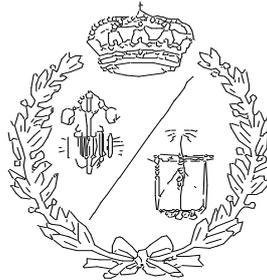


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DERIVADA DEL
DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN PLM (PRODUCT
LIFECYCLE MANAGEMENT) EN UNA OFICINA DE
INGENIERÍA DE MEDIANO TAMAÑO**

*“Technical-economic viability derived from the design and
implementation of a PLM (Product Lifecycle Management)
system in a medium-size engineering office”*

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

ÍNDICE GENERAL DEL TRABAJO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A PLM	3
CAPÍTULO 2. ¿QUÉ ES PLM?	7
2.1. PLM: gestión del ciclo de vida del producto	7
2.1.1. Definición de empresa y clasificación.....	7
2.1.2. Etapas en el desarrollo de un producto.....	8
2.2. Funciones del PLM.....	18
2.3. Características de un sistema PLM.....	22
2.3.1. Información gestionada por un sistema PLM.....	23
2.3.2. Beneficios y riesgos a tener en cuenta en un sistema PLM.....	27
2.4. Componentes del PLM	32
2.5. Arquitectura de un sistema PLM	46
2.5.1. Integración PLM – ERP y <i>Cloud Computing</i>	48
2.5.2. Análisis de la integración entre PLM y ERP.....	52
2.6. Selección de un sistema PLM.....	56
2.7. ¿Cómo implementar un sistema PLM?.....	66
2.8. Costos de implementar PLM	70
CAPÍTULO 3. SOFTWARE PLM	74
3.1. Mercado PLM y tendencias tecnológicas	74
3.2. Principales proveedores de software PLM	75
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE IMPLANTACIÓN DE PLM EN UNA PYME DE INGENIERÍA	81
4.1. Modelo para el estudio de la viabilidad de implantación	81
4.2. Estudio de viabilidad de implantación.....	96
4.3. Ejemplo de aplicación y análisis de rentabilidad.....	107
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO	110
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....	112
CAPÍTULO 7. ÍNDICES DE FIGURAS Y TABLAS	113
7.1. Índice de figuras.....	113
7.2. Índice de tablas	115

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A PLM

Product Lifecycle Management o PLM, en castellano, Gestión del Ciclo de Vida de Productos constituye un enfoque estratégico y sistemático de negocio que pretende abarcar, valga la redundancia, todo el ciclo de vida de un producto, buscando conseguir la máxima eficiencia y óptima gestión de cada una de las fases de su ciclo de vida, recabando, gestionando y almacenando todo tipo de información, desde la fase de diseño y desarrollo hasta el fin de su vida útil.

PLM es una estrategia que busca aumentar la competitividad de las empresas mediante la implementación de un conjunto de soluciones informáticas que van a permitir gestionar y manejar de manera integrada toda la información relacionada con el producto, desde la idea inicial hasta el fin de su ciclo de vida. Con la implementación de este sistema se busca principalmente reducir costos, aumentar la calidad en los procesos, facilitar y agilizar la innovación en productos y servicios y aumentar la resiliencia empresarial, gestionando la adaptación a los incesantes cambios en el mercado, combinando tecnología con *buena praxis* empresarial, siempre en el camino hacia la Industria 4.0.

Para hablar de los comienzos del PLM se debe regresar a la década de los 80, y citar a la antigua automotriz *American Motors Corporation* (AMC), que con el objetivo de agilizar el desarrollo de productos innovadores y conseguir ventaja en el mercado comenzó a utilizar estrategias PLM; esta empresa, al convivir con grandes firmas multinacionales como Ford o General Motors y no disponer de los grandes presupuestos que estos fabricantes manejaban, decidió invertir en investigación y desarrollo, con el objetivo de mejorar el ciclo de vida de sus productos. La primera medida de gestión fue invertir en programas CAD, que agilizaran y optimizaran el proceso de diseño.

La empresa AMC fue comprada posteriormente por Chrysler, que adoptó el sistema de gestión desarrollado por AMC. Rápidamente, ante la disminución de costos y mejora de la gestión y comunicación en el seno de la empresa, este sistema fue extendido a toda la organización, que a mediados de los años 90 se erigió como la empresa con menor costo en el desarrollo de automóviles, siendo hasta un 50% más baratos que la media en el sector.

Tras años de avances y desarrollo tecnológico, sobre todo a nivel de software, con la entrada del siglo XXI y la era de la digitalización, se ha llegado al cenit del PLM,

contando con más de 100 empresas en el mercado de programas de PLM, entre las que destacan: *SIEMENS PLM Services*, *Dassault Systèmes*, *PTC*, *Infor*, *SAP* u *Oracle*, entre otros fabricantes.

Se puede afirmar que la Gestión de Ciclo de Vida de Productos es una estrategia implementada en una empresa con el objeto de gestionar y usar de la manera más eficaz posible el capital intelectual corporativo, esto es, toda la información y conocimiento acumulado en una organización a lo largo de todas sus actividades. Este capital intelectual va a reunir tanto la definición del producto (toda la información relacionada con sus especificaciones, diseño, fabricación...), como su historial (acciones u objetos que tengan relación o sean relevantes para los objetivos de un producto, como por ejemplo, seguimientos de auditorías, correcciones en diseños...), además de toda la experiencia y conocimiento adquiridos durante el proceso de consecución de objetivos de la empresa. La gran cantidad de datos que van a constituir el capital intelectual corporativo y la gran dificultad para gestionarlos es una de las principales razones que despertaron la necesidad de implementar este tipo de softwares de gestión empresarial.

Una vez se conoce qué engloba el capital intelectual, es necesario definir también qué constituye el capital físico de una empresa: mientras el intelectual reúne los activos intangibles de la empresa (conocimiento, información, historiales de productos y/o servicios...), el capital físico constituirá los activos tangibles, bienes ya producidos que se emplearán en las distintas fases o procesos de producción (bienes inmuebles, infraestructuras, equipos, inventarios...).

