última encuesta manufacturera, muestran el comportamiento del sector manufacturero colombiano para el año 2011 (DANE, 2013), en el cual se destaca de forma general:

- Los resultados definitivos de la Encuesta Anual Manufacturera 2011 se refieren a un total de 9.8091 establecimientos
- La producción bruta del sector, incluyendo los establecimientos de mezcla de combustibles, ascendió a \$192,9 billones. El valor agregado alcanzó un monto de \$76,3 billones.
- Geográficamente, 71,7% del personal ocupado por la industria nacional se concentró en los establecimientos ubicados en las áreas metropolitanas de Bogotá D.C. (40,4%), Medellín (19,7%) y Cali (11,6%).

La distribución del PIB Departamental para Colombia se puede observar en la siguiente gráfica, en donde para el año 2010 Bogotá aportó el 25,4%, seguido por Antioquía con el 13% (DANE, 2012).

Figura A2-1. Participación porcentual en el PIB Nacional para el año 2010.



Fuente: Tomado de DANE-Dirección de síntesis y cuentas nacionales (2012).

Debido a esto, según la Secretaria Distrital de planeación(2010) Bogotá es considerado el principal centro empresarial del país y se caracteriza por el predominio de actividades del sector servicios con un 46%, comercio con un 16% e industria con un 14%. En Bogotá se localiza el 27% de las empresas de Colombia, con la ventaja de una alta concentración de industrias y la cercanía con los clientes potenciales y con la desventaja de la infraestructura de transporte (movilidad). Esta misma publicación menciona que en 2008 se crearon 40900 empresas en el Distrito Capital.

Tabla A2-1. Exportaciones de los principales sectores no mineros en 2012 para Bogotá en FOB \$US

Sector	Valor FOB US\$
Flores y plantas vivas	\$ 575.911.549,00
Textiles y confecciones	\$ 324.654.649,00
Metalmecánica	\$ 265.945.968,00
Químico	\$ 262.844.949,00

Sector	Valor FOB US\$
Farmacéutico	\$ 212.191.410,00
Instrumentos y aparatos	\$ 176.652.858,00
Agroindustrial	\$ 147.835.179,00
Autopartes	\$ 127.081.710,00
Plástico y caucho	\$ 124.435.303,00
Otros	\$ 756.189.665,00
Total	\$ 2.973.743.240,00

Fuente: Adaptado de Proexport (2012)

Tabla A2-2. Principales destinos de las exportaciones no mineras en 2012 para Bogotá.

País	Valor FOB US\$
Estados Unidos	\$ 732.770.284,00
Ecuador	\$ 444.763.050,00
Venezuela	\$ 443.299.924,00
Perú	\$ 171.118.565,00
Panamá	\$ 153.171.945,00
México	\$ 137.750.246,00
Chile	\$ 79.291.967,00
Brasil	\$ 72.082.884,00
China	\$ 58.655.621,00
Otros	\$ 680.838.754,00
Total	\$ 2.973.743.240,00

Fuente: Adaptado de Proexport (2012).

El compendio de los perfiles sectoriales, con los que actualmente se clasifica en Colombia el sector empresarial de manufactura se encuentra en el libro Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección publicado por el Departamento Nacional de Planeación en el año 2004. A continuación se muestra la caracterización de cada una de estas cadenas, exceptuando la cadenas de servicios de educación y turismo, ya que estas no están incluidas en el objeto del presente estudio, basándose en documentos disponibles en sobre las mismas.

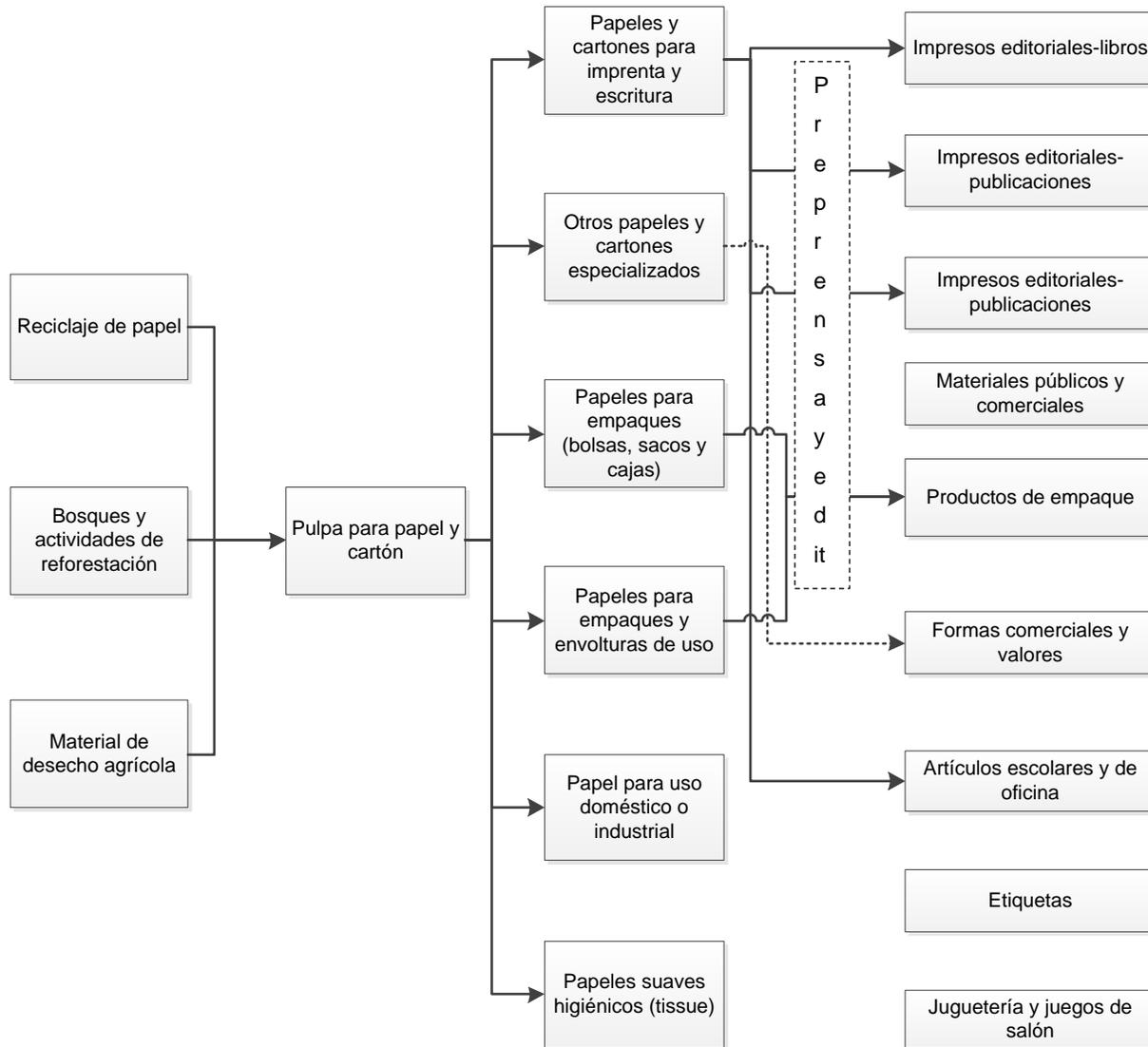
A. Cadena de papel y artes gráficas.

La estructura de la cadena productiva del papel y las artes gráficas se divide en dos etapas, la primera es la producción de papel y cartón cuya materia prima puede ser la madera, el bagazo de caña u otras fibras las cuales se pueden o no mezclar con papel reciclado, esta materia prima se mezcla con soda cáustica o sulfato de sodio y se cocina bajo presión para la obtención de pulpa sin blanquear, esta pulpa la mayoría de las veces pasa al proceso de blanqueado con peróxido de hidrógeno, posteriormente la pulpa se disuelve en agua en una concentración inferior a 10% y se le agregan aditivos como colorantes y caolines para pasarla al proceso de formación donde se obtiene el papel en capas, finalmente se lleva un proceso de secado y terminado donde se realizan operaciones sobre el papel en bruto como la impresión de rayas en el papel, corte, perforación, plegado, pegado, troquelado y encuadernación (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2004a).

La segunda etapa corresponde a la elaboración de productos impresos de la industria gráfica, esta se divide en tres etapas: i) Preprensa que abarca los procesos de preparación como el diseño, diagramación, autoedición, montaje y fotomecánica, ii) Impresión es la actividad mediante la cual la tinta con ayuda de un portaimagen es puesta por presión sobre un sustrato para el caso el papel y iii) Postprensa y terminado incluye el cosido, pegado, plegado, empaçado, entre otros.

A partir de la identificación de los procesos productivos del papel y la industria gráfica, se elaboró la estructura de la cadena productiva que recoge las principales líneas de producción y los diferentes productos del sector a través de 17 eslabones, esta se presenta en la siguiente figura.

Figura A2-2. Estructura del cadena productiva de la cadena de papel y artes gráficas.



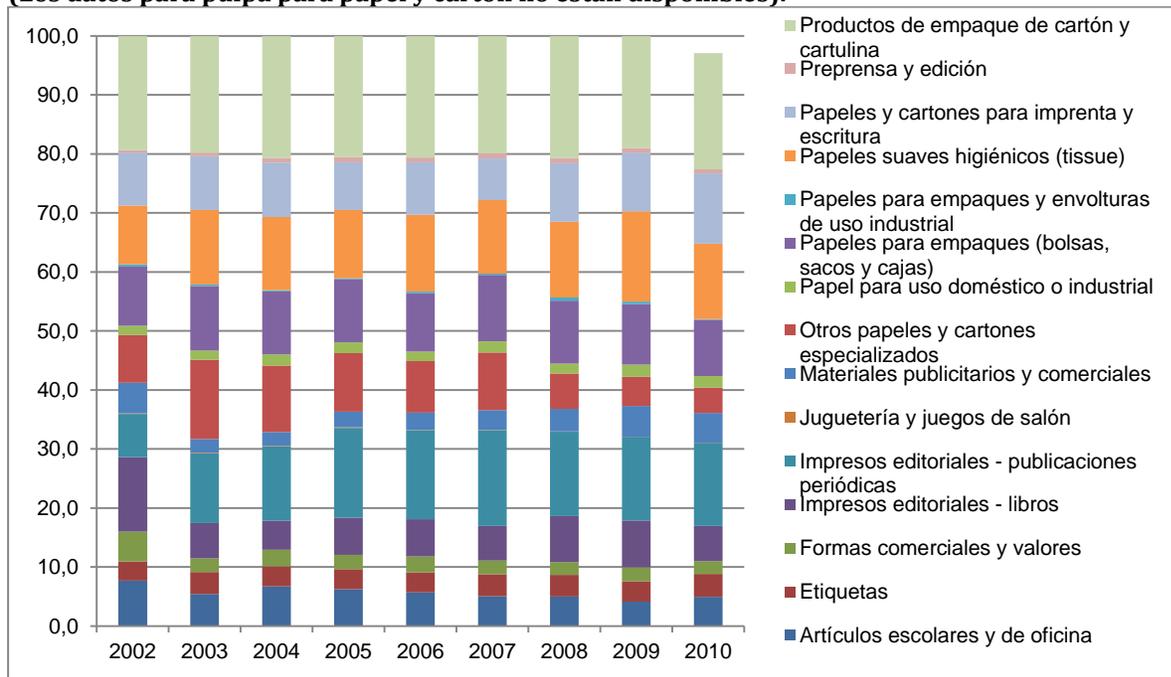
Fuente: Tomado de DNP (2004).

