



## Technology development for the manufacture of wood products from a BPM/PLM approach

---

Jorge Esteban Montoya Cano, Carlos Mario Echeverri Cartagena,  
Carlos Rodriguez and Andres Felipe Alzate Graciano

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

July 14, 2018

# Evaluación de la Implementación de Metodologías BPM/ PLM Para la Fabricación de Productos de Madera en un Proyecto Académico

*Abstract – This case of study it is showed how the implementation of two different methods reach the effective interaction of engineering processes that have statistically meaningful differences between the key performance indicators for the reaching, the cost and the time. Both from the identification of projects, products, machines and in general of the technologies involved in the manufacturing of products made of wood. The first one is based on the framework from the Project Management Institute (PMI), meanwhile the second one is based on a mixture of Business Processes Management (BPM) and the Product Lifecycle Management (PLM) for projects management. The case of study describes the key focuses, assumptions and tasks required by them, like the experimental design and the statistically comparison gotten between them. At the end, the effects of both focuses related with the key performance indicators for the reaching, cost and time are discussed.*

*Abstract– Este caso de estudio se muestra cómo la implementación de dos métodos diferentes que alcanzan la interacción efectiva de los procesos de ingeniería tienen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de rendimiento clave para el alcance, el costo y el tiempo. Ambos desde la identificación de proyectos, productos, máquinas y en general, las tecnologías involucradas en la fabricación de productos de madera. El primero se basa en el marco del instituto de gestión de proyectos (PMI), mientras el segundo se basa en una mezcla de gestión de procesos de negocio (BPM) y gestión del ciclo de vida del producto (PLM) para gestión de proyectos. El estudio de caso describe los enfoques, suposiciones y tareas clave requeridas por ellos, así como el diseño experimental y la comparación estadística obtenida entre ellos. Al final, los efectos de ambos enfoques relacionados con los indicadores clave de rendimiento para el alcance, el tiempo y el costo son discutidos.*

*Palabras clave-- Gestión por procesos (BPM), Administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), tecnologías de fabricación, Indicadores de rendimiento (KPI), Gestión de proyectos.*

## I. INTRODUCCIÓN

La interacción entre procesos de ingeniería, arquetipos para desarrollo de productos y modelos de innovación constituye para muchas compañías el eje central que garantiza la supervivencia en un entorno en el que deben buscar adaptarse rápidamente a la expectativa de los mercados [1]. Características como el crecimiento de costos, escases de mano de obra especializada, tiempos para lanzamientos reducidos (time to market) y el distanciamiento entre la

empresa y sus mercados debido a la globalización, ha llevado a los equipos de ingeniería a mejorar su conocimiento y desempeño, no obstante, los retos mencionados no son problemas aislados y por tanto, un enfoque sistémico es requerido [2].

En la industria Aeroespacial y de defensa, así como las empresas del sector automotriz son muy conscientes del hecho de que es imposible sobrevivir en la actualidad o adquirir nuevos segmentos de mercado sin una estrategia organizativa adecuada y orientada al ciclo de vida del producto [3][4]. Sin embargo, la adopción de la estrategia de PLM no es una solución trivial [5], y una gran cantidad de compañías aun invierten esfuerzos para encontrar estrategias que les ayude en el soporte de sus procesos. Estos, en conjunto con la planeación de la organización, la ejecución de la estrategia y el desarrollo de productos, necesitan ser medidos e integrados a fin de generar valor con una mayor confiabilidad y menores costos a la vez que se desarrollan de manera rápida y con integridad de la información tal como se logra con la administración a través del ciclo de vida del producto PLM (Del inglés- product lifecycle management), en otras industrias [6].

Para tales mediciones, en la administración de proyectos se propone el uso de indicadores de desempeño (KPI del inglés- Key Performance Indicator), como la métrica del rendimiento de la gestión de proyectos y los recursos utilizados para la consecución de los mismos [7]. Estos entonces son objeto de uso por las organizaciones para determinar si los resultados obtenidos en cada medición son importantes para contrastar lo obtenido entre diferentes escenarios [8].

Sin embargo, las operaciones de las compañías se han vuelto complejas dando lugar a procesos poco claros que presentan falta de consistencia en estas métricas a través de los ciclos de vida de los productos, teniendo diferentes indicadores que expresan la misma métrica, utilizan la misma información pero se calculan y se definen de forma diferente [9]. Lo anterior podría sugerir las siguientes preguntas: 1. ¿Cómo se podría garantizar trazabilidad en la información a través del ciclo de vida del producto para productos de la madera? 2. ¿Cómo se podría aumentar la eficiencia de los procesos cuando se desarrollan máquinas complejas?