Es necesario entender la diferencia entre estos dos tipos de capital, ya que aun siendo ambos necesarios y complementarios en una organización, su gestión se va a realizar a través de sistemas y softwares diferentes: un PLM ayudará a gestionar la parte de capital intelectual de la empresa, mientras que el capital físico va a ser gestionado con un ERP (*Enterprise Resource Planning*, o Sistema de Planificación de Recursos Empresariales). Un ERP es un sistema de gestión que facilita e integra la información relacionada con la manufactura, logística, finanzas y recursos humanos de una empresa, mediante un software que ayudará a automatizar las prácticas del negocio asociadas a aspectos operativos o productivos. Así, la vida de un producto será gestionada por el PLM desde su concepción, pasando por su desarrollo y optimización, hasta el que se llega a la

producción, momento en el cual exportamos toda la información al ERP, encargado de planificar la producción y distribución del producto o servicio.

A pesar de todas las ventajas que a priori presenta el uso de estas estrategias, el motivo principal para implementar un sistema PLM es que permite acceder a información de todo tipo y tener el control sobre la totalidad del proceso de diseño y desarrollo del producto, de una manera perfectamente integrada.

En una empresa de ingeniería es común contar con equipos multidisciplinares que trabajan en distintos departamentos o áreas, incorporaciones puntuales para determinados proyectos e incluso, a medida que los objetivos de la organización sean más complejos, cooperaciones con otras empresas, que a su vez dispondrán de sus propios equipos y empleados. Para lograr que un producto, servicio o proyecto consiga los resultados esperados, es fundamental la correcta comunicación entre los diferentes integrantes del equipo de trabajo; es ahí donde entrará de nuevo el PLM, que permitirá gestionar y organizar de una manera sencilla y cómoda toda la información del producto en sus diferentes etapas, dejándola al alcance de todo aquel involucrado en el desarrollo del producto, ya sea de manera local o remota. Esto contribuirá a reducir tiempos y costes, además de facilitar la innovación al facilitar el intercambio de datos e información.

Otro punto a favor del PLM es la capacidad de almacenar el historial completo del producto, facilitando así la reutilización de información de proyectos previos y/o diferentes, al estar todo el conocimiento reunido en archivos históricos ordenados y de fácil acceso. Esto va a suponer, de nuevo, un ahorro en tiempo y costes de ensayos, pruebas o prototipos elaborados con anterioridad en la empresa.

Es innegable que la implementación de un PLM va a suponer un beneficio económico frente al sistema de gestión de un proceso tradicional; y es que PLM va a aportar una ayuda fundamental en las etapas previas al lanzamiento del producto, facilitando las primeras etapas del desarrollo del producto, como el diseño, selección de materiales y procesos, estudios de viabilidad y desarrollo de mercado. Al gestionar y estudiar con mayor profundidad estas etapas previas al lanzamiento, se va a experimentar un menor *cash flow*¹ negativo en el periodo introductorio del producto, lo que nos permitirá obtener

¹ Diferencia entre los cobros y pagos de una empresa en un período determinado.

ganancias en un tiempo menor, consiguiendo un producto de mayor calidad, a menor costo y con un *time to market*² menor que las empresas competidoras.

A pesar de ser una estrategia más o menos novedosa, *Product Lifecycle Management* ha experimentado ya importantes avances y mejoras desde sus inicios. En la actualidad, las empresas comienzan a tomar conciencia de las nuevas opciones que ofrece la tecnología para organizar los medios de producción. Aprovechando el aumento de capacidad de los ordenadores y el cada vez más común manejo de grandes bases de datos, son cada día más las compañías que implementan sistemas de gestión y software ante la necesidad de mejorar la adaptabilidad de necesidades y gestionar de la manera más eficiente posible la selección de recursos y los procesos de desarrollo y producción; siempre enfatizando la idea de una creciente y adecuada digitalización y coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la economía, no sólo con el objetivo de reducir costes o tiempos, sino también para que estos novedosos sistemas de gestión se conviertan en un apoyo imprescindible en funciones organizativas de recursos, reducción de riesgos, aumento de eficiencia en los procesos y previsiones de presupuesto y rentabilidad económica, entre otras acciones.

En definitiva, un PLM permitirá mantener un control total y optimizar todos los procesos de desarrollo del producto, empezando por el diseño y acabando con el lanzamiento a producción, gestionando también los cambios que se den durante toda su vida útil. El PLM contribuye a mejorar substancialmente la innovación de producto, intentando conseguir una eficiencia máxima en los procesos de desarrollo y de ingeniería y, como consecuencia, aumentar las ventas y reducir el coste del producto, suponiendo beneficios tanto para la propia organización y los usuarios, como en la ejecución del negocio y en la calidad de los productos.

² La cantidad de tiempo que se tarda en desarrollar un nuevo producto desde su concepción hasta su primera venta en el mercado.

CAPÍTULO 2. ¿QUÉ ES PLM?

2.1. PLM: gestión del ciclo de vida del producto

Para desarrollar con profundidad el concepto de PLM y lograr entenderlo correctamente, se debe definir primero el marco teórico en el que se sitúa esta estrategia.

Para ser conscientes realmente de todas las ventajas que ha supuesto la introducción de este tipo de sistemas de gestión, debemos conocer cuál es el procedimiento que sigue una empresa para desarrollar sus productos de manera satisfactoria, ya que es ahí donde se implementará el PLM y donde actuará, siempre con el objetivo de lograr unos procesos de mayor calidad y eficiencia, facilitando la innovación, y obteniendo un control minucioso sobre toda actividad relacionada con el desarrollo de productos.

2.1.1. Definición de empresa y clasificación

La Real Academia Española presenta la siguiente definición para la palabra empresa:

“f. Unidad de organización dedicada a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios con fines lucrativos.”

Para lograr completar la definición y entender el concepto de empresa, se puede considerar que una empresa es una unidad económico-social, integrada por elementos humanos, materiales y técnicos, que tiene el objetivo de obtener utilidades a través de su participación en el mercado de bienes y servicios. Para esto, hace uso de los principales factores productivos: trabajo, tierra y capital.