Para Colombia el DNP (2004) menciona como fortalezas de esta cadena: su integración vertical, un alto conocimiento del mercado nacional, la presencia de empresas líderes a nivel mundial, una alta diversificación de productos, variedad de materias primas disponibles en el país y competitividad de los productos internacionalmente. En este mismo documento se presentan como debilidades de

la cadena: bajo consumo per cápita en el país, escasez de recursos humanos calificados, falta de financiación de mediano y largo plazo, alto costo de la reconversión industrial, baja tasa de reforestación, poca organización de las empresas recicladoras y falta de abastecimiento de materias primas. Para este sector industrial según la Secretaria de Desarrollo Económico (2010) en Colombia la producción entre 2004 y 2007 tuvo un incremento sostenido, con un pico en 2005 cuando la producción aumentó en más de 200 mil millones de pesos, a la par el empleo pasó de 12.000 a cerca de 16.000 puestos de trabajo en el país.

En el documento Excel del DNP (2012) que actualiza los datos de la cadena se pueden observar los principales subsectores de la misma y su participación en el total de la cadena que se muestra en la figura 3, teniendo en cuenta que los datos de la producción de pulpa no se encontraban disponibles, se observa una alta participación de los producto de empaque de cartón y cartulina y los impresos editoriales- publicaciones periódicas.

Figura A2-3. Porcentaje de participación en el valor de producción en fábrica de las principales variables de la cadena Pulpa, Papel, Imprenta, Editoriales e Industrias Conexas (2002-2010) en Colombia. (Los datos para pulpa para papel y cartón no están disponibles).



Fuente: Adaptado de Análisis de Cadenas productivas para Colombia DNP (2011). Disponible en <https://www.dnp.gov.co/Programas/DesarrolloEmpresarial/CadenasProductivas.aspx>

La fabricación de papel y cartón se concentra en unas pocas grandes empresas ubicadas por orden de participación en el sector en los departamentos de Valle del Cauca, Antioquia y el Distrito Capital de Bogotá. Por su parte la actividad de las empresas editoriales y de impresión son en su mayoría Pymes ubicadas en Bogotá, con actividades de preprensa y edición, libros, publicaciones y materiales comerciales y publicitarios (Secretaria de Planeación Distrital, 2009).

Finalmente, en la Agenda interna para la productividad y la competitividad de la región Bogotá-Cundinamarca construida por el DNP en el 2007 la cadena de papel, imprenta, editoriales y artes gráficas propone como apuesta productiva mejorar la competitividad de la misma teniendo en cuenta en primer lugar sus ventajas como el impacto multiplicador de la demanda de las empresas de la región que forman parte de esta cadena pues involucran a más de 1.000 empresas proveedoras que

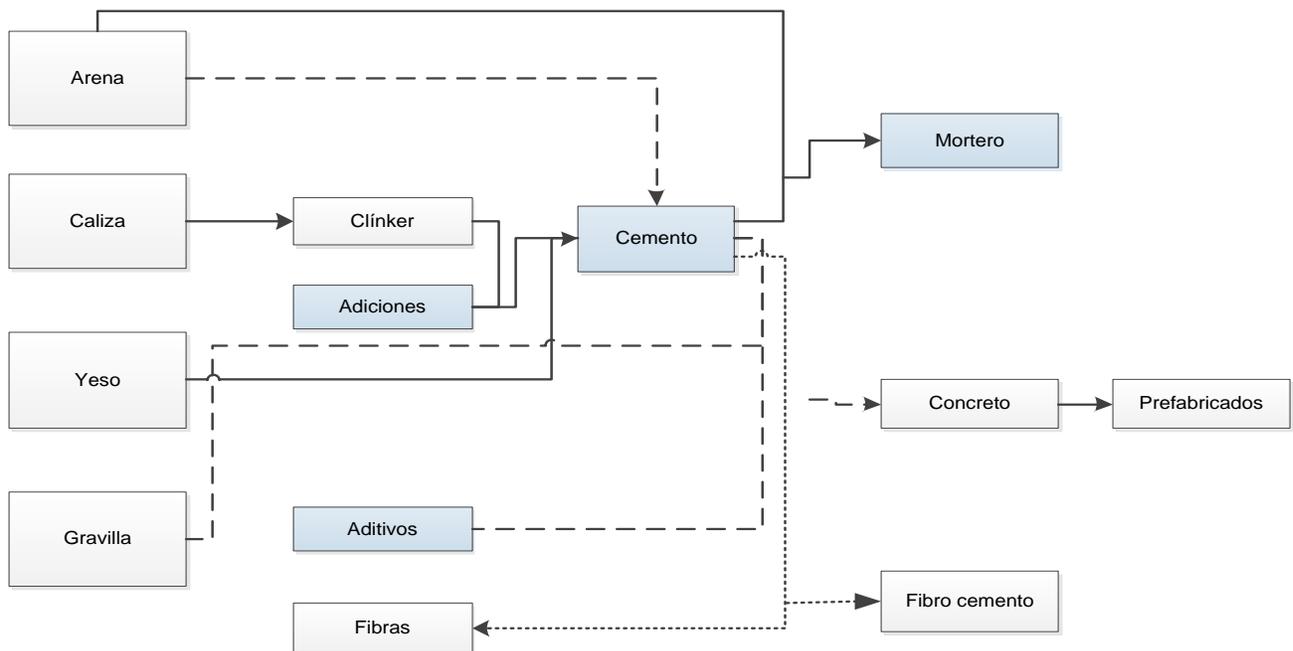
contribuyen con cerca del 9% del empleo regional, el valor total de la cadena y su potencial exportador y en segundo lugar sus necesidades entre las que se mencionan mayor infraestructura para investigación y desarrollo, mejorar la investigación de mercados, transferencia de conocimiento entre los eslabones, creación de incentivos fiscales y mejorar sus asociatividad.

B. Cadena de construcción e ingeniería civil.

El DNP (2004b) llama a esta cadena la cadena del cemento y sus aplicaciones que incluye los productos agrupados en diez eslabones, a saber: caliza, yeso, arena, gravilla, clinker, cemento, concreto, asbesto (fibras), fibrocemento y prefabricados. Este documento menciona que la producción de cemento y sus aplicaciones posee un estrecho vínculo con la construcción por lo que se convierte en un sector estratégico para la industria.

El proceso productivo del cemento y sus aplicaciones se divide en 4 etapas las cuales son: i) Trituración de calizas, ii) Mezclado que incorpora yeso, agua, arena y gravilla en proporciones según el tipo de producto que se desea obtener, iii) Molienda y iv) Calentamiento. En la estructura simplificada de la cadena (Figura 4.) se ilustran las materias primas que alimentan a cada eslabón de la cadena (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2004b).

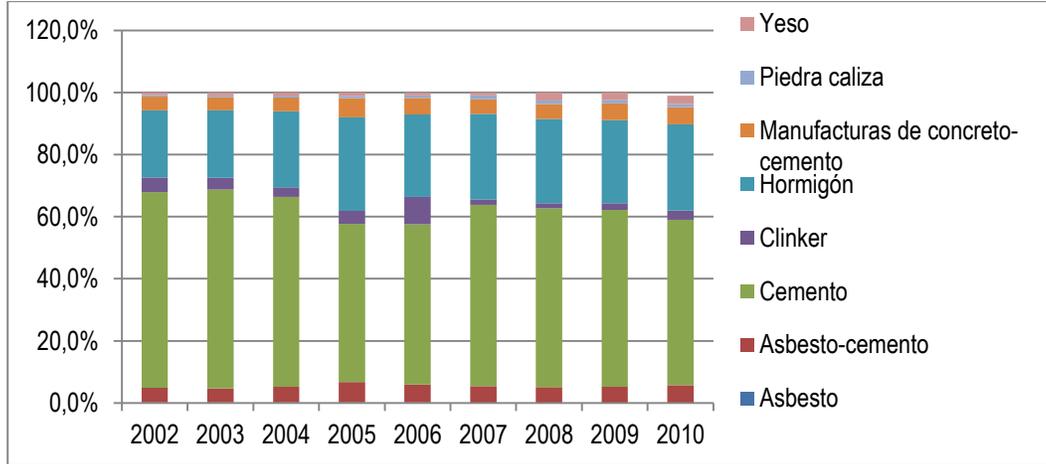
Figura A2-4. Estructura de la cadena productiva de la construcción e ingeniería civil.



Fuente: Tomado de DNP (2004b)

Entre las industrias que componen esta cadena para Colombia la de cemento posee la mayor participación: 61% de la producción, seguida por el hormigón con un 21% y el fibrocemento con un 6%. La evolución de la participación de los eslabones para Colombia en esta cadena se muestran en la figura 6, donde se observa una marcada participación del cemento.

Figura A2-5. Porcentaje del valor producción en fábrica de las principales variables cadena Cemento y sus Aplicaciones (2002-2010) en Colombia, los datos correspondientes a arena y gravilla no están disponibles.



Fuente: Adaptado de la actualización de cifras del DNP para la cadena de cementos y sus aplicaciones (DNP, 2012).