Para responder a estas preguntas se erige una propuesta metodológica que tiene como eje central los enfoques de gestión por procesos (BPM – del inglés, Business Process Management) en conjunto con la estrategia de administración a través del ciclo de vida de productos (PLM - del inglés, Product Lifecycle Management), integrándose para facilitar la creación de productos de alta complejidad, al tiempo que se impulsa la productividad de los equipos involucrados en la interacción de procesos de ingeniería e innovación.

Por lo anterior, el objetivo central de la investigación es presentar el método propuesto para el desarrollo de proyectos en el cual se diseñan y fabrican máquinas para la manufactura de productos de madera y a su vez el análisis de la diferencia significativa que se presentan en los indicadores de rendimiento respecto al método anterior.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Premisas

La gestión de proyectos se ha convertido en una poderosa manera de integrar las funciones de las organizaciones y motivar a los grupos para alcanzar mayores niveles de rendimiento y productividad [10].

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto [7].

En un proyecto típico, muchas tareas se ejecutan simultáneamente, una con la otra. Otra característica clave de los proyectos es la existencia de relaciones de precedencia entre las tareas. Estas relaciones suelen definir las restricciones que requieren una tarea a ser completada antes de que otra comience [11].

### B. Método AS-IS

La metodología de administración de proyectos es un enfoque estructurado compuesto por un conjunto de procesos con actividades claramente definidas destinadas a la ejecución de proyectos [12]. Ahora bien, una administración de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Se puede ver como la aplicación secuencial de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado, las capacidades se pueden almacenar y transferir con el tiempo, el espacio y el contexto. Además, la administración de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a

la pérdida de conocimiento tácito almacenado en las memorias individuales [13].

Para este caso, el proyecto se regirá bajo el marco de fundamentación del PMI, con un ciclo de vida de proyecto predictivo, el cual se define como una secuencia de actividades a ser seguidas en orden, donde la estrategia principal es definir y seguir el progreso del desarrollo del proyecto hacia puntos de revisión bien definidos, es decir, se avanza en la realización del proyecto y se reparan los errores; es un proceso de continuo de realización y reparación. Dentro de las principales características del método para un proyecto que se desarrollará con ciclo de vida predictivo se encuentran:

1. Es lineal, las actividades se encuentran relacionadas secuencialmente, cada etapa tiene una entrada y una salida.
2. La entrada de una actividad es la salida de la etapa anterior, por lo cual no se puede dar inicio a la siguiente fase.

Por último, en [14] se presentan detalles adicionales de este método, de allí se toma la siguiente ilustración donde se muestran las herramientas metodológicas, fases (Inicio, planeación, ejecución, control y cierre), y los entregables utilizados en el mismo.

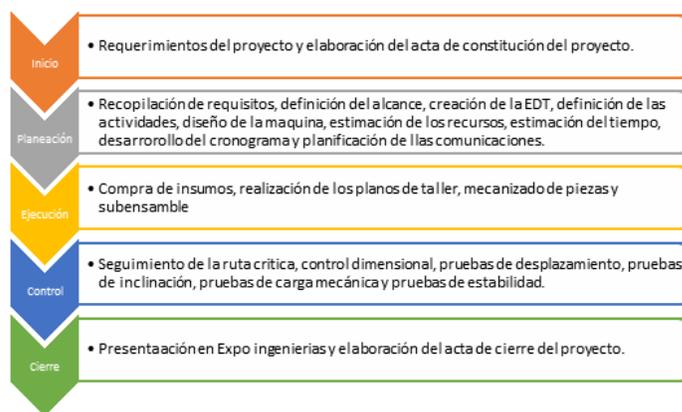


Fig. 1 Herramientas utilizadas en el caso de estudio para la gestión del Proyecto (Echeverri, 2016).