Existen múltiples clasificaciones de la empresa. Las más comunes son:

- Por la actividad económica que desarrollan: empresas del sector primario, secundario o terciario.
- De acuerdo con su constitución jurídica: existen empresas individuales y societarias. En este último grupo, las sociedades a su vez pueden ser anónimas, de responsabilidad limitada y de economía social (cooperativas), entre otras.
- Las empresas también pueden ser definidas según la titularidad del capital. Así, nos encontramos con empresas privadas (su capital está en mano de particulares), públicas (controladas por el Estado), mixtas (aquellas cuyo capital

es compartido por particulares y por el Estado) y empresas de autogestión (el capital es propiedad de los trabajadores).

Para la finalidad de este Trabajo, es interesante estudiar en mayor medida la clasificación que se va a desarrollar a continuación: según el tamaño, y considerando empresas dedicadas a la producción, dejando de lado el sector de los servicios.

Generalmente, se aceptará una división de la empresa que distingue entre pequeña, mediana y gran empresa. Los criterios delimitadores entre cada una de estas categorías son bastante imprecisos, aunque la cifra anual de negocios y el número medio de empleados durante el ejercicio son parámetros referenciales indiscutidos. A modo orientativo, el anexo a la Recomendación de la Comisión de las Comunidades Europeas, de 6-5-2003 (DOCE L 124 de 20-5-2003), en vigor desde 2005, contiene la definición de microempresas, pequeñas y medianas empresas (PYME) adoptada por la Comisión, de la que se deduce la siguiente clasificación según su tamaño:

Tipo de empresa	CRITERIOS		
	Balance general anual (millones de euros)	Volumen de negocio actual (millones de euros)	Trabajadores (número de empleados)
Microempresa	<2	<2	<10
PYME Pequeña	<10	<10	<50
Mediana	<43	<50	<250
Grande	≥43	≥50	≥250

Tabla 1. Clasificación de las empresas de acuerdo con el anexo a la Recomendación de la Comisión de las Comunidades Europeas, de 6-5-2003 (DOCE L 124 de 20-5-2003)

2.1.2. Etapas en el desarrollo de un producto

El desarrollo de un producto es un conjunto de varias etapas llevadas a cabo en el ámbito empresarial, basadas en la ingeniería y el diseño, y consiste en el proceso completo de crear y lanzar al mercado un nuevo producto.

La finalidad de estos nuevos productos va a ser siempre la de satisfacer las necesidades y requerimientos de los usuarios, de modo que será fundamental realizar un análisis del mercado y sobre todo, de los propios clientes, cuyas opiniones y sugerencias van a ser determinantes en el diseño y resto de labores de ingeniería de producto. Para cumplir con las expectativas del cliente, no siempre se tendrán que desarrollar nuevos productos nunca antes vistos en la empresa o el mercado, sino que en la mayoría de ocasiones, el trabajo de desarrollo se centrará en retomar antiguos productos y realizar las modificaciones o cambios en el diseño necesarios para lograr la aceptación en el mercado de este nuevo producto.

Para casi cualquier empresa, el diseño de nuevos productos es una tarea fundamental para asegurar su supervivencia y competitividad, ya que resulta extraño encontrar hoy en día un mercado que no se encuentre en continuo cambio y evolución. Y como se ha citado anteriormente, este diseño no va a depender únicamente del proceso de fabricación como tal, sino que van a estar involucrados diversos departamentos.

Los procesos incluidos en el desarrollo de un producto han experimentado grandes cambios en los últimos años, fruto de la continua evolución del mercado y las herramientas de las que se dispone, no sólo informáticas, sino también humanas. Estos procesos también van a cambiar dependiendo del tipo de producto a desarrollar; sin embargo, centrandose el estudio en empresas manufactureras de ingeniería, van a existir varias fases que coincidirán de unas a otras, resumidas y generalizadas a continuación:

- Identificación de oportunidades y generación de ideas
- Evaluación de las ideas y elección de las apropiadas
- Ingeniería del producto y del proceso
- Prototipos y pruebas de mercado
- Fabricación y distribución
- Modificaciones, preparación del servicio postventa y obsolescencia

Un aspecto a tener en cuenta es que estas actividades van a estar relacionadas unas con otras, y no es correcto realizarlas de manera aislada entre sí, de manera que la buena organización y comunicación dentro de la propia empresa serán fundamentales si se quiere obtener un resultado satisfactorio: y es ahí donde entrará de nuevo el PLM. La afinidad y buena comunicación entre los diferentes departamentos de la empresa, como ya se ha citado anteriormente, va a ser un aspecto importante para que un producto sea

considerado exitoso, ya que es necesario concebir un diseño que cumpla con requerimientos técnicos, legales, de seguridad y de cuidado con el medio ambiente. Además, preferentemente debe ser reciclable al terminar su ciclo de vida y quizás lo más importante para el empresario, debe resultar rentable.

En los siguientes párrafos se van a definir las etapas citadas anteriormente con una mayor profundidad.

- **Identificación de oportunidades y generación de ideas**

En esta primera fase se va a recoger toda la información posible acerca del entorno del producto, a la cual se irá dando forma partiendo de una necesidad que se haya detectado, la cual va a implicar una oportunidad de negocio, y por tanto, se genera una idea de la que partir.

Las principales limitaciones del diseño como el costo, la seguridad, el rendimiento y las especificaciones generales son definidas en esta etapa. Va a ser necesario un planteamiento base, un estudio de entorno y un estudio de todas las posibilidades técnicas y viabilidad del producto. Se ha de tener claro el mercado hacia el que dirigirse, ya que en esta fase se busca obtener una primera orientación estratégica del proyecto, delimitando los márgenes de acción.

