

06-007

**MAPPING FOR THE STRENGTHENING OF PRODUCTIVE CAPACITIES IN TERMS OF PRODUCTIVITY INDICATORS OF THE METALWORKING SECTOR IN RISARALDA, COLOMBIA**

Morris, Lloyd (1); Toro, Alonso (1); Becerra, Line (1); Granda, Mabel (1); Cardona, Mariana (1)

(1) Universidad Católica de Pereira

This research proposes the approach of productivity indicators in the implementation of a system for the articulation of the technical and productive capacities of the metalworking sector of the Risaralda department, facilitating the identification of specific actions for the development of innovation processes and the increase of productivity, tending to the economic reactivation of the sector. For this purpose, a field study is carried out that allows contextualizing the needs of the metalworking sector with selection criteria such as availability, reliability, technology and alignment to identify the companies with the best conditions, possibilities and representativeness of the metalworking production chain. Subsequently, in representative production processes, productivity indicators are established under the systems and OEE (Overall Equipment Effectiveness) approaches that allow the assessment of the sector chain, establishing the bases for subsequent automated measurement processes.

Keywords: Productivity management; Metalworking Sector; OEE; Systems Approach

**MAPEO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES PRODUCTIVAS EN TÉRMINOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DEL SECTOR METALMECÁNICO EN RISARALDA, COLOMBIA**

Esta investigación propone el abordaje de indicadores de productividad en la implementación de un sistema para la articulación de las capacidades técnicas y productivas del sector metalmeccánico del departamento Risaralda, facilitando la identificación de acciones específicas para el desarrollo de procesos de innovación y el aumento de la productividad, propendiendo a la reactivación económica del sector. Para tal fin se desarrolla un estudio de campo que permite contextualizar las necesidades del sector metalmeccánico con criterios de selección como disponibilidad, fiabilidad, tecnología y alineación para identificar las empresas con mejores condiciones, posibilidades y representatividad de la cadena productiva metalmeccánica. Posteriormente en procesos productivos representativos, se establecen indicadores de productividad bajo los enfoques de sistemas y del OEE (Overall Equipment Effectiveness) que permiten la valoración de la cadena del sector estableciendo las bases para los procesos posteriores de medición automatizada.

Palabras clave: Gestión de la productividad; Sector metalmeccánico; OEE; Enfoque de sistemas

Correspondencia: Lloyd Morris. Correo: lloyd.morris@ucp.edu.co

Agradecimientos: Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, Colombia (Minciencias).

Alcaldía de Pereira, Colombia, Universidad Católica de Pereira, Colombia, Centro de innovación y desarrollo tecnológico de la manufactura y la metalmeccánica, Colombia.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Colombia, al igual que otros países, enfrentaron un periodo de desaceleración económica como consecuencia de la pandemia. El Producto Interno Bruto (PIB) en Colombia decreció en un 15,7% respecto al mismo periodo de 2019. Para el mes de abril de 2020, la tasa de desempleo del total nacional fue 19,8%, representando un incremento del 7.2% con respecto al mes de marzo de 2020; cifra que siguió en aumento hasta llegar a 20.2% en julio de 2020, siendo Colombia uno de los países con las cifras más altas de desempleo entre los miembros de la OECD (DANE, 2020).

En Latinoamérica y Colombia se presenta en los últimos años un estancamiento notable de los niveles de productividad con respecto a países más avanzados. Esto se evidencia en el ranking de Competitividad Global del Foro Económico Mundial, el cual revela que Colombia ocupa el lugar 57 entre 141, donde el desempeño de indicadores relacionados con la productividad ha sido bajo, demostrando una situación grave en esta materia para el país. (World Economic Forum, 2019, pág. 172)

Este panorama se complementa con la estimación de crecimiento PTF (Productividad Total de los Factores), el cual para Colombia ha disminuido según los registros de la revista Dinero. La productividad de Colombia a nivel de empresa dista de la frontera de productividad global. La empresa promedio en el país es solo 5,5 % tan productiva como la frontera de productividad global (definida como el 25% de empresas líderes en los Estados Unidos, (Dinero, 2016)

Para contribuir al proceso de recuperación del sistema productivo, el Organismo rector del Sistema Nacional Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) ha desarrollado convocatorias para financiar la investigación aplicada al contexto industrial. Dentro de estas convocatorias se tiene la 893 del 2020, de la cual el presente estudio es uno de los proyectos elegidos con el objeto de Implementar un sistema digital para articular las capacidades técnicas y productivas del sector metalmecánico del departamento Risaralda. Este proyecto es desarrollado en alianza entre Cidentemm (Centro de innovación y desarrollo tecnológico de la metalmecánica y la manufactura), la Alcaldía de Pereira y la Universidad Católica de Pereira.