### C. Método TO-BE

El enfoque propuesto de integración de gestión por procesos y el uso del enfoque de administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), consiste en un proceso iterativo para el cual de manera gradual se realizan entregas del producto sin generar esperas hasta el final del proyecto. Ahora, el valor agregado del uso de este enfoque consiste en lograr traer prácticas y conocimiento de áreas diferentes de ingeniería para lograr integrar el conocimiento de diseño mecánico y fundamentos de fabricación con áreas de administración de proyectos que permitan acortar los tiempos de entrega de la maquinaria al sistema productivo. Adicionalmente, con la estrategia de PLM e ingeniería colaborativa se proponen

herramientas de Tecnologías de la Información (TI) para el manejo de información del proyecto de manera ordenada y controlada por el equipo mismo.

Como se menciona anteriormente, el enfoque difiere del método AS-IS en que este se basa en liberaciones de subensambles del producto para ser probados como alternativa al uso de la metodología secuencial tipo cascada. Este tipo de enfoque puede ser homólogo a proyectos ejecutados como un proceso que es acoplado a partir de componentes, lo cual es comúnmente utilizado en la ingeniería de software, como respuesta a las limitaciones que se tienen en las metodologías en secuencia [15], con el objetivo de que los equipos estén en capacidad de responder a eventos de incertidumbre, con ejecución en modo de incrementales y etapas iterativas [16].

Para detallar e ilustrar la implementación de la metodología esta partió de la definición iteraciones para la construcción del prototipo (Ver figura 2).

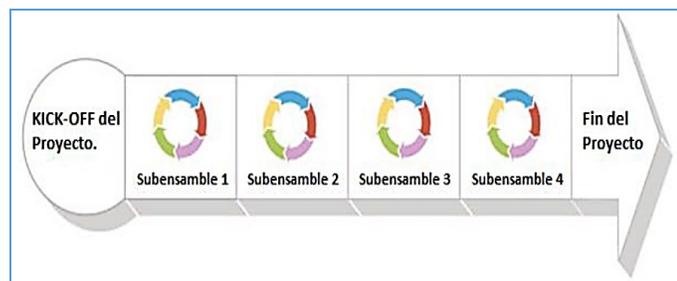


Fig. 2 Metodología Académica para el proyecto de elementos de máquinas. (Echeverri, 2016)

Una vez definida el número de iteraciones para desarrollar el trabajo, en cada iteración, de acuerdo a [17] se contemplan 5 procesos: 1. Levantamiento de requerimientos, 2. Diseño detallado, simulación y pruebas del diseñador, 3. Fabricación y ensamble de componentes para prototipo, 4. Planeación y ejecución de casos prueba de producto, 5. Liberación, evaluación y priorización del siguiente ciclo (Ver figura 3).



Fig. 3. Detalle de procesos dentro de cada iteración (Echeverri, 2016)

#### D. Método de Investigación

El presente estudio se realiza en los talleres de fabricación e ingeniería del detalle del edificio de ingenierías de la universidad EAFIT, Medellín Colombia, en la asignatura Proyecto de Elementos de Maquinas de pregrado en Ingeniería de Producción. El diseño experimental se establece de manera comparativa conformando 10 equipos de proyecto, de los cuales 2 estarán clasificados en el grupo control y tendrán su actuar definido bajo el método sin tratamiento de diseño y fabricación (Método AS-IS). Por otra parte, el número restante de proyectos estarán en el grupo con tratamiento, el cual efectuará los procesos de diseño y fabricación bajo el método propuesto (Método TO-BE). El alcance de cada uno de los proyectos cubija el diseño y fabricación de una ruteadora para madera de control numérico por equipo (Ver figura 4), con el objetivo de desplegar una línea de producción para la fabricación de piezas de madera que se puedan ensamblar logrando la fabricación de productos complejos (Ver figuras 5 y 6).



Fig. 4 Centro de mecanizado de control numérico



Fig. 5 Producto a fabricar



Fig. 6 Productos fabricados

En suma, Los 10 proyectos tendrán el mismo alcance, acceso a los mismos talleres, equipos de cómputo, paquetes de software, operarios y laboratorios, a fin de evitar discrepancias en cuanto al uso de máquinas, herramientas, equipos y/o cualquier otro tipo de recurso físico que pueda representar influencia significativa diferente a los enfoques metodológicos.