En esta fase van a entrar en juego varios colectivos:

- Clientes: existe un objetivo claro que debe perseguir un producto: satisfacer a la mayor parte de clientes posibles; por tanto, es necesario en esta fase tener en cuenta la opinión de los usuarios.
- Técnicos: ingenieros, arquitectos, diseñadores, etc. Son claves en el desarrollo, ya que deben introducir en el mercado un producto nuevo, diferente a cualquier otro similar existente. Es donde va a entrar en juego el I+D, y las capacidades de los técnicos para desarrollar productos innovadores y/o modificar los productos existentes que tengan éxito en el mercado. Este personal necesitará además desarrollar continuamente sus conocimientos y estar al día de los avances tecnológicos, con el fin de resultar más competitivos en el sector.

- Competencia: es necesario conocer a las empresas competidoras que se van a enfrentar en el mercado, no sólo para mejorar a nivel de organización, sino para conseguir como logro conjunto un mercado de mayor calidad. De hecho, muchos de los productos nuevos que se lanzan al mercado son imitaciones de producto existentes, e incluso de otras marcas. Por tanto, en esta fase es fundamental conocer los productos similares, y a la vez competidores, para poder trabajar sobre ellos y mejorarlos.
- Dirección y empleado: realmente, los operarios y responsables de los procesos productivos en el seno de la empresa son los que mejor conocen dichos procesos y cómo van a responder ante nuevos diseños, con todas las ventajas y desventajas que supone el desarrollo de un producto nuevo. Por tanto, es fundamental que la dirección de la empresa establezca un vínculo y una correcta comunicación con sus empleados, ya que su opinión se debe tener en cuenta para realizar una toma de decisiones óptima.

- **Evaluación de las ideas y elección de las apropiadas**

Una vez recogidas todas las ideas y requerimientos sugeridos, se deberá realizar una evaluación de éstas, filtrando y seleccionando las ideas más apropiadas para el fin deseado. Tras pasar por las sub-fases definidas en la etapa anterior, las ideas recogidas se transformarán en requerimientos funcionales y surgirán igualmente limitaciones operacionales. A partir de esta etapa, los requerimientos funcionales serán valorados y estudiados para poder comenzar a descartar opciones.

Va a ser de vital importancia estudiar si nuestro producto y los procesos envueltos en su desarrollo van a ser viables, tanto técnica como económicamente; además, deberán consultarse la legislación relacionada con el producto en cuestión y su mercado, y posibles antecedentes de proyectos similares que ayuden a mejorar y agilizar el desarrollo.

Como se ha citado, los estudios de viabilidad se realizarán desde varios puntos de vista:

- Viabilidad comercial: cada producto tendrá un mercado en el que se planeará introducir; por tanto, es necesario analizarlo y conocer su situación para evaluar si el producto tendrá éxito entre los clientes de dicho mercado.

- Viabilidad económica: el objetivo real de prácticamente todo producto es el económico, por lo que será determinante realizar un buen análisis de los costes respecto a los posibles beneficios que puede suponer el lanzamiento del producto nuevo.
- Viabilidad técnica: con el apoyo del Departamento Técnico, se debe estudiar la capacidad de la empresa para afrontar este desarrollo desde el punto de vista técnico y tecnológico, lo cual podrá implementarse también en el estudio económico.
- Estudio de la competencia: como también se citó en la etapa anterior, conocer a la competencia se hace necesario no sólo por sus productos y estrategias, sino también para realizar una previsión de la posible reacción del mercado ante el lanzamiento de un nuevo producto.
- Replanteamiento de objetivos: en esta fase del desarrollo se deberán ajustar los objetivos iniciales marcados para el producto, ya que es normal que éstos hayan podido cambiar o sufrir alguna modificación al poner en práctica todos los aspectos anteriores.

- **Ingeniería del producto y del proceso**

Con el producto definido y fijados de nuevo los objetivos, se pasa a la etapa en la cual se comienza con el diseño al detalle de cada elemento que conformará el nuevo producto. Además del diseño, se preparará también su fabricación, definiendo los procesos productivos necesarios.

Como se ha indicado anteriormente, el proceso de desarrollo de productos, sobre todo en ingeniería, ha variado mucho en los últimos tiempos. Estos avances han sido posibles, en gran parte, gracias al gran progreso experimentado por los programas de software de diseño, cálculo y fabricación asistida por ordenador (CAD, CAE, CAM...) que tan sólidamente se han implementado en todo tipo de industrias, agilizando notablemente el proceso de desarrollo y mejorando la calidad del producto final.

Además de estas herramientas de software, se han implantado diferentes técnicas de diseño y desarrollo de productos, como son:

- **Ingeniería concurrente:**

Es un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y servicio. Pretende que los encargados del desarrollo desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo calidad, costo y necesidad de los usuarios.

El éxito de la ingeniería concurrente, también denominada en ocasiones ingeniería simultánea, radica en gran medida en los avances experimentados por los programas de CAD y CAE, los cuales van a permitir en muchas ocasiones el trabajo simultáneo y la actualización asociativa, de manera que toda modificación en el diseño será recogida y reflejada en tiempo real en el resto de archivos relacionados. Esto va a permitir a la empresa desarrollar distintas etapas de la vida del producto “en paralelo”, lo que permitirá disminuir tiempos y costos, además de reducir en gran medida el *time to market* o comercialización del producto nuevo.

- **Diseño para la Excelencia:**

Además de los clientes y la empresa, existe otra serie de personas u organizaciones que se ven afectadas, directa o indirectamente, por el nuevo producto y por las actividades de su ciclo de vida. Por ello el objetivo del proceso de diseño debiera ser que el producto resultante satisfaga el conjunto de necesidades de todas las personas u organizaciones afectadas, de la forma más eficiente.

Para alcanzar este objetivo surge el denominado Diseño para la Excelencia o *Design for Excellence* (DFE), que engloba una serie de técnicas de diseño, cuyo objetivo es gestionar la calidad, el coste y el tiempo de entrega del nuevo producto. Las técnicas del DFE van a centrarse en detalles productivos, de diseño, y factores ambientales, entre otros aspectos.

- **Despliegue de la función de calidad (QFD):**

El despliegue de la función de calidad (o QFD, por sus siglas inglesas) es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y

expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias.