Aunado a la situación descrita, Miranda & Toirac (2010) en coincidencia con Parra & Puyana (2021), plantean la necesidad determinar los niveles de productividad del sector empresarial para el fortalecimiento de capacidades y el estudio de su impacto en el encadenamiento productivo. En el primer acercamiento al sector metalmecánico de la región en Risaralda, se evidencia la falta de implementar sistemas de medición de productividad tanto en algunas empresas del sector como para la totalidad del nodo como ente estratégico de desarrollo.

Por esta razón, el proyecto mencionado dentro de sus objetivos tiene el compromiso de realizar un mapeo para el fortalecimiento de las capacidades productivas en términos indicadores de productividad del sector metalmecánico en Risaralda, apuntando a la estrategia de consolidar un método de seguimiento de índices de productividad operativa para el sector metalmecánico.

Para tal fin, se utiliza un enfoque de métodos mixtos mediante los cuales se identifica en primera instancia las características y necesidades reales del sector en un trabajo conjunto con las empresas representativas de la región, a través de un mapeo inicial utilizando el método de verificación ponderada. Luego se desarrolla la selección de los procesos, utilizando diagramas de Pareto y listados de verificación que implícitamente conlleva a analizar los productos representativos. Finalmente, se desarrollan los indicadores de productividad bajo enfoque de sistemas y de la metodología para obtener el indicador OEE.

## 2. Método

El presente estudio selecciona el uso de métodos mixtos teniendo en consideración lo propuesto por Arenas (2021), al existir la necesidad de realizar un énfasis en el proceso de reflexión crítica, en procesos de actividad práctica y con el requerimiento de manejar una realidad compleja, es recomendable el uso de métodos mixtos. Por ello el marco de referencia metodológico para abordar el mapeo global de las capacidades productivas para la gestión de la productividad de las empresas del sector metalmeccánico en Risaralda, Colombia, incorpora el desarrollo de tres fases. La siguiente figura puede ilustrar el marco de referencia de las fases definidas y su comprensión para la triangulación de los métodos utilizados.

**Figura 1: Marco de referencia metodológico**



**Fase 1.** Para la primera fase del mapeo inicial empresarial, Balou (2014), propone el método o la lista de verificación ponderada en el que sugiere el uso de la opinión de expertos para la selección de los factores, la ponderación de los mismos, más la calificación del factor. Para este proceso se incorporaron expertos de la empresa Cidentemm (Centro de innovación y desarrollo tecnológico de la metalmeccánica y la manufactura) y de la Universidad Católica de Pereira en procesos de investigación con el sector metalmeccánico en Risaralda.

En la siguiente figura se tiene la configuración de los factores, sus ponderaciones y su descripción. Mediante este proceso se realiza la valoración de las 37 empresas del sector metalmeccánico para llegar a la selección de las empresas con mayor disponibilidad, fiabilidad, alineación y tecnología que en sí da mayor representatividad y factibilidad para el desarrollo de la investigación.

**Figura 2: Mapeo empresarial**

Disponibilidad (D) 25%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Interés</li><li>• Disposición</li></ul>
Fiabilidad (F) 25%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Base de datos</li><li>• Índices de productividad</li></ul>
Alineación (A) 25%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Similitud</li><li>• Relevancia al sector metalmeccánico</li></ul>
Tecnología (T) 25%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Automatización</li><li>• Posibilidad de Intervención</li></ul>