El cronograma de trabajo se estableció en 16 semanas. Es decir, el total de productos, planos de taller y de manufactura, manuales de operación, el centro de mecanizado y la línea en estado funcional deben ser entregados en la semana 16 una vez se dé inicio al proyecto. Para el caso de estudio, basados en lo establecido por el [7], Cualquier condición que se salga de los parámetros básicos del alcance y el cronograma, se considera un incumplimiento de las condiciones iniciales del proyecto. Finalmente, las siguientes son características relevantes de cada uno de los grupos de proyecto:

- Miembros del programa de Ingeniería de producción de último semestre.
- 5 miembros para el desarrollo de cada uno de los proyectos.
- Soporte técnico y funcional para la ejecución de cada una de las etapas.
- Uso de software y paquetes de simulación, diseño y manufactura (Solidworks, SolidCam, Creo Parametric 2.0).
- Los grupos control y los grupos con tratamiento tendrán las mismas métricas para las variables alcance, tiempo y cronograma.

## II. MÉTODO DE MEDICIÓN DE DESEMPEÑO

Para esta investigación se hace uso del método de gestión del valor ganado (EVM). La cual es una metodología que combina medidas para evaluar el avance y desempeño de proyectos [7]. En particular se han seleccionado los KPI entorno a las variables de tiempo y costo, para lo que se tienen los

siguientes: Índice de Desempeño del Alcance, del costo y del Cronograma.

Para dar lugar a la especificación de estos indicadores es necesario definir las variables entrada que tendrán los indicadores como se muestra a continuación:

- El valor planificado (PV): Es el presupuesto o costo autorizado para realizar el proyecto, es decir, el trabajo programado.
- El valor ganado (EV): Es la medida del trabajo realizado en términos del presupuesto autorizado para dicho trabajo. Este es utilizado a menudo para medir el avance de un proyecto dado que corresponde con el avance de las tareas.
- Costo real (AC): Es el costo real en el que se ha incurrido para realizar los trabajos que son requeridos en el proyecto.
- Requerimientos satisfechos (RS): Constituyen el número de requerimientos que han sido liberados para ser utilizados por el proyecto.
- Requerimientos planificados (RP): Constituyen el alcance en términos de los requerimientos que lo representan y que constituyen el total de lo solicitado.

### A. Índice de Desempeño del Alcance

Completar los requerimientos es uno de los factores clave de éxito para la gestión de proyectos[18]. Un índice de rendimiento de los requisitos puede medir el grado en que los resultados del proyecto cumplen con los requisitos.

$$SPA = (RS/RP) \quad (1)$$

Donde:

SPA= Índice de desempeño del alcance.

RS= Numero de requerimientos satisfechos.

RP= Numero de Requerimientos planificados.

### B. Índice de Desempeño del Cronograma

De acuerdo con el PMI (2013), el índice de desempeño del cronograma (SPI) es el indicador que se encarga de evidenciar la eficiencia con la que el equipo de proyecto está utilizando su tiempo. Este es utilizado a menudo junto con el índice de desempeño del costo para proyectar las métricas finales al fin del proyecto y se define como la razón entre el valor ganado y el valor planificado.

$$SPI = (EV/PV) \quad (2)$$

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado.

PV= Valor planificado.

### C. Índice de Desempeño del Costo

De acuerdo con el PMI (2013), el índice de desempeño del costo (CPI) es la medida más crítica de toda la metodología EVM dado mide la eficiencia del costo respecto al trabajo completado. Este se define como la razón entre el valor ganado y el costo real del proyecto, que si es tomado con corte al final del proyecto representará el costo total.

$$CPI = (EV/AC) \quad (3)$$

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado.

AC= Costo real.

### D. Procesamiento de Datos

Las comparaciones de grupos (Grupo control vs. Grupo con tratamiento) se llevaron a cabo por medio de una prueba t de dos muestras y una sola cola suponiendo que las dos muestras procedían de distribuciones normales. Además, antes de proceder con el t-test de una vía se probará que las varianzas son independientes y significativamente diferentes (Prueba F para varianzas de dos muestras). Todas las pruebas se realizan con un nivel de confianza de 95% ( $\alpha=0.05$ ).

Las hipótesis consideradas en el experimento serán las siguientes:

**H<sub>1</sub>**: Los proyectos involucrados en la investigación incrementan cada uno de sus KPI de manera independiente en más del 15% con el método propuesto.

**H<sub>0</sub>**: Los proyectos involucrados en la investigación NO incrementan cada uno de sus KPI de manera independiente en más del 15% con el método propuesto.