Estos requerimientos de los clientes van a ser recogidos por la empresa y trasladados a una matriz de la calidad (núcleo del QFD), que en un único gráfico va a relacionar las necesidades de los usuarios y a establecer las características técnicas capaces de satisfacerlas, brindando además la posibilidad de comparar el producto de la propia empresa con otros de la competencia.

Además de los diferentes diseños, en esta etapa se tendrá que definir completamente al producto, incluyendo elementos secundarios como soportes gráficos, embalajes, así como las especificaciones técnicas necesarias para su producción.

En el mundo de la ingeniería existe un amplio abanico de materiales, igualmente aptos y con diversas opciones posibles según el caso particular. Cuestiones técnicas como las cargas a las que estarán sometidas las piezas, la vida útil del producto esperada o la seguridad requerida van a definir la estructura, pero va a ser el ejercicio de comparación el que va a determinar realmente los materiales a utilizar, mediante el análisis valorativo de sus propiedades y, sobre todo, su costo; no se debe abandonar la posición de compromiso entre las características técnicas y la viabilidad económica adoptada desde el principio del proyecto.

Por otro lado, también se han de elegir los procesos de manufactura más convenientes para los materiales elegidos, buscando cumplir también con las exigencias de tiempos, costos, acabados y propiedades alcanzadas.

Además de todos los aspectos técnicos del producto, no se debe perder de vista el principal objetivo de la empresa: lograr beneficio económico con el lanzamiento del producto. Para ello, realizando exhaustivos análisis desde las etapas iniciales del diseño, se debe empezar a identificar posibles compradores y usuarios, canales de distribución, logística y venta, y fijar tiempos, recursos y fondos. En esta etapa se van a seleccionar proveedores, evaluando las distintas ofertas del mercado, y se definirá la escala de producción necesaria, con el objetivo de estudiar la disponibilidad de maquinaria, espacio físico para almacenar el inventario, inversión inicial y demás costos fijos y variables y cuestiones ambientales y de seguridad en la zona de trabajo.

- **Prototipos y pruebas de mercado**

Una vez se ha completado el diseño del producto, se crean y fabrican prototipos, con el objetivo de identificar posibles errores o deficiencias en los procesos de fabricación o en el funcionamiento del producto. Estos prototipos no sólo serán útiles para detectar los posibles fallos en el producto antes de su lanzamiento, sino también para realizar pruebas de mercado con el objetivo de evaluar la aceptación del nuevo producto y elegir la mejor estrategia de lanzamiento.

Cuando el prototipo real está fabricado, la empresa procede a realizar un estudio de mercado: se realizará una producción preliminar a pequeña escala, y se llevará a cabo la prueba en el mercado. Durante la presencia de este lote de prueba en el mercado, se evalúan la aceptación y rechazo de los clientes, problemas en la producción y demás factores perjudiciales para el proyecto, por lo que no es extraño que se introduzcan nuevas modificaciones en el producto tras esta etapa.

- **Fabricación y distribución**

Antes de comenzar la producción a gran escala, se debe realizar un ejercicio de gestión previo en el que se definirá el cronograma y la planificación de las distintas actividades manufactureras.

En este punto vamos a tener que definir el tiempo de duración del proyecto, para lo cual será necesario identificar todas las actividades que se llevan a cabo en el proceso de desarrollo, y organizarlas para concretarlas. La duración del proyecto va a depender del conjunto de actividades a realizar, y por ello, una buena planificación de las mismas se traducirá en un desarrollo exitoso. Existen diversas herramientas para planificar las actividades de un proyecto; el ejemplo más común en la industria es el diagrama de Gantt, que es una herramienta gráfica que ayuda a determinar el tiempo de duración mediante la identificación de actividades críticas, que van a ser aquellas que definan el tiempo mínimo de realización del proyecto.

Una vez identificado el camino crítico (sucesión temporal de actividades críticas), se deben buscar caminos alternativos y mejoras en los procesos, con el objetivo de disminuir la duración total del proyecto en la medida de lo posible, reduciendo el *time to market* y suponiendo con ello un aumento en las ganancias.

Una vez realizadas las valoraciones pertinentes, se pasa a la etapa de producción a gran escala del producto, y su desarrollo en el mercado. Comienza la primera etapa del ciclo de vida posterior al lanzamiento. Todavía en esta fase se seguirán realizando las variaciones o modificaciones necesarias en el producto para lograr la mayor aceptación posible en el mercado.

Dentro de las principales metas de una empresa siempre debe estar la de mejorar día a día sus prestaciones y ofrecer los mejores productos con la mejor relación calidad-precio. Ese es el objetivo que persigue el concepto de mejora continua, más que una estrategia, una filosofía y una obligación ineludible para cualquier empresa. El propio concepto lo deja claro: mejorar los productos, servicios y procesos de una empresa con el fin de subsanar errores, reforzar aciertos y mejorar, en definitiva, el rendimiento operativo de la empresa.

Para los procesos de mejora generalmente se elige a un equipo multidisciplinar de la empresa y con distinto rango jerárquico, para tener diferentes puntos de vista. Este grupo de trabajo se encargará de analizar procesos o productos dentro de la propia empresa, e identificar fortalezas y debilidades. Una vez hecho esto, se proponen las soluciones y se llevan a cabo las acciones necesarias para implantarlas.

Además de la planificación y el comienzo de la producción en gran escala, en esta etapa del desarrollo se tendrá que invertir en marketing y publicidad con el fin de ampliar la agenda de clientes de cara a la introducción del producto en el mercado.

Es de vital importancia comenzar a valorar antes del lanzamiento si las ventas lograrán cubrir los costos de producción y desarrollo, además de si la empresa cuenta con margen para lograr un buen retorno de la inversión inicial; si el proyecto no resulta rentable después del análisis de previsiones realizado, se deberá plantear si el producto requiere alguna modificación más o si, directamente, se tiene que abortar el proyecto.