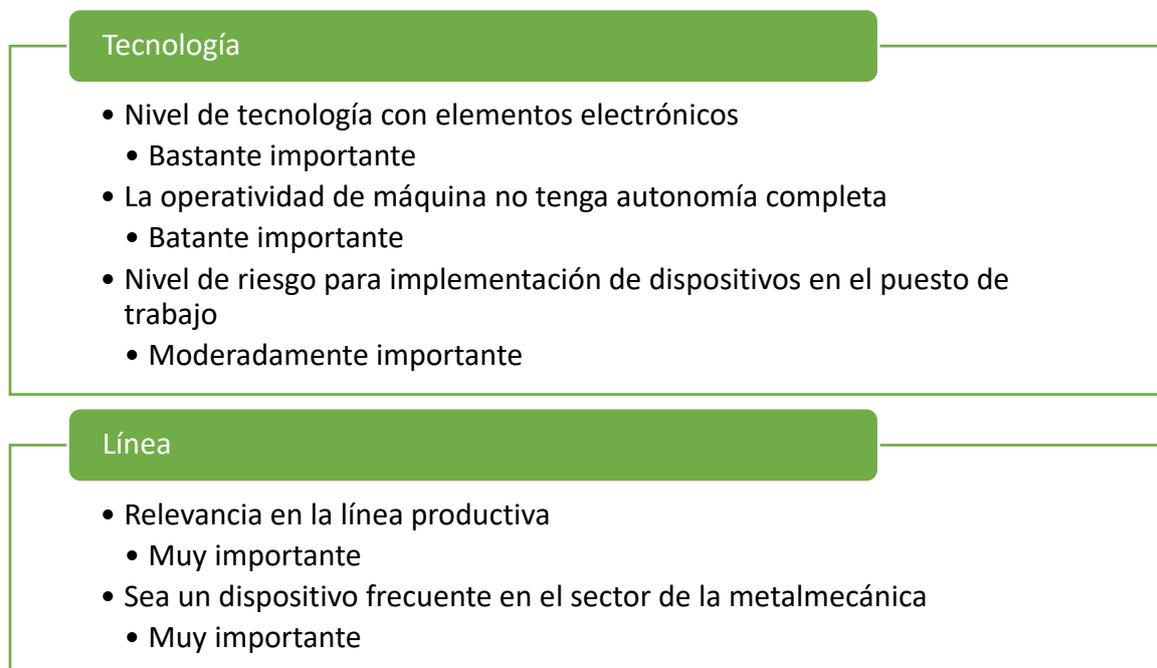
**Fase 2.** En la segunda fase correspondiente a la selección del proceso, se decide usar el diagrama de Pareto y un listado de verificación. Silva et al. (2019), mencionan que el diagrama de Pareto es una herramienta que permite identificar y clasificar problemas con

usos importantes en procesos de producción. Estos diagramas permiten conocer el orden de importancia de las variables que intervienen en un estudio, que para la investigación las variables están representadas por los tipos de productos o referencias. Martin et al. (2021), mencionan la importancia de elaborar listas de verificación con tópicos de interés, para el estudio se establecen criterios o tópicos de verificación.

Para el caso de las referencias o productos se desarrolla un diagrama de Pareto para cada una de las empresas que se seleccionaron, tomando las premisas del análisis ABC (80/15/5 y 20/30/50), lo que da una garantía de enfoque en los productos con mayor representatividad empresarial.

Para el caso de los procesos se establecen cinco criterios o tópicos de verificación, en lo que se busca dar garantía de que el proceso seleccionado sean viables al desarrollo del proyecto. Estos criterios se clasificaron en tres niveles de importancia para tener una posibilidad de valoración comparativa entre los diversos procesos o maquinarias en cada empresa seleccionada. La siguiente figura ilustra los criterios de verificación y su nivel de importancia.

**Figura 3: Selección del proceso**



Fase 3. Para el desarrollo de la fase tres se tiene en cuenta el enfoque de sistemas para la definición de indicadores de productividad y la metodología para la obtención del OEE (Overall equipment effectiveness). Fontalvo et al. (2018), propone la medición de la productividad bajo la dimensión de la productividad total y la productividad por factor o parcial, mientras que Abramova et al. (2019), menciona que el OEE es el indicador global con mayor aceptación para la medición de la efectividad en los equipos y su cálculo obedece a un método estandarizado.