No se realiza ninguna corrección del valor de  $\alpha$  para las pruebas debido a que el tamaño de muestra es relativamente pequeño. En este punto, es conveniente resaltar que sigue siendo un hecho estadístico que las medidas que disminuyen  $\alpha$  aumentará a menudo  $\beta$  [19]. Ahora, Mudge et al. [20] argumentaron que los investigadores deberán reducirse al mínimo la probabilidad combinada (o coste) de los errores de tipo I (es decir, falsos positivos) y errores de tipo II (es decir, falsa negativos). De este mismo estudio se sostiene que cuando el tamaño de la muestra es más pequeño, un valor  $\alpha$  más liberal debe ajustarse para minimizar la probabilidad total de error.

Soportado en lo anterior, en el presente caso este hecho se utiliza para no ajustar  $\alpha=0.05$  a valores menores a que puedan aumentar desproporcionadamente el valor de  $\beta$ .

## III. RESULTADOS

Durante la realización del experimento se observan diferencias en los indicadores de rendimiento entre los grupos que actuaron con el método actual (Grupo control/AS-IS) y el método propuesto (grupo con tratamiento/TO-BE). En general se registra una mejora de los indicadores de rendimiento del

proyecto en las variables seleccionadas para la investigación (Ver tabla 1), en particular al realizar las pruebas de varianzas se prueba que las varianzas son desiguales (Ver tabla 2), evitando un sesgo para los t-test de una cola involucrados en las pruebas de hipótesis.

Respecto a la hipótesis planteada de una mejora de por lo menos el 15% en los indicadores de performance. Esta se prueba bajo la hipótesis nula con el estadístico t, el cual se distribuye con una distribución t de Student con  $n - 1$  grados de libertad, por lo que H<sub>0</sub> se rechaza si  $|t_0| > t_{\alpha/2, n - 1}$ , o si  $\text{valor-p} < \alpha$ .

De lo anterior, se observa que para todos los indicadores se cumple que  $\text{valor-p} < \alpha$  y por tanto se reporta una diferencia significativa en los KPI de por lo menos el 15% entre el grupo control y el grupo con tratamiento (Ver Tabla 3).

TABLA I  
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA EL GRUPO CONTROL (AS-IS) Y EL GRUPO CON TRATAMIENTO (TO-BE)

Estadística descriptiva					
	Alcance.			Tiempo	
	Control	Tratamiento		Control	Tratamiento
Media	0.95	1.20	Media	0.76	1.25
Error típico	0.0846	0.00596	Error típico	0.16350	0.00438
Mediana	0.946	1.197	Mediana	0.76	1.255
Desviación estándar	0.1196	0.0169	Desviación estándar	0.23122	0.01685
Costo					
	Control	Tratamiento			
	Control	Tratamiento			
Media	1.82	1.12			
Error típico	0.0662	0.00267			
Mediana	1.82	1.12			
Desviación estándar	0.09362	0.00756			

TABLA II  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS F PARA LAS VARIANZAS DE LOS INDICADORES DE RENDIMIENTO ENTRE GRUPO CONTROL Y GRUPO CON TRATAMIENTO

	Alcance	Tiempo	Costo
F	50.41521509	188.3026415	153.3854
P(F<=f) una cola	0.0001936	2.57302E-06	5.1429E-06
Valor crítico para F (una cola)	5.591447851	5.591447851	5.591447851
$\alpha$	0.05		

Dado que  $F_0 > F_{\alpha/2, n_1 - 1, n_2 - 1}$  y  $\text{Valor-p} < \alpha$ . Se acepta que las varianzas son independientes y significativamente diferentes.

TABLA III  
 RESULTADOS DE LOS T-TEST DE UNA COLA CON VARIANZAS DESIGUALES  
 ENTRE EL GRUPO CONTROL Y EL GRUPO TRATAMIENTO PARA CADA INDICADOR  
 DE RENDIMIENTO

	alcance	Tiempo	Costos
Diferencia hipotética de las medias	0.15	0.15	0.15
Estadístico t	-5.93978278	-3.93469778	8.30139471
P(T<=t) una cola	<b>0.05309161</b>	<b>0.07922093</b>	<b>0.03816027</b>
Valor crítico de t (una cola)	6.31375151	6.31375151	6.31375151
P(T<=t) dos colas	0.10618322	0.15844186	0.07632055
Valor crítico de t (dos colas)	12.7062047	12.7062047	12.7062047
$\alpha$	<b>0.05</b>		

Se acepta  $H_0$  para cada uno de los indicadores de rendimiento basados en que se cumple que  $\text{valor-p} < \alpha$  para las 3 variables, por tanto, existe una diferencia significativa en cada uno de los KPI's de por lo menos el 15% entre el grupo control y el grupo con tratamiento.