- **Modificaciones, preparación del servicio postventa y obsolescencia**

Como se ha mencionado en las anteriores fases, es necesario plantear y realizar modificaciones en cada etapa del diseño para prolongar el ciclo de vida del producto, y por lo tanto, prolongar las ganancias de la empresa. Aunque el producto ya ha sido desarrollado e introducido en el mercado, no se deben dejar de lado las posibles mejoras tecnológicas que surjan, ya sea en materiales o en procesos de manufactura y gestión.

Tras su lanzamiento, el producto va a pasar por cuatro etapas, denominadas igualmente “ciclo de vida del producto” en el mercado, donde va a experimentar una evolución en las ventas, como se puede observar en la imagen a continuación.

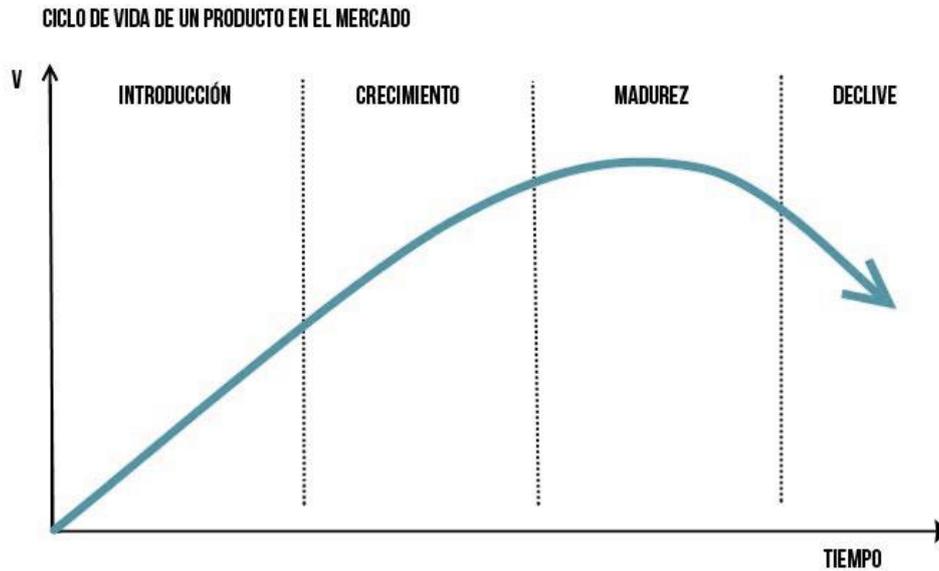


Figura 1. Etapas del ciclo de vida de un producto en el mercado (Fuente: *debitoor.com*)

Las etapas del ciclo de vida del producto en el mercado son las siguientes:

- Etapa de introducción. Es la etapa siguiente al lanzamiento. El volumen de ventas es bajo, debido a su poca promoción en el mercado. En este momento, los costes serán altos y los beneficios, inapreciables. Es importante en esta etapa invertir en publicitar el producto.
- Etapa de crecimiento. En esta etapa aumentan las ventas, al ritmo que aumenta el interés por el producto. El producto va a necesitar un gran apoyo y una buena gestión de su ciclo de vida para mantenerse.
- Etapa de madurez. El crecimiento de las ventas se ralentiza y se estabiliza en el mercado. El producto está asentado, los beneficios son altos y las inversiones iniciales son recuperadas. Es menester de la empresa tratar de prolongar esta etapa lo máximo posible.
- Etapa de declive. Las ventas comienzan a decrecer significativamente y el producto se prepara para salir del mercado, normalmente saturado por la aparición de nuevos modelos de la competencia o superado por los avances tecnológicos. Se debe poner fin al ciclo de vida del producto lo más rápido

posible para evitar pérdidas. La principal causa del declive de un producto es la obsolescencia del mismo.

La postventa es un concepto que últimamente resulta fundamental en la decisión de comprar un bien o un servicio por parte del cliente. Un buen servicio de postventa puede ser un factor decisivo para que se venda el producto, ya que brinda seguridad y garantía en lo que uno ofrece.

2.2. Funciones del PLM

Una vez detallado el proceso convencional de desarrollo de un producto, a continuación se van a resumir las principales funciones de un sistema PLM

- Almacenar, organizar y proteger datos

Es la principal función del PLM. Toda la información será reunida en una única base de datos protegida. El PLM va a imponer una estructura organizada, en la que todo documento generado va a ser almacenado y ordenado siguiendo unos criterios lógicos y estandarizados, como los proyectos o productos a los que pertenecen. Siguiendo estos criterios, todos los archivos y documentos de la empresa serán organizados de manera que todo aquel que quiera modificar o simplemente acceder a dicha información lo pueda hacer de una forma intuitiva y con un fácil acceso. Una vez se han guardado todos los datos necesarios, el propio PLM se encargará de blindarlos y protegerlos ante posibles pérdidas.

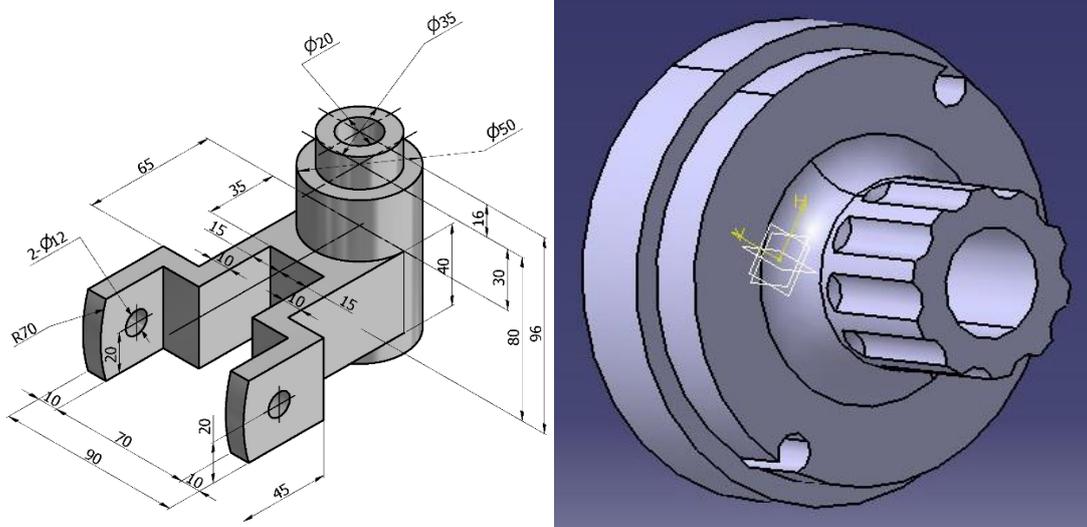
- Gestionar los documentos y sus cambios