C. Cadena de cuero y calzado

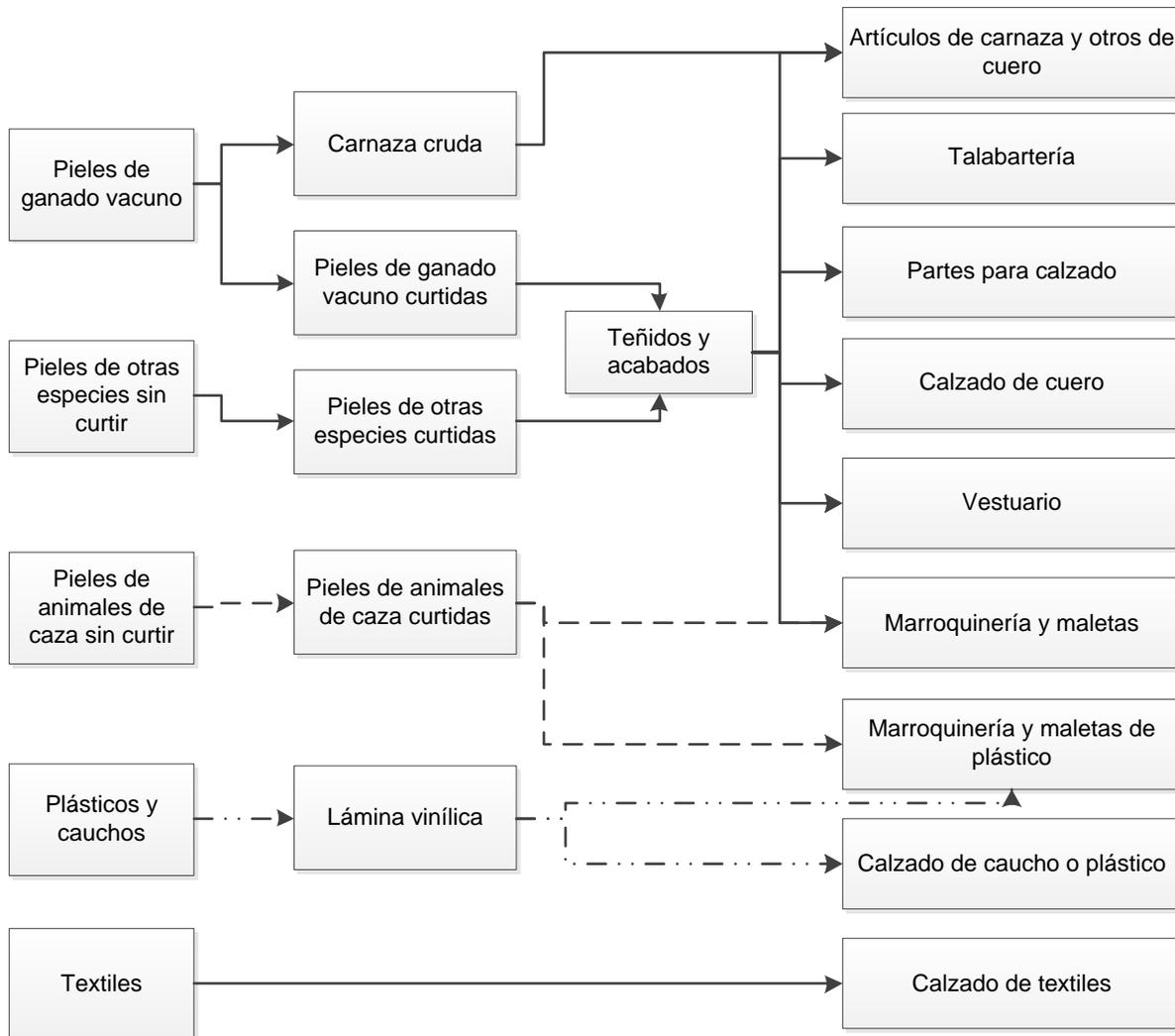
La cadena de cuero y calzado tiene cuatro grandes actividades: la producción de cuero crudo, el procesamiento de la piel en la actividad de curtiembre, la producción de productos de marroquinería, y talabartería y la industria del calzado. Este sector a nivel mundial y nacional se caracteriza porque un alto porcentaje de la producción de cueros y pieles se dirige a la fabricación de calzado. En Colombia esta cadena depende de la matanza de ganado bovino aunque esta no puede ser aprovechada completamente por el bajo cuidado del cuero durante el proceso de levante del ganado vacuno y su sacrificio. Para Colombia entre 2002 y 2005, la balanza comercial del sector fue positiva, con exportaciones de 187 millones de dólares e importaciones de 130 millones de dólares en promedio (DNP, 2004c).

Para Colombia el eslabón con mayor participación es calzado de cuero (30,4%), seguido por pieles curtidas de ganado vacuno (26,3%). Por línea de producción se observa que los eslabones asociados con la elaboración de calzado participan con 39,8% de la producción, el eslabón de elaboración de productos de marroquinería participa con un 10,6%, los artículos de carnaza con un 5,4%, los productos de vestuario con un 2,3% y los productos de talabartería tienen una participación menor a 1% (DNP, 2004c). Las asociaciones nacionales para esta cadena son Asociación Colombiana de Industriales del calzado, el cuero y sus manufacturas (ACICAM), el Centro de Desarrollo Tecnológico para las industrias del calzado, cuero y afines (CEINNOVA) y la Cámara Sectorial del Cuero de la ANDI (DNP, 2007c)

El proceso de producción como se mencionó anteriormente se compone de 4 grandes actividades: i) Producción de cuero crudo que se lleva a cabo después del sacrificio de los animales, ii) Curtiembre en la que la principal materia prima es la piel cruda de origen bovino, la cual se somete a acciones físico-químicas para convertirla en un material duradero mediante la ribera, el curtido y el teñido y acabado, iii) Marroquinería y talabartería en esta parte del proceso se producen las manufacturas de cuero y prendas de vestir de este material y comprende el diseño, modelo, cortado, guarnecido, terminado y empaque y iv) Calzado en la cual se incorporan materias primas diferentes al cuero como textiles, caucho y plástico, este proceso comienza con la fabricación de suelas, posteriormente

se corta la pieza previamente patronada y se termina con el guarnecido. A partir de estas actividades se construye la estructura simplificada de la cadena que se encuentra en la figura 8.

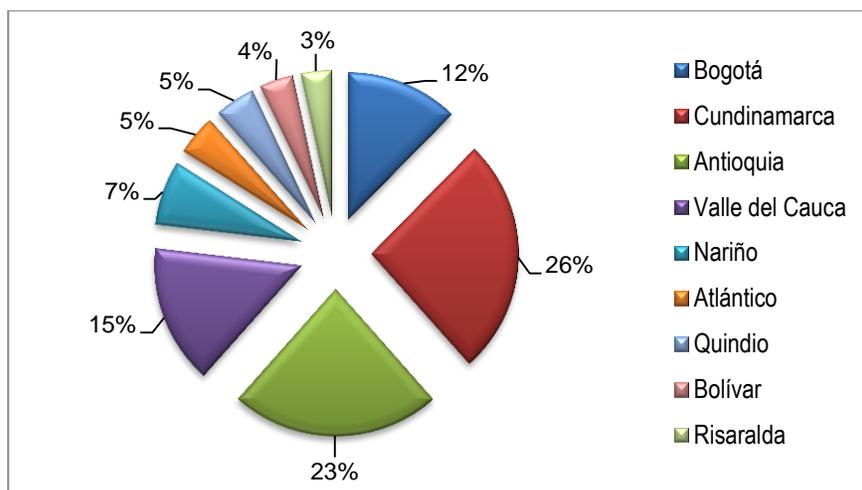
Figura A2-6. Estructura de la cadena productiva de cuero y calzado.



Fuente: Tomado de DNP (2004c)

Según la Agenda interna de productividad y competitividad para el sector (DNP, 2007c) solo el 20% de la producción de Cundinamarca y Bogotá está mecanizada, sin embargo la capital es líder en la producción de partes para la fabricación de calzado, artículos de carnaza y de marroquinería y maletas de plástico, como se observa en la siguiente gráfica el total de producción de la cadena lo lideran Cundinamarca y Antioquia (Figura 9).

Figura A2-7. Participación del total de la producción de la cadena del cuero y del calzado para Colombia.



Fuente: Adaptado de DNP (2007).

La cadena productiva del cuero, está ubicada por la agenda interna de productividad Bogotá - Cundinamarca dentro de los sectores promisorios, estos sectores se identifican como aquellos que permitirán un alto desarrollo económico en el futuro, específicamente para esta cadena se tiene como objetivos el de incorporar nuevas tecnologías limpias que hagan de ella una actividad sostenible ambientalmente (Secretaría distrital de planeación, 2009). y el de promocionar de las exportaciones de esta cadena, en particular del subsector de fabricación de bolsos y marroquinería teniendo en cuenta su ventaja en cuanto a la calidad y diseño de los productos y la necesidad de eliminar el cuello de botella en cuanto al procesamiento del cuero y la antigüedad de la maquinaria (DNP, 2007).

La estructura del sector es de tipo microempresarial a escala nacional, en donde una parte importante de las industrias son artesanales, con poca inversión en I+D pero con tendencia a la modernización en los procesos intermedios, el principal problema de esta cadena es el incremento en las importaciones (Secretaría distrital de planeación, 2009).

D. Cadena Metalmecánica

En Colombia el sector metalmecánico entre los años 2002 y 2009 empleó aproximadamente a 350.000 personas y generó ventas anuales cercanas a los 24,5 billones de pesos, además este sector en los dos últimos años, ha mostrado un mayor crecimiento del PIB que el PIB total, representando el 12% del producto interno bruto industrial del país. En el país existen alrededor de 635 empresas dedicadas a la actividad metalmecánica ubicadas principalmente en: Bogotá, Medellín, Cali y en menor proporción en la costa Atlántica, y Santanderes (Velosa & Sánchez, 2012).

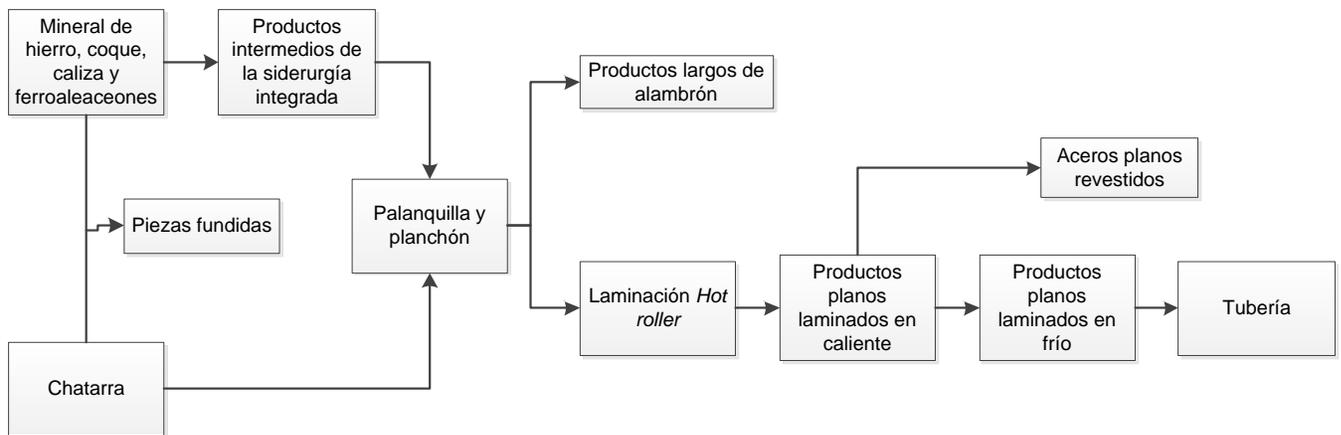
Para el DNP (2004d) esta cadena se centra en la producción de artículos metálicos resultado de cambios en forma y/o volumen por deformación mecánica de los metales y la maquinaria no eléctrica para usos industriales a través del ensamble de piezas en su gran mayoría metálicas.

El proceso productivo como en las anteriores cadenas se divide en eslabones que son grupos de productos homogéneos en cuanto a sus características técnicas de producción como materias primas, usos finales o intermedios y tecnologías productivas. Para el DNP (2004d) esta cadena tiene

como eslabones: artículos para oficina, herramientas y artículos para hogar y ferretería, artículos agropecuarios, artículos de aluminio, envases metálicos, muebles metálicos, maquinaria para otras industrias, máquinas primarias, maquinaria para el sector alimentos, para la minería, agropecuaria, para petroquímica, para metalurgia y madera-textil-impresión, para oficina, para el comercio, y maquinaria para la construcción, estos eslabones se pueden observar gráficamente en la Figura A2-8.

Los insumos para este proceso productivo se obtienen de la cadena siderúrgica de donde se obtienen productos como varillas, láminas, rollos y alambres. Otras materias primas de la cadena son la colada y el polvo ferroso. Posteriormente la transformación de estos elementos se lleva a cabo a través de los procedimientos de: i) Laminado: consistente en pasar metal, previamente calentado, entre dos cilindros que rotan en sentidos contrarios y separados por un hueco algo menor que el grueso del metal entrante, ii) Reducción: consiste en eliminar de una pieza unas zonas determinadas, con el fin de conseguir una forma o acabado prefijado, este proceso se puede llevar a cabo con viruta en la que se emplean herramientas de corte o por procedimientos químicos, eléctricos y electroquímicos y iii) Fundición es aquel mediante el cual se producen formas por fusión y vertimiento de materiales, tanto ferrosos como no ferrosos en estado líquido, en una cavidad, para que se solidifique en una forma útil. Finalmente estas piezas se llevan a una operación de unión que puede darse por cohesión, acoplamiento y soldadura, principalmente.