Para el cálculo de la productividad se propone un enfoque de sistemas en el que el proceso o maquinaria seleccionada en la fase 2 será analizado según el esquema mostrado en la siguiente figura, en donde las entradas representan los recursos o insumos para la ejecución del proceso, el proceso se refiere a la etapa de transformación y la salida está relacionada con la conversión final que puede estar asociada en el producto terminado.

**Figura 4: Desarrollo de indicador de productividad**



Finalmente, para el cálculo del OEE se debe tener en consideración los parámetros de Disponibilidad (A), desempeño (P) y calidad (Q). La ecuación 1, identifica la forma de cálculo del indicador OEE. Para determinar la Disponibilidad (A) es necesario tener el tiempo de operatividad (OT) y el tiempo planeado de producción (PPT), la ecuación 2 muestra su modo de cálculo. Para el coeficiente de desempeño se requiere el total de piezas producidas (TP), el tiempo de operatividad (OT) y la tasa de corrida ideal (IRR), la ecuación 3 muestra su modo de cálculo. Para el cálculo del parámetro de calidad se requiere la cantidad de piezas buenas y el total de piezas producidas (TP), la ecuación 4 muestra su modo de cálculo.

$$OEE = AxPxQ \quad (1)$$

$$A = \frac{OT}{PPT} \quad (2)$$

$$P = \frac{TP}{OT \times IRR} \quad (3)$$

$$Q = \frac{GP}{TP} \quad (4)$$

### 3. Resultados

**Fase 1.** Para la primera fase del mapeo inicial empresarial, teniendo en cuenta que según pautas del proyecto original propone entre cuatro a cinco empresas representativas del sector metalmecánico (por limitación de recursos), se procedió a valorar las 37 empresas y a seleccionar según el método o la lista de verificación ponderada explicada previamente a un total de cuatro empresas que configuran la muestra intencional del estudio dando representatividad y factibilidad al desarrollo del proyecto. En la siguiente figura se observan las cuatro empresas seleccionadas y las ponderaciones realizadas.

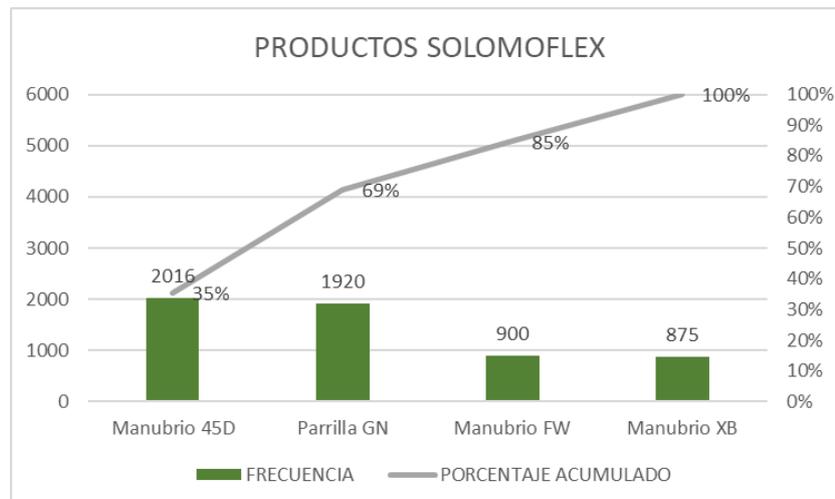
**Figura 5: Resultado del mapeo Empresarial**

BUSSCAR	MET GROUP	NORMARH	SOLOMOFLEX
<ul style="list-style-type: none"> <li>•D: 5 pts</li> <li>•F: 5 pts</li> <li>•A: 4 pts</li> <li>•T: 5 pts</li> <li>•Total: 4,75 pts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•D: 5 pts</li> <li>•F: 5 pts</li> <li>•A: 4 pts</li> <li>•T: 5 pts</li> <li>•Total: 4,75 pts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•D: 5 pts</li> <li>•F: 5 pts</li> <li>•A: 4 pts</li> <li>•T: 5 pts</li> <li>•Total: 4,75 pts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•D: 5 pts</li> <li>•F: 5 pts</li> <li>•A: 4 pts</li> <li>•T: 5 pts</li> <li>•Total: 4,75 pts</li> </ul>

**Fase 2.** En la segunda fase correspondiente a la selección del proceso. Esta fase involucra dos conceptos, para el primero referido a los productos que maneja cada organización se desarrolló un gráfico de Pareto por cada una de las empresas en donde se priorizan los productos con mayor frecuencia de fabricación, para luego considerar los productos que cubren el 80% según la regla 80/20 propuesta por Pareto y en donde se desarrolla un análisis de acuerdo al planteamiento de clasificación ABC.