La base de datos común que genera el PLM contendrá todo tipo de documentos relacionados con diferentes productos o proyectos, o lo que es lo mismo, cualquier archivo u objeto generado por cualquier software de aplicación del sistema PLM. Una vez recogidos en la base de datos, se identificará la etapa del ciclo de vida del documento (borrador, revisado, aprobado, obsoleto) y se podrán realizar todo tipo de acciones, tales como modificaciones para desarrollar nuevas versiones, revisiones del producto o simplemente el acceso a visualizarlo o compartirlo. Algunos ejemplos de documentos son una hoja de cálculo, un diseño creado en algún programa de CAD, un plano, un texto de ofimática, etc.

Uno de los principales problemas a los que va a ofrecer solución el sistema PLM es la complicada gestión de los cambios realizados en los documentos. A medida que se vayan creando versiones de los distintos documentos, los cambios introducidos deben ser correctamente identificados, aportando toda la información relativa a los detalles del cambio, el quién, el cuándo y el porqué de ese cambio. Lo que se pretende con esta gestión de los cambios es que se pueda trazar el recorrido y evolución de todo documento, y su historia.

- Buscar y recuperar la información

Otra de las funciones determinantes del sistema PLM es su potente capacidad de búsqueda. A pesar de manejar una base de datos con un volumen considerable, debemos poder acceder instantáneamente a cualquier tipo de documento. Además, el sistema va a permitir al usuario recorrer de manera sencilla y ágil toda la estructura documental relacionada.



Figuras 2 y 3. Piezas diseñadas y modeladas en CATIA (programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial de Dassault Systèmes) (Fuente: CAD Central Limited)

- Compartir datos con otros usuarios de forma controlada

Esta función del PLM va a permitir que dos o más usuarios trabajen de manera simultánea sobre los mismos documentos, de modo que los cambios que aporten queden registrados y encargándose de que no se sobrescriba ninguna acción.

- Ejecutar procesos y flujos de trabajo

Todos los procesos a realizar por la empresa conllevarán unas determinadas tareas, unos actores encargados de llevarlas a cabo y unas normativas que se deberán cumplir en todo momento. Y es ahí donde vuelve a entrar de nuevo el PLM, que ayudará a organizar, ejecutar y gestionar los diferentes procesos y flujos de trabajo, recogidos en forma gráfica y de comprensión sencilla.

- Visualizar datos y documentos

Un software PLM permitirá al usuario visualizar cualquier tipo de documento generado en cada proceso, a pesar de haber sido creado con una aplicación no implementada en el sistema. Además, a pesar de no contar con la funcionalidad de manipular dichos documentos, el PLM va a permitir añadir comentarios y opiniones sobre el contenido.

- Crear, clasificar y gestionar artículos

Una de las funciones más importantes de un sistema PLM es la de gestionar toda la información documental relativa a un producto, vinculando todos y cada uno de los documentos con el producto físico al que se refieren. Los productos o artículos pasarán a definirse como ítems; toda modificación efectuada en un ítem será reflejada directamente en el documento correspondiente, gracias al vínculo establecido anteriormente. Todo ítem conservará su vínculo, aunque sea utilizado en otros proyectos, lo que nos permitirá una fácil reutilización de ítems e información de la empresa, lo que hace que esta funcionalidad sea tan útil e importante.

- Crear estructuras y listas de materiales

Una vez los ítems son definidos, el siguiente paso será crear las relaciones entre ellos para constituir la estructura de los diferentes productos. Se crearán distintas vistas de los ítems, siendo posible visualizarlos desde distintas perspectivas, lo que permitirá al usuario centrarse y trabajar en la parte relevante. Es común que una empresa cuente con distintos departamentos, por lo que existirán ítems de tipo mecánico, electrónico, de software... Que serán utilizados en diferentes circunstancias y disciplinas.

Otro de los aspectos notables de esta funcionalidad es que va a ayudar enormemente en la tarea de toma de decisiones. Normalmente, estos sistemas cuentan con herramientas que nos permitirán comparar estructuras de productos y analizar el uso de ítems determinados, lo que va a brindar al usuario la posibilidad de analizar y gestionar cambios

de ingeniería, tarea desafiante pero necesaria para que las organizaciones avancen y elaboren procesos empresariales más eficientes.

Además de esto, un PLM va a permitir generar una gran variedad de informes, entre los que destacan las listas de materiales (en inglés, BOM, o *Bill Of Materials*), que van a ser punto de referencia el resto del ciclo de vida del producto. La correcta gestión de las listas de materiales (BOM) resulta esencial para el éxito, tanto si el producto consta de diez como de diez millones de piezas. A medida que desarrolla productos más innovadores para seguir siendo competitiva, la gestión de definiciones de producto, incluyendo las listas de materiales, es cada vez más compleja. Se necesita coordinar la planificación anticipada de opciones y funciones disponibles para satisfacer las demandas de los clientes, así como conectar con un número creciente de colaboradores y proveedores que es necesario enlazar con la fabricación, el servicio y el soporte.

- Integrar la información con otros sistemas y procesos informáticos empresariales

Esta va a ser una de las funciones clave para justificar el éxito de un sistema PLM. Toda la información generada en la fase de ingeniería, que va a ser gestionada en todo momento por el PLM, va a ser automáticamente exportada al resto de sistemas informáticos de gestión de la empresa. De esta manera, toda la información relativa a ítems, estructura y listas de materiales va a ser compartida con los diferentes departamentos. Por ejemplo, una vez que un producto finaliza su desarrollo y pasa a la fase de producción, el PLM realizará una exportación de toda la información relativa a ese producto al software ERP (*Enterprise Resource Planning*), sistema encargado de gestionar los departamentos de compras y producción.