#### IV. DISCUSIÓN

Retomando, el objetivo de este estudio fue evaluar las diferencias en el rendimiento global de los proyectos entre un método propuesto por iteraciones, que integraba enfoques de gestión por procesos (BPM) en conjunto con administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), y un grupo control que utilizó el método actual suponiendo un ciclo de vida predictivo (Cascada) para el desarrollo de tecnologías de fabricación de artículos de madera. Tales diferencias, fueron medidas a lo largo de los proyectos teniendo en cuenta el método de gestión del valor ganado (EVM).

Ahora bien, gestionando los proyectos se observan diferencias notables no solo en estos indicadores sino además, en la gestión interna de los miembros de los equipos. Una diferencia importante en relación a lo anterior es el nivel de comunicación que llegan a desarrollar los equipos entre el método TO-BE y el método AS-IS. Esto se refiere que, con el método propuesto, los equipos desarrollaron el trabajo de cada etapa con una mayor cohesión y una mayor sinergia para llevar a cabo procesos del proyecto proponiendo soluciones rápidas para superar dificultades y realizar una detección temprana de defectos con producto terminado. Por otra parte, el proceso AS-IS al tener a los grupos de proyecto caracterizados y un mayor rompimiento de las actividades brindó una mejor claridad en los miembros de las tareas que debe realizar cada uno y los momentos en los que deben intervenir generando situaciones de un mayor control, generando en consecuencia que los miembros perciban sus tareas como actividades de relevo en las que la cohesión del equipo se ve afectada con la aparición de dificultades.

A pesar de lo anterior se observa un desempeño satisfactorio para el indicador de rendimiento del alcance para los dos enfoques. Aunque se presenten diferencias porcentuales entre los mismos, esto puede explicarse dado el enfoque hacia el proceso final de producción que desempeñaría la máquina el

cual tuvo en cuenta el método TO-BE. Es decir, enfocando a los equipos hacia la función de fabricación de la máquina estos tienen en cuenta no solo la entrega de la máquina funcional, sino además la integración que el proyecto debe garantizar para no tener afectaciones a nivel del proceso productivo, teniendo en consecuencia una disminución de re-procesos al momento de la puesta en marcha de toda la línea de producción. Este punto en comparación al proceso AS-IS tiene un comportamiento diferente en la medida en que es en la etapa de ejecución donde se observan los re-procesos y allí la intención de los equipos se enfocó en garantizar la función de la máquina en conjunto sin considerar para ese momento la integración, cabe mencionar que este comportamiento se presentó de manera natural en los dos grupos control y si bien este comportamiento no evidencia una gran afectación del indicador del alcance (Es decir, el trabajo se está realizando), si tiene mayor visibilidad en esfuerzo, mostrando comportamientos crecientes del tiempo y costo que son requeridos para llegar a completar el cierre del proyecto.

Si bien, los datos muestran mejoras significativas entre los indicadores de rendimiento, se sugiere proceder de manera diligente con la fundamentación en BPM y PLM, para que en caso de propender masivamente por una implementación se considere un periodo de estabilización que permita el acople de los equipos a nuevos métodos de trabajo. Al tiempo en el que se producen ajustes de la cultura de los mismos para poder desarrollar de manera integral un pensamiento orientado a facilitar la elaboración de productos de madera con tecnologías de fabricación sin olvidar la sincronización, integralidad y en general, el rendimiento combinado de toda la línea de producción con todos los elementos que puedan intervenir en ella.

Por último, se observó que con el uso del enfoque de PLM los equipos de manera natural promovieron prácticas de reingeniería en cuanto al reúso de componentes, planos, modelos 3D y en general la documentación de los proyectos permitiendo la reducción de tiempos en el diseño de la máquina y en el diseño del producto a manufacturar. La definición de materiales, herramientas de corte y parámetros de fabricación clave tales como: avance, profundidad de corte y revoluciones por minuto al ser definidos de manera iterativa y a medida que avanza el proyecto, permitió revisión en detalle en el momento en el que son requeridos en cada ciclo generando tiempos cortos de pedido, lo cual al final se traduce en minimización del riesgo de escases de recursos necesarios para fabricación. En este punto, para la metodología As-Is, los materiales, herramientas y parámetros de fabricación son definidos desde los diseños, lo cual tiene también resultados satisfactorios en cuanto a exactitud y precisión de los procesos de manufactura y su simulación, pero traduce tiempos en el proceso enfocados en documentación en lugar de producto terminado.