Figura A2-8. Estructura simplificada de la cadena siderúrgica.



Fuente: Tomado de DNP (2007d)

Según el DNP (2007d) la producción de la industria siderúrgica se concentra en los departamentos de Boyacá, Bogotá, Atlántico, Antioquia y Bolívar, por su parte la industria metalmeccánica está localizada principalmente en Bogotá, Antioquia, Valle y Cundinamarca, de esta la producción de tubería se concentra en el departamento de Bolívar, con el 45,3% de la producción, seguido por Bogotá con el 40,2%; la elaboración de aceros planos revestidos se concentra principalmente en Bogotá (35,7%), Atlántico (33,1%) y Antioquia (30,8%); la producción de artículos agropecuarios está concentrada en Bogotá (35,6%), Antioquia (24,9%) y Valle del Cauca (10,7%); el 43,7% de la producción de envases metálicos se realiza en Bogotá y los muebles metálicos se producen principalmente en Bogotá (34,6%).

Como se observa según estos datos un gran porcentaje de la producción de esta cadena o por lo menos de los eslabones más representativos tiene una alta concentración en la capital, en cuanto a ex-

portaciones Bogotá con 61 millones de dólares fue el principal exportador de maquinaria y sus partes en el 2011, el porcentaje de exportaciones para el sector por Departamentos se muestra en la figura 11 donde sobresale la presencia de Bogotá en los 3 eslabones (Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos, 2012).

Figura A2-9. Participación de las exportaciones por Departamento para la cadena metalmecánica en el año 2011.



Fuente: Tomado de Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos (2012).

La cadena metalmecánica incluye al sector de Auto partes y Automotores que es especialmente importante por lo que en muchos estudios se toma como una cadena aparte, por esto se hará a continuación un análisis particular para la misma.

La producción de la industria de vehículos y partes en Colombia se concentra en Bogotá-Cundinamarca, Antioquia y Risaralda y en la actividad de fabricación de carrocerías y ensamblaje de buses articulados. En el país la construcción y reparación de buques y otras embarcaciones se concentra en Bolívar y Atlántico, la fabricación y reparación de naves en Bogotá, las carrocerías para vehículos y fabricación de piezas y partes para automotores y sus motores en Bogotá-Cundinamarca y la fabricación de vehículos y otros tipos de transporte en Bogotá-Cundinamarca y Antioquia (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012d).

En cuanto a exportaciones Bogotá es el principal exportador agregado con exportaciones en 2011 de 724 millones de dólares, y también en los rubros de autopartes con exportaciones en 2011 de 110 millones de dólares, y de aviones y sus partes con exportaciones en 2011 de 507 millones de dólares, a la capital la sigue Cundinamarca en el sector de camiones, tractores y similares con exportaciones en 2011 de 100 millones de dólares, Antioquia de automóviles particulares con exportaciones en 2011 de 79 millones de dólares, Risaralda de motocicletas con exportaciones en 2011 de 14 millones de dólares y Valle del Cauca de autopartes con exportaciones en 2011 al mundo de 91 millones de dólares (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012d).

En esta cadena se encuentran tres grandes industrias quienes manejan los más altos montos de activos, y se especializan en la fabricación de carrocerías, remolques y semirremolques, las otras empresas son Pymes concentradas en la fabricación de autopartes y accesorios (Cámara de Comercio de Bogotá, 2009).

E. Cadena de productos alimenticios

El DNP no tiene una cadena que agrupe a todos los productos alimenticios si no que considera 11 cadenas que se podrían agrupar bajo este título, a continuación se hace una breve explicación de cada una de estas cadenas:

Molinería: esta cadena comprende desde la producción y procesamiento de los cereales, hasta la fabricación de alimentos como pan, pastas y cereales para desayuno.

La cadena del trigo y maíz comienza con la producción agrícola del cereal, seguida por la producción de bienes intermedios y materias primas derivados del proceso de molturación de trigo (harina y subproductos). La molienda consta de la trituration donde se fragmenta el grano, el tamizado en el que se separan las partículas por tamaño y la purificación donde se separan las partículas provenientes del salvado, al final de este proceso se obtiene la harina de cada uno de estos cereales que es la materia prima para la elaboración de productos de panadería, pastelería y galletería y la elaboración de pastas alimenticias. Por su parte, la cadena de arroz inicia con la producción agrícola de arroz (arroz paddy), continúa con el procesamiento industrial de secamiento (paddy seco), descascarillado o trilla y pulimento para obtener el arroz blanco apto para consumo y subproductos como la harina de arroz, el afrecho de arroz, salvados y moyuelos, entre otros (DNP, 2004e).

Azúcar, confitería y chocolatería: incluye desde el cultivo de la caña de azúcar y el cacao hasta la producción de chocolates y de confites

- Proceso productivo del azúcar: este proceso lo llevan a cabo los ingenios azucareros ubicados en el valle geográfico del río Cauca, la producción se inicia pasando la caña por las picadoras, posteriormente el picado de caña se lleva a los molinos para extraer la sacarosa obteniendo bagazo que va a la producción de papel o como combustible y jugo bruto que continúa hacia el proceso de clarificado mediante: tratamiento suave con cal, tratamiento con cal más sulfitación con dióxido de azufre, tratamiento con cal más carbonatación con dióxido de carbono. Posteriormente se hace un filtrado utilizando unas mallas que lo separan de la cachaza, la cual es usada como abono en las plantaciones, luego el jugo se lleva a un proceso de evaporación donde se obtiene el jarabe y se cristaliza la sacarosa, estos cristales se llevan a las centrifugas y se separan los cristales de la miel restante, la cual se lleva a un reproceso para producir más cristales o se usa para la producción de etanol. Los cristales son llamados azúcar crudo y pasan a un proceso de refinación y secado (DNP, 2004f).
- Proceso productivo confitería de chocolate: el proceso industrial del chocolate inicia con la fermentación del cacao, que consta de un secado o desecado de las habas de cacao para disminuir la humedad, la amargura y potenciar el aroma y de un proceso de tostado para reducir la dureza de la almendra del cacao. En la segunda fase llamada molturación que consiste en la trituration de la almendra de cacao para obtener una masa fina y homogénea denominada pasta o licor de cacao, después de esta fase se prosigue a dos que son independientes una de prensado en el cual la pasta de cacao es desengrasada utilizando prensas horizontales teniendo como resultado la manteca de cacao y la torta de cacao y el amasado que es básicamente un proceso de mezcla de pasta de cacao, azúcar molida o granulada y leche en polvo. Finalmente se pasa a una última fase que incluye el refinamiento en donde se muele la pasta de cacao, el conchado para desarrollar el sabor y el atemperado en el cual se enfrían las coberteras y se pasan a los moldes para su posterior empaque (DNP, 2004f).

Oleaginosas, aceites y grasas: este proceso comprende dos etapas sucesivas: i) La extracción de los aceites crudos y otros subproductos que se lleva a cabo mediante el prensado de semillas ablandadas con vapor o por extracción con solventes químicos, el subproducto obtenido se lleva a destilación para separar el solvente de la grasa o aceite crudo, el bagazo de los frutos se utiliza para la producción de concentrados para animales y ii) La refinación, mezcla y posterior hidrogenación de los diferentes aceites crudos en donde se purifica el aceite removiendo las impurezas, estabilizándolo por oxidación y creando propiedades de consistencia y color. DNP (2004g)

Tabaco: este proceso comienza con la producción primaria de la hoja de tabaco mediante las etapas de preparación del suelo, siembra, trasplante, desflore, desbrote, cosecha, primer curado para conservar la hoja y preclasificación en fardos de 20 a 50 kgs. La hoja posteriormente pasa a la industrialización en donde en primer lugar se limpia, se reclasifica, se despalilla o desnerva y por último se vuelve a secar y en segunda lugar se utilizan los procesos de humidificación en caliente, a temperaturas decrecientes; torrefacción del tabaco y en algunos casos desnicotización para obtener finalmente el cigarrillo (DNP, 2004h)

Café y Té: Esta cadena productiva comienza con las actividades agrícolas de siembra, recolección, beneficio y secado obteniendo un producto intermedio denominado pergamino seco, este se pasa por la trilladora donde se pela y convierte en café verde el cual se clasifica, este tipo de café se exporta mayoritariamente. Este café verde se lleva a las etapas de tostión, molienda y empaçado si el producto final deseado es café molido o de producción de extractos y cafés solubles para obtener café instantáneo. Por su parte el té es un producto que se importa al granel y se empaça para consumo final (DNP, 2004i).

Hortofrutícola: esta cadena comienza con la producción de bienes de origen agropecuario como frutas frescas, vegetales y granos, posteriormente se desarrollan las etapas agroindustriales a saber recolección, producción, distribución y comercialización. La siguiente etapa es la transformación de estas materias primas en productos como jugos, mermeladas, concentrado de frutas, frutas al jugo, vegetales enlatados, compotas, frutas y vegetales deshidratados. La heterogeneidad característica de esta cadena hace que cada una de estas etapas sea específica dependiendo de la materia prima y el producto final aunque las más comunes son: i) Lavado en el cual se eliminan las impurezas, sustancias tóxicas y esporas bacterianas mediante aspersion o inmersión, ii) Selección: en esta etapa se separa el producto en malas condiciones y materiales extraños, iii) Cocción en la que se expone la materia prima al vapor vivo o agua caliente para fijar su color y frenar la acción enzimática, iv) Deshidratación, v) Envasado se hace generalmente en latas de acero estañado, botellas de vidrio o plástico, recipientes mixtos de cartón aluminio o de cartón (DNP, 2004j).

Cárnicos: esta cadena comienza con la cría y levante del ganado vacuno, porcino, aves de corral y especies menores (ganado ovino, caprino y conejos) donde se diferencian los animales destinados al sacrificio para la obtención de carne y los destinados a otras actividades como la producción de leche o huevos; continúa con el transporte, sacrificio, corte, congelación y comercialización de los mismos donde se obtiene como producto la carne y como subproductos grasas, sebos y sangre, este generalmente se lleva a cabo en las plantas de beneficio y finaliza con la elaboración de carnes embutidas, arregladas y frías (DNP, 2004k).

Pesca: esta cadena tiene como procesos la captura en aguas nacionales o internacionales de diferentes especies de pescado, su congelamiento, procesamiento y enlatado para consumo. Este mercado se caracteriza por las restricciones de comercio que dependen del país de origen y el tipo de especie (DNP, 2004l).

Lácteos: para esta cadena se consideran tres etapas: i) La producción de leche cruda, ii) El proceso de pasteurización para esta etapa la leche cruda se calienta a altas temperaturas y posteriormente se enfría rápidamente seguido de un rápido, una proporción de esta leche pasteurizada se utiliza para elaborar leche en polvo mediante un proceso de pulverización o secado y iii) La producción de leches ácidas (yogurth) y quesos para lo cual se agregan aditivos como estabilizantes o vitaminas a la leche homogeneizada que es sometida posteriormente a tratamientos térmicos a diferentes temperaturas y a inoculación (leches ácidas) o moldeado(quesos)(DNP, 2004m).