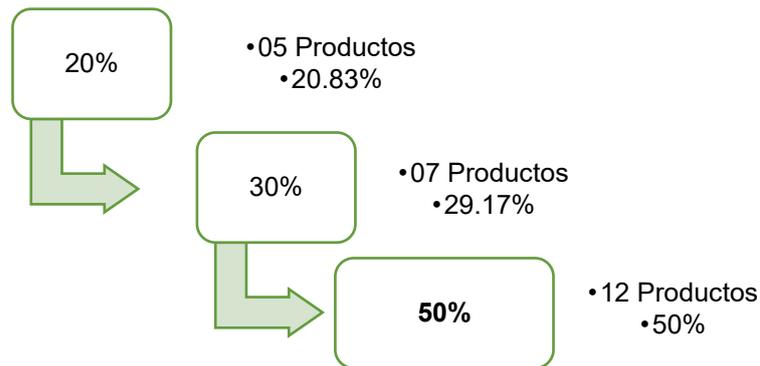
Para ejemplificar este proceso en la siguiente figura se tiene el grafico de Pareto de la empresa Solomoflex. Allí se puede observar que en tres referencias de productos fabricados para el ensamblaje de motocicletas (Manubrio 45D, Parrilla GN y Manubrio FW) se alcanza el 85% de la cantidad o frecuencia de productos fabricados.

**Figura 6: Resultado del mapeo Empresarial**



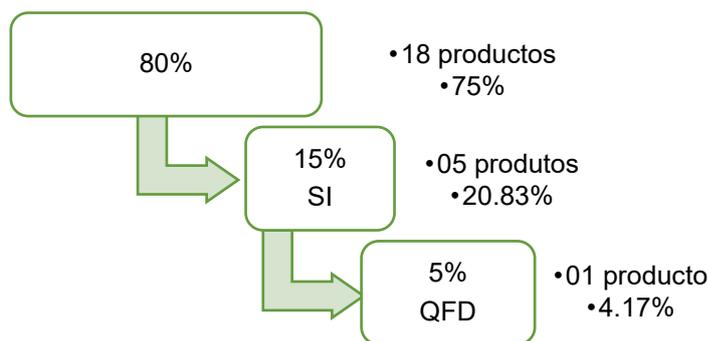
Teniendo en consideración la premisa de ABC 20/30/50 con respecto a la clasificación de los productos hacia el eje de la x en Pareto se tiene la siguiente aproximación para SOLOMOFLEX: un producto en clase A (Manubrio 45D), un producto clase B (Parrilla GN) y dos productos clase C (Manubrio FW y Manubrio XB). Al realizar un procedimiento similar para el conjunto de empresas seleccionadas, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 7, en la que categoría A contiene 05 productos (01 SOLOMOFLEX, 01 NORMARH, 01 MET GROUP y 02 BUSSCAR), en categoría B agrupa 07 productos (01 SOLOMOFLEX, 01 NORMARH, 01 MET GROUP y 04 BUSSCAR) y la categoría C involucra 12 productos (02 SOLOMOFLEX, 02 NORMARH, 01 MET GROUP y 07 BUSSCAR).

**Figura 7: ABC, Premisa 20/30/50**



Utilizando el análisis ABC bajo la premisa 80/15/5, con respecto al acumulado en unidades producidas y tomando como referencia los gráficos de Pareto de las cuatro empresas seleccionadas, se tiene la aproximación según figura 8 de: Dieciocho productos en categoría A (03 SOLOMOFLEX, 03 NORMARH, 02 MET GROUP y 10 BUSSCAR), Cinco productos en categoría B (01 SOLOMOFLEX, 01 NORMARH, 01 MET GROUP y 02 BUSSCAR) y Un producto en categoría C (01 BUSSCAR).