Estos tiempos entre los diseños y la fabricación de la máquina, establecen riesgos de escasez de recursos con impacto alto en las métricas del proyecto en cuanto a que existe la posibilidad de que en la etapa de ejecución los recursos requeridos no se encuentren disponibles. Esta situación puntual se presentó durante la investigación, lo cual tuvo influencia directa en los costos de compra de materiales y tiempos adicionales para el ajuste de los diseños, parámetros y herramientas del proceso actual. Ahora, en cuanto a la trazabilidad de toda la información y la documentación de los proyectos, en específico, el uso de repositorios informáticos del PLM en lugar de los repositorios en software, herramientas y rutas locales, establece un punto de referencia importante. En específico, con el enfoque To-Be se aseguró el 100% de la información del proyecto parte de todos los equipos bajo este tratamiento, mientras que con el enfoque As-Is solo se aseguró el 80% de la documentación de todo el proyecto.

## V. CONCLUSIONES

Para las compañías del sector industrial de manufactura, y en este caso para las compañías que desarrollan productos utilizando como materia prima madera, es crucial dominar prácticas para la administración de sus proyectos de desarrollo de productos y, además, la forma en la que ellos desarrollan su tecnología a fin de bajar la presión que puede generar ser oportunos en el alcance de sus objetivos en forma costo-eficiente. Las variables que pueden afectar el logro de objetivos a veces pueden resultar obvias, sin embargo, la interacción de los equipos dentro de los procesos de ingeniería en el desarrollo de tecnología, productos y servicios en diferentes industrias es altamente compleja [1], [21].

Luego, de no tener un enfoque sistémico las compañías se encontrarán en problemas profundos que aumentarán la complejidad de sus procesos y, en consecuencia, afectará la eficiencia atada a ellos. Los métodos descritos y comparados en este estudio reflejan como el ordenamiento de tareas, procesos, entregables y equipos, satisfacen la necesidad de desarrollar tecnología de manera en la que esta complejidad se reduce significativamente si se implementan las mismas de manera minuciosa. En este caso, el estudio es claro en cuanto a que los indicadores de rendimiento muestran mejores métricas entre ambos métodos, logrando al final una diferencia del 15% para los indicadores asociados a objetivos (alcance), oportunidad (tiempo) y recursos invertidos (costo).

Ahora, en la revisión de los métodos, la interacción de los equipos enfocada a procesos en lugar de la segmentación por tareas del método en cascada, sugiere una mejora en la comunicación, cohesión y sinergia entre los equipos y sus dinámicas de trabajo. Este ítem, genera especial atención en el futuro de la investigación, ya que es requerido encontrar una definición para los diferentes indicadores de rendimiento que

podrían dar métricas cualitativas o cuantitativas sobre las variables que finalmente están relacionadas al desarrollo de las personas que componen los equipos respecto al método de gestión del proyecto.

Respecto a las preguntas que motivan la investigación los resultados permiten concluir, de acuerdo a los datos arrojados por el experimento y a las pruebas estadísticas, que existen diferencias significativas en los métodos. Además, en el caso puntual del despliegue del método iterativo (To-Be) como proceso definitivo, los resultados refieren una mejora significativa de por lo menos el 15% en los indicadores globales de rendimiento de costo, alcance y tiempo, respecto al proceso en cascada (As-Is). Además, resulta un hecho relevante a concluir en cuanto que el aprovechamiento del enfoque de PLM mejora de manera notable la trazabilidad de la información y la custodia de la documentación perteneciente a los proyectos.

Por lo tanto, la dirección futura de la investigación podría ser un plan de investigación utilizando un software que permita un enfoque integrado, basado en la información integrado por las personas, los procesos/prácticas, y la tecnología en todos los aspectos de la vida del producto, desde su diseño hasta la fabricación, distribución y mantenimiento. Para la transferencia de la información del producto acerca de la pérdida de tiempo, energía y material a través de todos los involucrados del proyecto desde los proveedores hasta el usuario. Este proyecto podría ser la base para una línea importante de investigación futura en la gestión de proyectos que cumplan el alcance previamente pactado dentro del cronograma y los costos previstos.