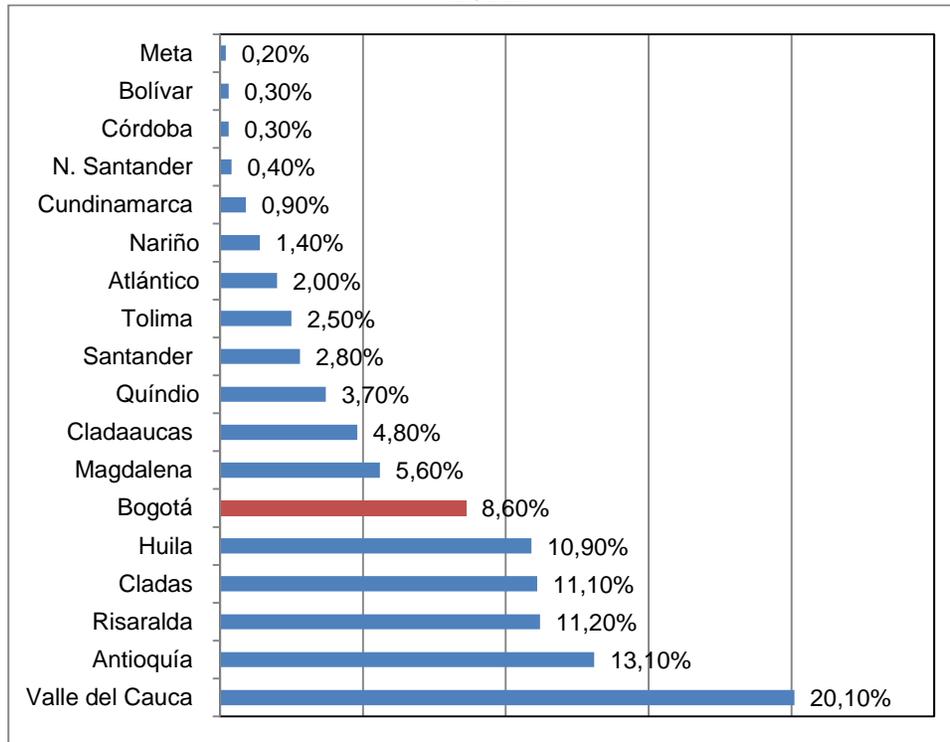
Alimentos concentrados o balanceados: las materias primas para esta cadena son la macromezcla formada por productos de la agricultura (cereales) y la agroindustria (oleaginosas) y la micromezcla compuesta de vitaminas, minerales y colorantes, estas dos materias primas se mezclan hasta obtener un producto homogéneo que luego es empacado (DNP, 2004n).

Cerveza, malta y Licores: esta línea de producción tiene un proceso que es común a los tres productos que es la fermentación.

- Producción de la cerveza: los procesos productivos son: i) Malteado que consiste en la germinación de la cebada limpia, que posteriormente se remoja a temperaturas entre los 12 y los 15°C, para luego ser sometida a deshidratación y tostión, ii) Maceración en el cual se muele, mezcla con agua y otros aditivos y coadyuvantes, y para transformar el almidón en azúcares obteniendo como producto el mosto de malta, iii) Fermentación en donde se mezcla de mosto y lúpulo que pasa a tanques cilindro-cónicos de acero inoxidable para transformación de los azúcares en alcohol y dióxido de carbono por adición de levadura obteniendo una cerveza joven que pasa a un proceso de maduración en la que se clarifica el líquido y ocurren reacciones bioquímicas y pasterizado antes de ser envasada (DNP, 2004o).
- Producción de licores: En esta línea posterior al proceso de fermentación para el ron, whisky, aguardiente y vodka, entre otros, se tiene el proceso de destilación en el cual se separa el agua y alcohol por evaporación, finalmente el licor resultante es un licor que requiere de añejamiento en barriles de roble para lograr las características necesarias para su comercialización (DNP, 2004o). Por su parte para la elaboración de vinos la materia prima es la uva fresca y madura que se somete a presión para producir el mosto de uva, posteriormente se fermenta este mosto, el vino producto de este proceso se filtra y añeja (DNP, 2004o).

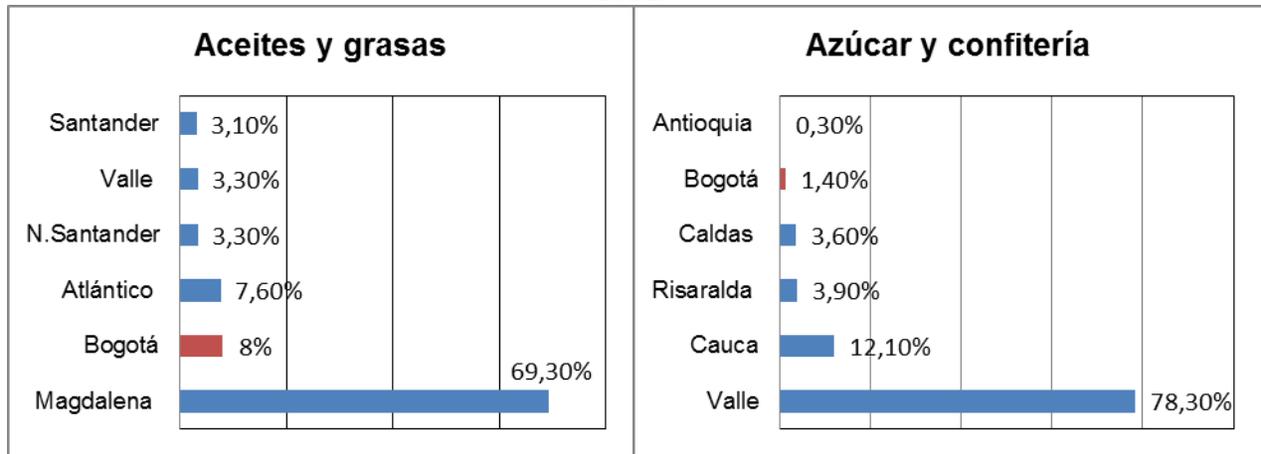
En un estudio para la cadena de productos alimenticios llevado a cabo por la oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos (2012b) en cuanto a las exportaciones al agrupar todos los sectores agroindustriales se observa que los departamentos con mayor participación son Valle, Bogotá, Antioquia y Cundinamarca sobresalen sin incluir al café, pero como se puede observar en la figura 14 al incluir el café Bogotá pasa al puesto 6 en participación en las exportaciones, al desglosar la participación en las exportaciones en cada una de las cadenas que la conforman se observa que a pesar de que Bogotá no aparece en primer lugar si no en molinería si tiene porcentajes importantes de participación en la mayoría de los sectores y siempre aparece entre los primeros seis lugares de participación (Figura A2-10).

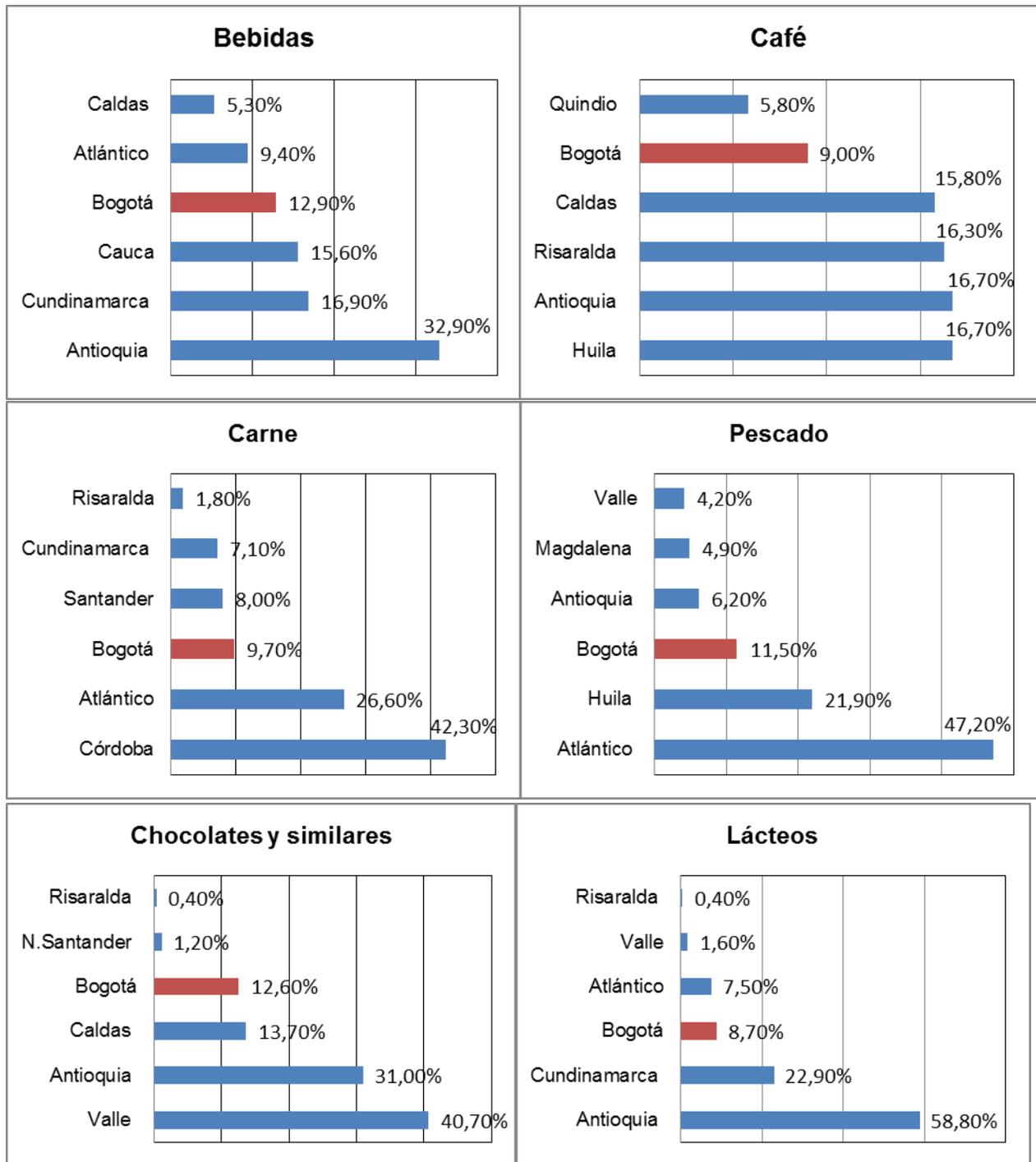
Figura A2-10. Participación en las exportaciones totales de la cadena de agroindustria para el año 2011.