**Figura 8: ABC, premisa 80/15/5**



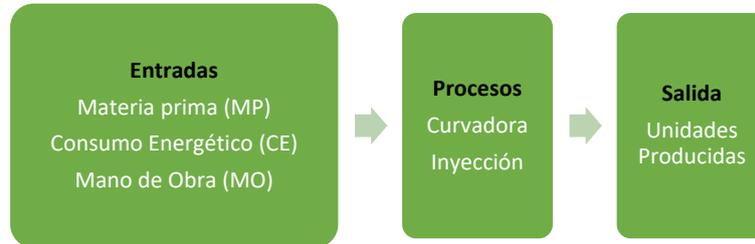
Para la definición de los procesos o maquinarias a estudiar se realiza un análisis con expertos de la empresa Cidentemm (Centro de innovación y desarrollo tecnológico de la metalmecánica y la manufactura) y de la Universidad Católica de Pereira en procesos de investigación con el sector metalmecánico en Risaralda, más la consultas en visitas realizadas a las empresas seleccionadas.

En este sentido, se seleccionaron un total de una maquina o proceso con los criterios en tecnología y línea en proceso de producción, para las empresas SOLOMOFLEX, MET GROUP y BUSSCAR se seleccionó el proceso de curvadoras de tubos, mientras que en la empresa NORMARH se seleccionó el proceso de inyección, ambos afines a productivos del sector metalmecánico en Risaralda.

**Fase 3.** Para la fase tres se inició con el análisis desde el enfoque de sistemas para generar los indicadores de productividad total y parcial en los procesos seleccionados. Por ello fue necesario realizar un análisis de las entradas comunes para la fabricación de los productos clasificados en el análisis ABC tanto bajo la premisa 20/30/50 como para la premisa 80/15/5. De esta forma se identifican un total de cuatro entradas comunes con mayor representatividad en los procesos de las curvadoras como en el proceso de inyección para

finés productivos del sector metalmecánico en Risaralda. La figura nueve resume los hallazgos encontrados.

**Figura 9: Desarrollo de indicador de productividad**



Por tanto, se tienen un total de cuatro indicadores netos comunes y representativos por cada empresa, que finalmente cuando se avance al diseño del sistema de indicadores de productividad con un posible análisis de costos y de ingresos monetarios podrán ser representados por las siguientes ecuaciones en mediciones mensuales:

$$Productividad\ Total = \frac{\$ \text{ equivalentes a las unidades mensuales producidas}}{\$ \text{ equivalentes al consumo de entradas mensuales}} \quad (5)$$

$$Productividad\ MO = \frac{\$ \text{ equivalentes a las unidades mensuales producidas}}{\$ \text{ equivalentes a los horas hombre mensual utilizada}} \quad (6)$$

$$Productividad\ CE = \frac{\$ \text{ equivalentes a las unidades mensuales producidas}}{\$ \text{ equivalentes a los Kwh mensual utilizados}} \quad (7)$$

$$Productividad\ MP = \frac{\$ \text{ equivalentes a las unidades mensuales producidas}}{\$ \text{ equivalentes a la materia prima mensual utilizada}} \quad (8)$$

La culminación de los indicadores dependerá del suministro de información en costos e ingresos por parte del sector empresarial. Mas, sin embargo, independientemente de esa información, tal igual como se realizó un desarrollo metodológico con fines de exportación para sector metalmecánico en Morris et al. (2022), el proyecto macro involucra una fase de diseño metodológico en indicadores de productividad bajo el enfoque de sistemas para complementar la gestión de capacidades productivas que permitan la articulación como nodo estratégico metalmecánico de Risaralda.

Por último, se tiene el desarrollo y análisis del indicador OEE. En la tabla 1 se evidencian los resultados en donde la empresa con mayor OEE es SOLOMOFLEX, seguido por BUSSCAR y cerrando con niveles similares NORMARH y MET GROUP.

**Tabla 1: Resultados de medición del OEE de las empresas**

	BUSSCAR	MET GROUP	NORMARH	SOLOMOFLEX
A (%)	81.35%	76.67%	71.90%	82.90%
P (%)	90.40%	90.50%	97.00%	90.10%
Q (%)	50.00%	66.67%	62.50%	100%
OEE	36.77%	46.26%	43.59%	74.69%

Tomando las referencias estándar para la interpretación del OEE, las empresas BUSSCAR, MET GROUP y NORMARH obtuvieron una valoración deficiente mientras; mientras que SOLOMOFLEX obtuvo una valoración regular. Para las valoraciones deficientes se estiman muy bajos niveles de competitividad y para las valoraciones regulares se tiene bajos niveles de competitividad.