## REFERENCES

- [1] C. Ebert and J. D. Man, "Effectively utilizing project, product and process knowledge," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 50, no. 6, pp. 579–594, May 2008.
- [2] Z. Xu, X. G. Ming, W. Song, L. He, and M. Li, "Collaborative Project Management: A Systemic Approach to Heavy Equipment Manufacturing Project Management," *Syst. Pract. Action Res.*, vol. 27, no. 2, pp. 141–164, Dec. 2012.
- [3] M. Alemanni, G. Alessia, S. Tornincasa, and E. Vezzetti, "Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study," *Comput. Ind.*, vol. 59, no. 8, pp. 833–841, Oct. 2008.
- [4] M. G. Violante and E. Vezzetti, "A methodology for supporting requirement management tools (RMT) design in the PLM scenario: An user-based strategy," *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 7, pp. 1065–1075, Setiembre 2014.
- [5] M. Bokinge and J. Malmqvist, "PLM implementation guidelines – relevance and application in practice: a discussion of findings from a retrospective case study," *Int. J. Prod. Lifecycle Manag.*, Apr. 2012.
- [6] X. G. Ming, J. Q. Yan, W. F. Lu, and D. Z. Ma, "Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management – Status Review and Future Trend," *Concurr. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 311–319, Dec. 2005.
- [7] Project Management Institute, Inc., *Guía del PMBOK*. Newtown Square, Pensilvania, 2013.
- [8] G. Issar and L. R. Navon, *Key Performances Indicators (KPI)*. Springer International Publishing, 2016.

- [9] G. Pintzos, M. Matsas, and G. Chryssolouris, "Defining Manufacturing Performance Indicators Using Semantic Ontology Representation," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 8–13, 2012.
- [10] G. Fernandes, S. Ward, and M. Araújo, "Improving and embedding project management practice in organisations — A qualitative study," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 33, no. 5, pp. 1052–1067, Jul. 2015.
- [11] N. G. Hall, "Project management: Recent developments and research opportunities," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 129–143, Jun. 2012.
- [12] M. A. Terlizzi, F. de S. Meirelles, and H. R. O. C. de Moraes, "Barriers to the use of an IT Project Management Methodology in a large financial institution," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 34, no. 3, pp. 467–479, Abril 2016.
- [13] O. Ibert, "Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology," *Res. Policy*, vol. 33, no. 10, pp. 1529–1546, Dec. 2004.
- [14] C. Echeverri, C. Rodríguez, J. Montoya, and A. Alzate, "Aplicación del Marco de Fundamentación del Project Management Institute (PMI) para la Asignatura Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos," *Eng. Innov. Glob. Sustain. Proc. 14th Lat. Am. Caribb. Conf. Eng. Technol. - LACCEI*, Aug. 2016.
- [15] I. Sommerville, *Software Engineering*, Ninth. Pearson education Inc., 2010.
- [16] T. Dingsøyr, S. Nerur, V. Balijepally, and N. B. Moe, "A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development," *J. Syst. Softw.*, vol. 85, no. 6, pp. 1213–1221, Jun. 2012.
- [17] C. Echeverri, C. Rodríguez, J. Montoya, and A. Alzate, "Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM: Caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad de ingeniería," *Eng. Innov. Glob. Sustain. Proc. 14th Lat. Am. Caribb. Conf. Eng. Technol. - LACCEI*, Aug. 2016.
- [18] C. Center of business practices, *Measures of Project Management Performance and Value. A BENCHMARK OF CURRENT BUSINESS PRACTICES. CENTER FOR BUSINESS PRACTICES*, 2005.
- [19] K. Fiedler, F. Kutzner, and J. I. Krueger, "The Long Way From -Error Control to Validity Proper: Problems With a Short-Sighted False-Positive Debate," *Perspect. Psychol. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 661–669, Nov. 2012.
- [20] J. F. Mudge, L. F. Baker, C. B. Edge, and J. E. Houlahan, "Setting an Optimal  $\alpha$  That Minimizes Errors in Null Hypothesis Significance Tests," *PLoS ONE*, vol. 7, no. 2, p. e32734, Feb. 2012.
- [21] F. Segonds, F. Mantelet, J. Nelson, and S. Gaillard, "Proposition of a PLM tool to support textile design: A case study applied to the definition of the early stages of design requirements," *Comput. Ind.*, vol. 66, pp. 21–30, Enero 2015.