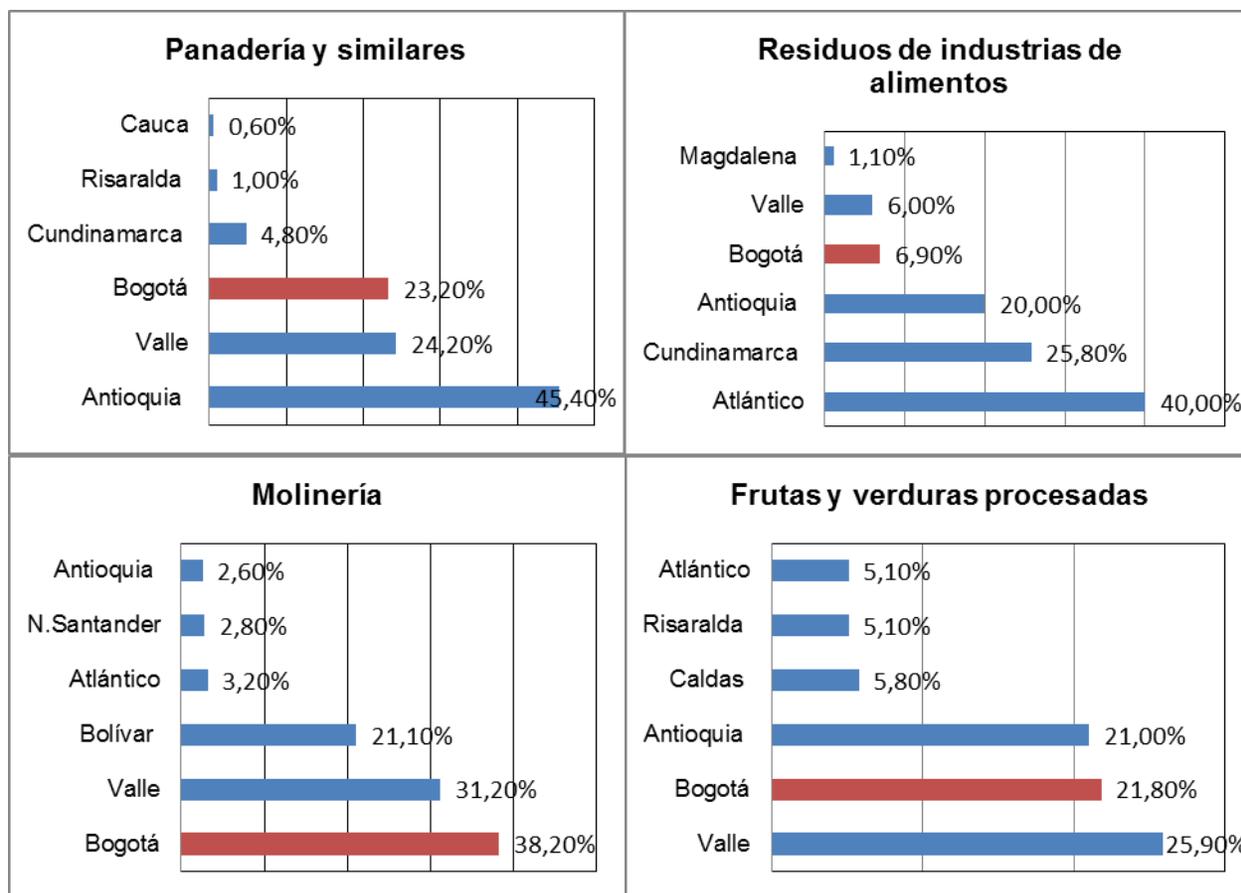


Fuente: Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos (2012b)

Figura A2-11. Participación en exportaciones totales nacionales para la Cadena alimenticia para el 2011.







Fuente: Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos (2012b)

F. Cadena de productos químicos y petroquímicos

El sector de los químicos y petroquímicos aparece en el DNP representado en seis cadenas: agroquímicos, plásticos, pinturas, caucho, cosméticos y aseo y farmacéutica y medicamentos, por lo que a continuación se hará una breve explicación de los procesos productivos de cada una de ellas.

Cadena de producción de agroquímicos

Esta cadena tiene cuatro eslabones que se pueden dividir en dos procesos productivos: i) Abonos y fertilizantes: en su mayoría son compuestos NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), en algunos casos acompañados de elementos en menor proporción como el calcio, el magnesio, el azufre, el hierro, el boro y el zinc, estos fertilizantes son llamados compuestos y tienen un 30% o menos de ingredientes activos, existe otro tipo de fertilizante en el que sólo se tiene un elemento mayor (NPK) llamados simples finalmente uno químico en el que los tres elementos básicos quedan integrados en un solo gránulo, estos se preparan en operaciones como mezcla, granulación y cristalización en presentación sólidas o líquidas generalmente y ii) Plaguicidas: los plaguicidas comprenden dos eslabones insecticidas y fungicidas, se definen como sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, regular el crecimiento de las plantas y sus frutos o proteger en la postcosecha a los productos durante el almacenamiento y transporte, para su fabricación en primer lugar se lleva a cabo la síntesis del ingrediente activo, en segundo lugar se hace la formulación en donde se mezcla un ingrediente activo con uno o unos elementos excipientes (vehículos) como talco, sílice, cal, yeso, arcilla, xileno, ciclohexano y aceites derivados de petróleo DNP, 2004p).

Plásticos y Fibras sintéticas

Estos productos tienen como origen la transformación del petróleo y el gas natural y se clasifican en: básicos e intermedios y monómeros. Esta cadena se divide en etapas productivas según las familias de productos comenzando con la producción de olefinas y aromáticos que se obtienen de la refinación del petróleo crudo; posteriormente estos productos se transforman en intermedios y monómeros entre los cuales se encuentran las resinas alquídicas, de poliéster, acrílicas, epóxicas, aminoplásticas y fenólicas, en Colombia los de mayor producción son el polietileno de baja densidad, el polipropileno, el poliestireno, y termoplásticos como el cloruro de polivinilo de suspensión y el polietilentereftalato (PET). Finalmente se llega a la producción de productos transformados y bienes finales en donde se producen las fibras sintéticas parte de la polimerización de materias primas como la caprolactama, el polietilentereftalato, el polietileno y el polipropileno intermedios y también se obtienen los transformados plásticos en donde se utilizan principalmente los elastómeros termoplásticos como el polietileno, polipropileno, acrílico, resinas ABS, acetato de celulosa, nylon, poliéster, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietilentereftalato (PET), el acetato de polivinilo (PVA), entre otros, adicionándose algunos aditivos, los cuales se mezclan en molinos de rodillos, o en mezcladores tipo bambury de los cuales se obtiene un producto en pellets o escamas que en un paso posterior se moldea por inyección, extrusión, soplado o calandrado y se le da la consistencia requerida mediante aditivos y colorantes (DNP, 2004q).

Pinturas, Barnices y Lacas

Las pinturas son recubrimientos relativamente sólidos y opacos, sus elementos constitutivos son un pigmento adecuadamente disperso en un líquido compuesto por una resina y un solvente volátil. Los barnices son dispersiones coloidales incoloras, constituidas por una solución de resinas sintéticas o naturales mezcladas en aceites o thinner. Las lacas son un recubrimiento cuya composición se basa en un material sintético, termoplástico y formador de película disuelto en un solvente orgánico (DNP, 2004r)

En esta cadena los recubrimientos se clasifican en los arquitectónicos (edificaciones y muebles) y los industriales (maquinaria, aparatos metalmecánicos, textiles, cueros, papel, plásticos, etc). Este proceso productivo se basa en la mezcla de resinas con pigmentos, el estado de la mezcla y los aditivos necesarios dependen de la superficie en la que se vaya a fijar el recubrimiento (DNP, 2004r).

Caucho

En esta cadena se encuentra dos tipos de caucho en primer lugar el caucho natural, extraído del sangrado de la corteza de varias moráceas y euforbiáceas intertropicales que luego pasa por procesos de disolución, filtrado, acidificación, coagulación, laminación secado y empaque, en el país se produce látex, caucho en lámina, caucho ripio y el caucho granulado; y en segundo lugar el caucho sintético, cuyo proceso productivo comienza con la refinación petroquímica que genera olefinas y aromáticos, que son la materia prima para la obtención de etil-benceno, estireno y acrilonitrilo los cuales actúan como insumos en diversos cauchos sintéticos como el estirenobutadieno (SBR), el polibutadieno (PBR), el butilo, el clorobutadieno, el acrilonitrilo butadieno, el isopreno y el etilpropileno-dieno (EPDM) (DNP, 2004s)

Estos dos tipos de caucho se mezclan o no para pasar a la etapa manufacturera de la cadena que continúa con la extrusión para darle forma al caucho, el calandrado en el que se lamina el caucho, el moldeo y el vulcanizado (DNP, 2004s).

Cosméticos y Aseo

Esta cadena se divide en tres eslabones detergentes, jabones y cosméticos (DNP, 2004t).

- **Detergentes:** este proceso productivo comienza con la sulfonación o sulfatación, en este proceso se usa el etileno como insumo y mediante una reacción química generalmente con óleum se obtienen tensoactivos (surfactantes), esta solución se neutraliza con una solución de cloruro de sodio, posteriormente en un triturador a la pasta neutralizada se le agregan aditivos, finalmente se llevan a cabo operaciones de secado, tamizado, perfumado y empaque.
- **Jabones:** en la primera etapa de producción se mezcla el sebo con otros aceites como los oleicos, esteáricos, láuricos, de palmiste y de soya, posteriormente se lleva a cabo una hidrólisis al vacío para eliminar el aire, luego pasa a la etapa de la saponificación que consiste en donde se funden las materias primas y se agrega una solución concentrada de hidróxido, esta masa reaccionante se agita con vapor y se obtienen gránulos secos a presión y aspecto translúcido que se pasan a moldeado, perfumado, enfriamiento y empaquetado.
- **Cosméticos:** La mayoría de procesos se caracterizan por la mezcla física de las diversas materias primas que en algunos casos deben ser molidas antes y ensamble que en ciertas oportunidades pasan por compactación, generalmente no hay reacción química. Los componentes de un cosmético son en general: principios activos, excipiente o vehículo que permiten que el cosmético sea más estable y fácil de aplicar.

Esta subcadena está conformada por industrias muy diversas en cuanto a capital y tamaño, siendo la mayoría industrias de carácter nacional y pequeñas y microempresas. La producción de esta industria se incrementó en años anteriores al 2009 y se concentra en el Valle y en Bogotá D.C, donde se destaca la elaboración de Champú y productos para el pelo, esmalte para uñas y jabones (Cámara de Comercio de Bogotá, 2009).

Farmacéutica y Medicamentos

En esta cadena los procesos comunes son: i) La formulación de medicamentos sólidos como tabletas, grageas y pastillas, en esta etapa se mezcla la molécula activa o ingrediente activo con sustancias inertes, posteriormente la mezcla se seca, granula y se le da la forma deseada mediante máquinas tableteadoras, ii) Formulación de medicamentos líquidos como jarabes, suspensiones y gotas, el componente activo se disuelve en una sustancia líquida esterilizada, iii) Control de calidad, iv) Envasado y empaque (DNP, 2004t).

En cuanto a este sector para Colombia la Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad en el documento sectorial de la cadena petroquímica - plásticos, cauchos, pinturas, tintas y fibras (DNP, 2007e) menciona que esta industria utiliza tecnología compleja, altos niveles de inversión y economías de escala e integración vertical en procesos y productos. Además en el país la cadena petroquímica (plásticos y fibras sintéticas) ha tenido un crecimiento sostenido, mientras la cadena de pinturas, barnices y lacas tiene una producción dirigida al mercado interno; finalmente la cadena del caucho a pesar de tener sectores dinámicos presenta una balanza comercial desfavorable (DNP, 2007e).