#### 4. Conclusiones

Debido al uso de los diferentes métodos cualitativos y cuantitativos planteados a lo largo de la metodología se obtuvo un resultado óptimo donde los elementos obtenidos son gratamente provechosos para el desarrollo del proyecto en cuanto al mapeo para el fortalecimiento de las capacidades productivas en términos indicadores de productividad del sector metalmecánico en Risaralda, Colombia.

El método de selección empresarial se alcanza mediante la lista de verificación de factores en disponibilidad, fiabilidad, alineación y tecnología, permitiendo el mapeo inicial empresarial que sirve como eje central para los siguientes métodos que complementan el mapeo general en productividad del sector metalmecánico.

El uso de la técnica de Pareto, del análisis ABC y del listado de verificación con criterios para la viabilidad tecnológica y de las líneas de producción, contribuyeron a la selección de los procesos productivos de las curvadoras semiautomáticas y la inyectora de plástico, establecimiento de manera prioritaria los productos más representativos.

El enfoque sistemas para la generación de indicadores de productividad en conjunto a los procesos representativos identificados y priorizados, generan la oportunidad de identificar los indicadores de productividad total y parcial. Desde la perspectiva de los indicadores parciales los recursos más importantes a analizar son: mano de obra, consumo energético y materia prima.

Como resultado final y en compendio con los procesos anteriores se obtuvo la medición del OEE. Dicha evaluación realizada sobre la muestra demuestra que existe un amplio margen de mejora y posibilidades de fortalecer la competitividad del sector metalmecánico de la región, siendo estas cuatro empresas representativas de la región. A través del análisis de indicadores de productividad como el OEE es posible diseñar estrategias para fortalecer las empresas de la región.

#### 5. Referencias

Abramova, I. G., Abramov, D. A., & Ayzatulín, A. A. (2019, September). Concepts of Calculation Technological Equipment Efficiency Criteria. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 582, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.

Arenas, A. C. (2021). *Métodos mixtos de investigación*. Magisterio.

- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson educación.
- DANE, (2020, noviembre 20), Mercado Laboral, DANE, <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-y-desempleo>
- Dinero (2016, septiembre 14), Generado Online, Un trabajador en EEUU es casi 4,3 veces más productivo que en Colombia, Dinero <https://www.dinero.com/economia/articulo/las-razones-de-la-baja-productividad-en-colombia-y-latinoamerica/231827>
- Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., & Morelos Gómez, J. (2018). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión empresarial*, 16(1), 47-60.
- Martín Noguerras, A. M., Artigas Martín, J. E., Bermejo Gil, B. M., Díez García, R., García Astudillo, E., Llamas Ramos, I., ... & Sánchez González, J. L. (2021). Elaboración de listas de verificación para la realización, tutorización y evaluación de Trabajos Fin de Grado.
- Miranda, J., & Toirac, L. (2010). Indicadores de productividad para la industria dominicana. *Ciencia y sociedad*.
- Morris, Ll., Salazar, O., & Espejo H. (2022). *Directive Management in complex systems to promote the level of use of techniques in operations (IHSI 2022): Italy*, Springer Nature.
- Parra-Peña, R. I., & Puyana, R. (2021). Análisis de la productividad del sector agropecuario en Colombia y su impacto en temas como: encadenamientos productivos, sostenibilidad e internacionalización, en el marco del programa Colombia más competitiva.
- Silva, S. B., Araujo, P. V. G., Santos, P. F. T., Barreto, L. C. C., & Carneiro Neto, J. A. (2019). Diagrama de Pareto: verificação da ferramenta de qualidade por patentes. *Anais do XI SIMPROD*.
- World Economic forum (2019), The GlobalCompetitiveness Report. Schwab, K. (Ed) <https://www.weforum.org/gcr>

### Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Mapeo para el fortalecimiento de las capacidades productivas en términos indicadores de productividad en las alianzas de sector metalmecánico en Risaralda, para el crecimiento económico del sector empresarial colombiano.