Puntualmente la industria de plásticos y fibras sintéticas en Colombia se caracteriza por presentar varias empresas de tamaño pequeño y mediano y una importante producción para el mercado interno y externo, la producción de esta cadena se distribuye por departamentos así: Bolívar con un 32,99%, Bogotá con un 23,61%, Antioquia con un 14,06%, Cundinamarca con un 8,07% y Valle con un 6,64%; por su parte la cadena de pinturas, barnices y lacas se encuentra ligada a la evolución de

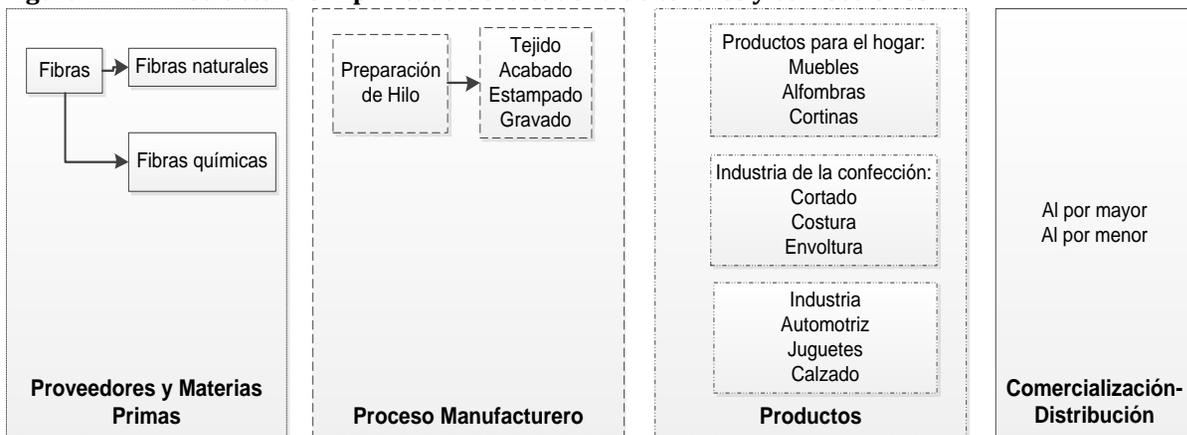
otros sectores industriales como la construcción, metalmecánico y plásticos y dominada por el segmento de pinturas arquitectónicas, seguida por pintura para automóviles, pinturas especiales y recubrimientos industriales; finalmente el sector de caucho presenta diversidad al interior de la estructura empresarial, es así como las industrias de llantas son grandes y concentran la mayoría de la producción del sector (DNP, 2007e).

Fedesarrollo (2007) menciona que la cadena química-petroquímica es altamente dependiente de la importación de insumos principalmente por la deficiente integración de la cadena pues se tienen materias primas básicas como olefinas y aromáticos.

G. Cadena de textiles y confecciones

La industria de textiles y confecciones comprende: i) La elaboración de materia prima como fibras e hilos naturales, artificiales y sintéticos, ii) Eslabones intermedios como los tejidos, y iii) Productos de consumo final, que incluyen además de prendas de vestir, artículos para el hogar como sábanas, alfombras y toallas, y otros elementos especializados de material textil como telas para cintas transportadoras, para encuadernación, revestimientos para paredes, entre otros, estructura que se puede observar en la Figura 18. (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012c)

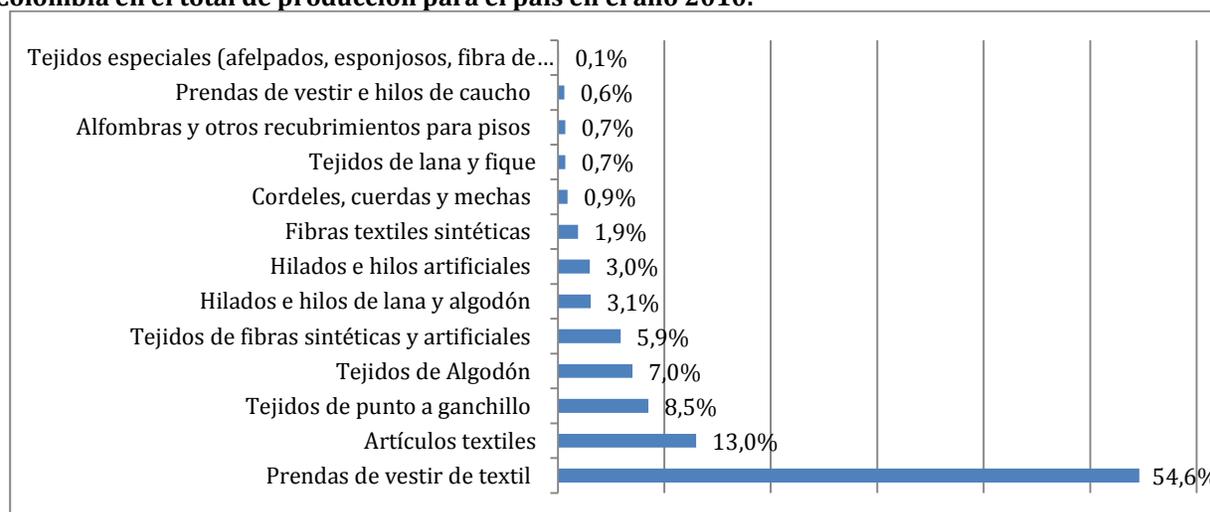
Figura A2-12. Estructura simplificada de la cadena de textiles y confecciones



Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá (2009).

La cadena representa el 10% de la producción industrial nacional, en la figura 19 se muestra la participación de cada uno de los subsectores de la cadena en el total de producción para el país en el año 2010.

Figura A2-13. Participación de cada uno de los subsectores de la cadena de textiles y confecciones para Colombia en el total de producción para el país en el año 2010.

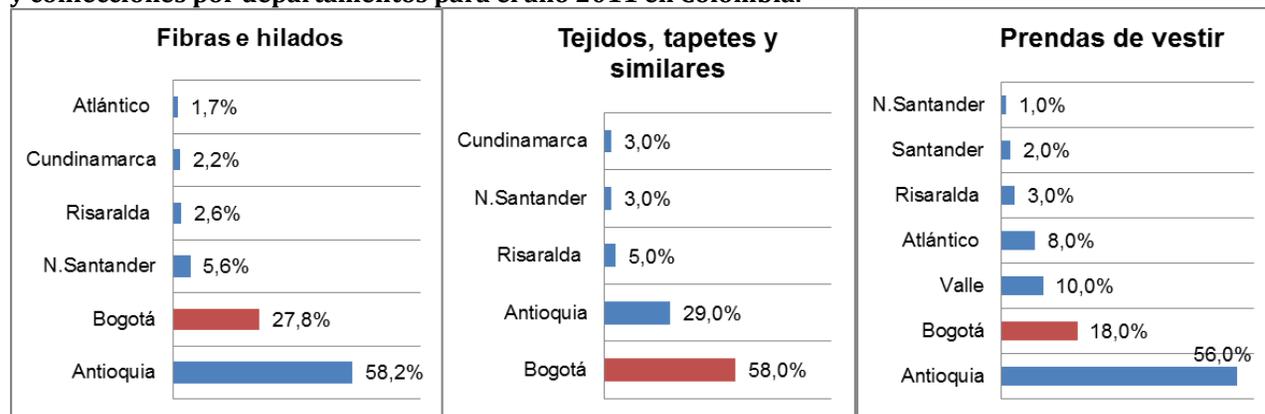


Fuente: Adaptado de Oficina para el aprovechamiento del TLC (2012c).

En el país esta cadena se caracteriza además por importar los productos de los primeros eslabones de la cadena, como algodón y filamentos, y exportar los productos finales de la cadena, a saber, las confecciones o prendas de vestir y también otro tipo de confecciones como toallas, sábanas y otros elementos para el hogar, lo que dificulta la integración de esta cadena (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007 y Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012c). En cuanto a las exportaciones en Colombia las actividades con mayores exportaciones en 2011 fueron prendas de vestir que representaron el 56% del total, seguido por algodón con 8,5%, y otras confecciones con 8,5% (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012c).

Por su parte la distribución regional de esta cadena muestra que la producción de la cadena de textil y confecciones se concentra en Antioquia y Bogotá las cuales suman el 84% del total, asimismo en exportaciones Antioquia y Bogotá participan conjuntamente con más del 70% de las totales, en la siguiente figura se puede observar la distribución porcentual de las exportaciones de los subsectores de la cadena por departamentos para el año 2011 (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012c).

Figura A2-14. Distribución porcentual de las exportaciones de los subsectores de la cadena de textiles y confecciones por departamentos para el año 2011 en Colombia.



Fuente: (Oficina para el aprovechamiento del TLC, 2012c).

BIBLIOGRAFIA ANEXO 2

- Cámara de Comercio de Bogotá. (2011). Comportamiento de la economía de la región en el primer semestre de 2011. Observatorio de la región Bogotá-Cundinamarca, 1-23. Bogotá.
- Cámara de Comercio de Bogotá. . (2005). Caracterización de las cadenas productivas de manufactura y servicios en Bogotá y Cundinamarca . 1-123.
- DANE. (2012). Boletín de prensa. Cuentas departamentales-Base 2005, resultados PIB Departamental, 2009 y 2010. Bogotá.
- DANE. (2012). Boletín de prensa. Cuentas departamentales-Base 2005. Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010, 1-20.
- DANE. (2013). Boletín de prensa, encuesta anual manufacturera-EAM 2011. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004a). Pulpa , papel e industria gráfica. En D. N. (DNP), Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 243–269). Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004b). Cemento y sus aplicaciones. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 407-418).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004b). Cemento y sus aplicaciones. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 407–418).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004c). Metalmecánica. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 433-452).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004d). Molinería. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 21-40).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004e). Oleaginosas, aceites y grasas. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 59-80).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004f). Azúcar, confitería y chocolatería. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 41-58).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004g). Tabaco. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 81-92).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004h). Agroquímicos. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 271-284).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004h). Hortofrutícola. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 105-122).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004i). Cárnicos. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 123-140).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004j). Pesca - Atún. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 141-154).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004k). Lácteos. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 173-184).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004l). Alimentos concentrados o balanceados. En Cadenas Productivas Estructura, comercio internacional y protección (págs. 185-196).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2004m). Cerveza , malta y licores. En c. i. Cadenas Productivas Estructura.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2007). Agnamarca . 160.
- Olazarán , M., & Otero , B. (2009). La perspectiva de sistema nacional/regional de innovación: balance y recepción en España. Arbor. Ciencia, pensamiento y cultura, ISSN: 0210-1963. No. 738.767-779 p. .
- PROEXPORT. (2012). Revista de las Oportunidades Proexport Colombia. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2010). Boletín No. 16. Especialización de las cadenas productivas de la industria en Bogotá D.C. Bogotá.
- Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos. (2012a). Aprovechamiento del TLC con Estados Unidos- Metalmecánica y Maquinaria.
- Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos. (2012b). Aprovechamiento del TLC con Estados Unidos- Sector agroindustrial.
- Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos. (2012c). Aprovechamiento del TLC con Estados Unidos- Cosméticos y productos de aseo.

- Oficina para el aprovechamiento del TLC con Estados Unidos. (2012d). Aprovechamiento del TLC con Estados Unidos- Análisis de la cadena de vehículos y sus partes.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2009). Boletín No. 16. Espacialización de las cadenas productivas de la industria en Bogotá D.C. (pp. 1-53).
- Velosa, J., & Sánchez, L. (2012). Análisis de la capacidad tecnológica en Pymes metalmecánicas : una metodología de evaluación Analysis of the tech- nological capacity of pymes in the metal. Revista EAN, 72(1), 128-147.

ANEXO 3. PRODUCTIVIDAD

a. Medición de la PTF basada en función de costes cuadráticos

A partir, de la siguiente ecuación

$$TPF = Q - F \quad (1)$$

En donde TPF es el índice de la productividad total de los factores, Q y F son índices agregados de entradas y salidas respectivamente. Para obtener y descomponer F . Se comienza, expresando el costo real en el período 1, C_1 , en función de los precios, W_j , y las cantidades de insumos, x_j , utilizados en períodos 0 y 1, y sus incrementos.

$$\begin{aligned} C_1 &= \sum_j w_{j1} x_{j1} = \sum_j (w_{j0} + \Delta w_j)(x_{j0} + \Delta x_j) \\ &= \sum_j w_{j0} x_{j0} + \sum_j w_{j0} \Delta x_j + \sum_j \Delta w_j x_{j0} + \sum_j \Delta w_j \Delta x_j \end{aligned} \quad (2)$$

Tomando factor común Δw_j de los dos últimos términos de la expresión anterior, la tasa de variación en el costo real entre dos períodos consecutivos puede ser expresada en términos de variaciones discretas, como:

$$\dot{C} = \frac{C_1 - C_0}{C_0} = \sum_j \frac{w_{j0} x_{j0}}{C_0} \frac{\Delta x_j}{x_{j0}} + \sum_j \frac{w_{j0} C_1}{w_{j1} C_0} \frac{w_{j1} x_{j1}}{C_{t1}} \frac{\Delta w_j}{w_{j0}} = \sum_j s_{j0} \dot{x}_j + \sum_j G_{j1} \dot{w}_j \quad (3)$$

Donde $G_{j1} = (w_{j0} C_1 / w_{j1} C_0) s_{j1}$ y s_j es la cuota de entrada j en el costo. Reorganización de la ecuación. (3), se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{1}{2} \sum_j s_{j0} \dot{x}_j = \frac{1}{2} \dot{C} - \frac{1}{2} \sum_j G_{j1} \dot{w}_j \quad (4)$$

De la misma manera, si tomamos el factor común Δx_j en (2) del segundo y cuarto término, obtenemos

$$\frac{1}{2} \sum_j \frac{C_1 x_{j0}}{C_0 x_{j1}} s_{j1} \dot{x}_j = \frac{1}{2} \dot{C} - \frac{1}{2} \sum_j s_{j0} \dot{w}_j \quad (5)$$

La adición de (4) y (5) da

$$\dot{F} = \frac{1}{2} \sum_j \left(\frac{C_1 x_{j0}}{C_0 x_{j1}} s_{j1} + s_{j0} \right) \dot{x}_j = \dot{C} - \frac{1}{2} \sum_j (G_{j1} + s_{j0}) \dot{w}_j \quad (6)$$

Donde F es un índice implícito y el agregado de los insumos que se pueden interpretar de dos maneras. Así, el primer término de la expresión (6) indica que F es una suma ponderada de las cantidades de insumos utilizados en ambos períodos, mientras que el segundo elemento se destaca el hecho de que este índice de entrada representa el cambio en el nivel de real costo que no se explica por las variaciones en los precios de los insumos.

Ahora el coste real, C , se expresa como:

$$C = \frac{C^*}{CE} \quad (7)$$

donde C^* es el costo mínimo y CE es el índice de eficiencia de costes de Farrell. Si $C^*_1 = C^*_0 + \Delta C$ entonces:

$$\dot{C} = \frac{CE_0}{CE_1} \left[\dot{C}^* - \dot{CE} \right] \quad (8)$$

Por lo tanto, la tasa de variación del costo real, C^0 , depende de los niveles de rentabilidad de los dos períodos consecutivos, en la tasa de variación del costo óptimo, C^{0*} , y en el índice de eficiencia, C^0E . La expresión (8) muestra que, o bien un aumento (disminución) de los costes óptimos o una caída (aumento) en el nivel de eficiencia dará lugar a un aumento (disminución) en coste real. Entonces se descomponen las tasas de cambio de tanto coste óptimo y el índice de eficiencia, en función de las tasas de variación discretas de sus respectivos factores determinantes. Con el fin, de descomponer C^{0*} , se utiliza el resultado obtenido por Martínez-Budría *et al.* (2003), lo que da la siguiente expresión:

$$\dot{C}^* = \frac{1}{2} \sum_j (G_{j1}^* + s_{j0}^*) \dot{w}_j + \frac{1}{2} \left[\sum_m H_m \dot{q}_m \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{C_1^*}{C_0^*} \dot{T}_1 + \dot{T}_0 \right] (t_1 - t_0) \quad (9)$$

Entonces se descompone por la tasa de variación del índice de eficiencia de costes del Farrell, C^0E , teniendo en cuenta que la $CE = TE \times AE$, donde TE es el índice de eficiencia técnica de Farrell y AE el Índice de Eficiencia asignativa.

$$\dot{CE} = \frac{CE_1 - CE_0}{CE_0} = \frac{(ET_1 \times EA_1)}{ET_0 \times EA_0} - 1 = \dot{EA} + \dot{ET} + \dot{EAET} \quad (10)$$

Si introducimos (9) y (10) en la Ec. (8) y el resultado en la expresión (6), obtenemos un índice implícito y el agregado de insumos, F, que contiene cuatro términos aditivos:

$$\begin{aligned} \dot{F} = & \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \left[\sum_m H_m \dot{q}_m \right] + \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \left[\frac{C_1^*}{C_0^*} \dot{T}_1 + \dot{T}_0 \right] (t_1 - t_0) - \frac{CE_0}{CE_1} \left(\dot{A}E + \dot{T}E + \dot{A}E\dot{T}E \right) \\ & + \frac{1}{2} \left[\frac{CE_0}{CE_1} \sum_j (G_{j1}^* + s_{j0}^*) \dot{w}_j - \sum_j (G_{j1} + s_{j0}) \dot{w}_j \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Martínez-Budría *et al.* (2003) proponen un índice agregado de los productos, que utiliza elasticidades de la producción de costos para pesar la tasa de cambio de productos, que se muestra a continuación:

$$\dot{M} = \frac{\frac{1}{2} \sum_m ((C_1^* q_{m0} / C_0^* q_{m1}) \varepsilon_{C, q_{m1}} + \varepsilon_{C, q_{m0}}) \dot{q}_m}{\frac{1}{2} \sum_m ((C_1^* q_{m0} / C_0^* q_{m1}) \varepsilon_{C, q_{m1}} + \varepsilon_{C, q_{m0}})} = \frac{\frac{1}{2} \sum_m H_m \dot{q}_m}{\frac{1}{2} \sum_m H_m} \quad (12)$$

Lo que permite expresar la TPF como:

$$\begin{aligned} TFP = & \dot{M} - \dot{F} \\ = & \left[\frac{\sum_m H_m \dot{q}_m}{\sum_m H_m} \right] \left[1 - \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \sum_m H_m \right] - \frac{1}{2} \frac{CE_0}{CE_1} \left[\frac{C_1^*}{C_0^*} \dot{T}_1 + \dot{T}_0 \right] (t_1 - t_0) \\ & + \frac{CE_0}{CE_1} \left(\dot{E}A + \dot{E}T + \dot{E}A\dot{E}T \right) - \frac{1}{2} \left[\frac{CE_0}{CE_1} \sum_j (G_{j1}^* + s_{j0}^*) \dot{w}_j - \sum_j (G_{j1} + s_{j0}) \dot{w}_j \right] \end{aligned} \quad (13)$$

b. Medición de la Productividad a partir de índices

A continuación se presenta una aplicación de la medición de la productividad para plantas de energía en Israel desarrollada por Shams, Nabavieh, Gholamiangonabadi, & Alimoradi (2014). Según los autores, uno de los métodos más importantes para medir la PTF es el índice de Malmquist. El cálculo del índice de Malmquist requiere una estimación de la función de distancia, siendo uno de los más analizados el método no paramétrico del Análisis Envolvente de Datos (DEA) por capacidad de modelar las tecnologías multi-entrada y de salida múltiple, incluso en ausencia de datos de precios; siendo su principal inconveniente la ausencia de información sobre la incertidumbre de la estimación, resuelto por Simar y Wilson (1998) con el método de arranque. Este método se ha utilizado en diversos sectores, como la agricultura, la aviación, la banca y la educación (Odeck de 2009, Assaf, 2011, George Assaf et al., 2014 y Parteka y Wolszczak-Derlacz, 2013). Esta variación de DEA se utiliza para la medición de la productividad de todas las centrales de vapor en Irán durante el período de 2007-2012.

El índice de Malmquist se calcula generalmente entre el año t y $t + 1$ como la relación de función de distancia para cada año a la tecnología común. El índice de Malmquist para la función de la distancia de entrada se define como la ecuación:

$$M_I^t = \frac{\Delta_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^t(x^t, y^t)} \quad (1)$$

Del mismo modo, el índice de productividad de Malmquist de entrada asociado con la tecnología basada en el tiempo $t + 1$ se define por la ecuación:

$$M_I^{t+1} = \frac{\Delta_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (2)$$

Färe *et al.* (1994) demostraron que MPI (*Malmquist productivity index*) puede ser definido como la media geométrica de los índices de Malmquist en los períodos t y $t + 1$. De este modo la entrada correspondiente MPI se puede determinar por la ecuación (3):

$$M_I = \sqrt{M_I^t \times M_I^{t+1}} = \sqrt{\frac{\Delta_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^t(x^t, y^t)} \times \frac{\Delta_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad (3)$$

El índice de Malmquist se puede descomponer como:

$$M_I^{t,t+1} = \underbrace{\frac{\Delta_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^t(x^t, y^t)}}_{\text{Efficiency Change Index (ECI)}} \times \underbrace{\left[\frac{\Delta_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\Delta_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{\Delta_I^t(x^t, y^t)}{\Delta_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}}_{\text{Technological Change Index (TCI)}} = \text{ECI}^{t,t+1} \times \text{TCI}^{t,t+1} \quad (4)$$

Para el cálculo del índice de productividad de Malmquist (MPI), se calcula con el método DEA con el que se hallan las funciones de distancia a través de la solución de modelos de programación lineal que dentro de un período se pueden derivar de la ecuación:

$$\begin{aligned} & [\Delta_I^s(x^s, y^s)]^{-1} \quad (s : t, t + 1) \\ & \min_{\Phi, \lambda} \Phi \\ & \text{Subject to : } X^s \lambda \leq \Phi x_I^s \\ & y_I^s \leq Y^s \lambda \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Las funciones periodo de distancia adyacentes se obtienen resolviendo el problema de programación lineal:

$$\begin{aligned}
 & [\Delta_j^s(x^r, y^r)]^{-1} \quad (s, r : t, t + 1; s \neq r) \\
 & \min_{\phi, \lambda} \phi \\
 & \text{Subject to : } X^s \lambda \leq \phi x_j^r \\
 & y_j^r \leq Y^s \lambda \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

Posteriormente, se escogen las variables de entrada y salida, para este estudio teniendo en cuenta la revisión de la literatura y los datos disponibles se escogieron el número de empleados, la capacidad instalada, y los costos totales de combustible como variables de entrada y la electricidad neta producida es considerada como la variable de salida. Todos los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron de las estadísticas anuales de explotación de la base de datos de la compañía Tavanir durante el período 2007-2012, y se resuelve el problema de programación lineal.

BIBLIOGRAFIA ANEXO 3

- Assaf, A. (2011). A fresh look at the productivity and efficiency changes of UK airlines . *Appl. Econ.*, 43, 2165–2175.
- Odeck , J. (2009). Statistical precision of DEA and Malmquist indices: a bootstrap application to Norwegian grain producers . *Omega*, 37, 1007-1017.
- Parteka, A., & Wolszczak-Derlacz, J. (2013). Dynamics of productivity in higher education: cross-European evidence based on bootstrapped Malmquist indices. *J. Prod. Analysis*, 40, 67–82.