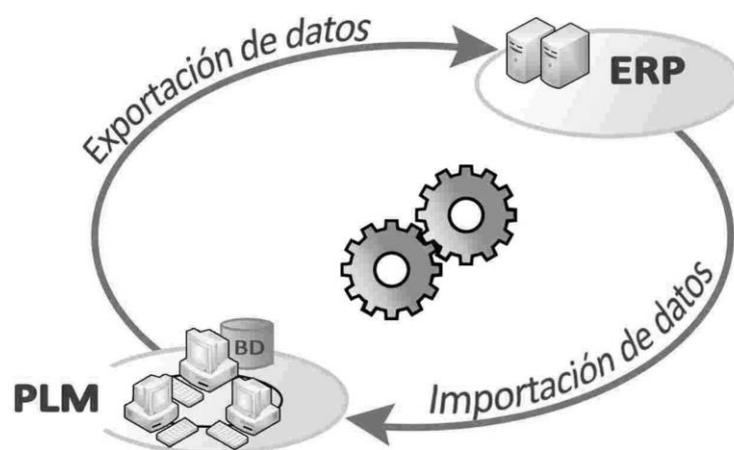


Figura 4. Integración entre sistemas PLM y ERP, intercambiando estructuras de productos

Sin esta funcionalidad, toda la transferencia de información entre diferentes departamentos o sistemas informáticos dentro de la propia empresa deberá realizarse de manera manual, lo que puede provocar grandes pérdidas de tiempo, dinero, y sobre todo, información, que puede resultar en errores aún más graves en el proceso de producción.

- Gestionar proyectos de diseño y desarrollo de productos

Entre las funciones específicas restantes de los sistemas PLM, encontramos programas de software o aplicaciones que van a resultar de gran utilidad para la empresa en la gestión de proyectos, mediante el manejo y control sobre recursos, tareas, costes, tiempos, personas y entregables.

2.3. Características de un sistema PLM

Los sistemas PLM, por norma general, suele estar implementado en industrias cuyos productos siguen **procesos discretos de fabricación**, como pueden ser automóviles, maquinaria o aparatos electrónicos.

Los procesos discretos suelen estar emplazados dentro de una secuencia temporal que podremos acelerar o frenar, o incluso parar, sin grandes implicaciones. Una cinta transportadora de supermercado es el mejor ejemplo de proceso discreto. Por el contrario, un proceso continuo no se puede parar fácilmente. De ahí que sea continuo. Una central hidroeléctrica producirá más o menos energía dependiendo del caudal y de las necesidades, pero siempre estará produciendo. Lo mismo sucede con un horno industrial o con una papelera. Esto es debido a que las materias primas que se utilizan en estos procesos (el metal y la pasta de papel en nuestros dos ejemplos), alcanzan un estado al arrancar la producción, que impide que se pueda parar el proceso sin consecuencias negativas, tanto de seguridad para las materias y para las personas, como económicas.

En aquellos procesos industriales discretos donde los materiales, componentes y productos se mueven o desplazan manualmente, y el coste laboral de dicha manipulación es relevante, entra en juego la eficiencia en la metodología de fabricación. Es ahí donde la “automatización” y control de los procesos obtenido gracias a la gestión con PLM reduce los costes y taras, reduce drásticamente los plazos de entrega, incrementa la flexibilidad y a la vez genera, de manera constante, productos de alta calidad.

La automoción y la industria de la máquina de herramienta son dos grandes segmentos y jugadores de la industria con automatización discreta. Pero también lo son la aeronáutica, los computadores y el ensamblaje de componentes, entre otros.

2.3.1. Información gestionada por un sistema PLM

Dentro de las características principales de los sistemas PLM contamos con su flexibilidad para trabajar con archivos y objetos de todo tipo y formato; la base de datos del sistema, también llamada caja fuerte o *vault*, puede almacenar todo tipo de datos con la única limitación de la capacidad, aunque es poco común encontrarse con problemas de este tipo debido a su sobredimensionamiento.

Uno de los problemas más comunes en la gestión de información que tienen muchas empresas es la duplicidad de los datos, que va a provocar una gran pérdida de tiempo, va a crear problemas con las versiones del dato y va a generar, en definitiva, problemas de productividad. Los sistemas PLM van a poner fin a esta preocupación mediante la implantación del dato único.

El dato único constituye una de las características esenciales de los sistemas PLM; para definir esta función de los sistemas de información, se puede decir que se trata de la captura y registro de un objeto, archivo o dato, que se realizará una única vez en el sistema, permitiendo a los usuarios actualizar dicha información partiendo del “dato único” integrado en la base de datos del PLM, sea cual sea su área de trabajo dentro del proceso de desarrollo del producto.

Ligado a esta necesidad de optimizar la gestión de la información y la memoria, encontramos el concepto de integración en tiempo real. La integración de datos es el proceso que permite combinar datos heterogéneos de muchas fuentes diferentes en la forma y estructura de una única aplicación. Este proceso de integración facilita que diferentes tipos de datos, tales como matrices de datos, documentos y tablas, sean manejados por usuarios de diferentes departamentos de la empresa. Los sistemas PLM van a ofrecer al usuario la capacidad de gestionar e introducir en la base de datos de la empresa todo tipo de información, de manera local o remota, y de acuerdo con las siguientes características: dato único, integrado, en tiempo real, con amplia cobertura funcional y adaptable a las necesidades de la empresa.

La información gestionada por un sistema PLM va a ser muy variada, dependiendo siempre de la etapa del proceso de desarrollo que se esté desarrollando y que se quiera trabajar:

FASE DE DISEÑO.

Durante la fase de diseño, se van a introducir en el sistema PLM multitud de archivos y objetos creados para la definición del producto, principalmente, confeccionados con herramientas de software CAD. Entre ellos, se encontrarán planos 2D, modelos 3D, diseños de piezas, placas y circuitos electrónicos, listas de materiales, catálogos de proveedores, etc.

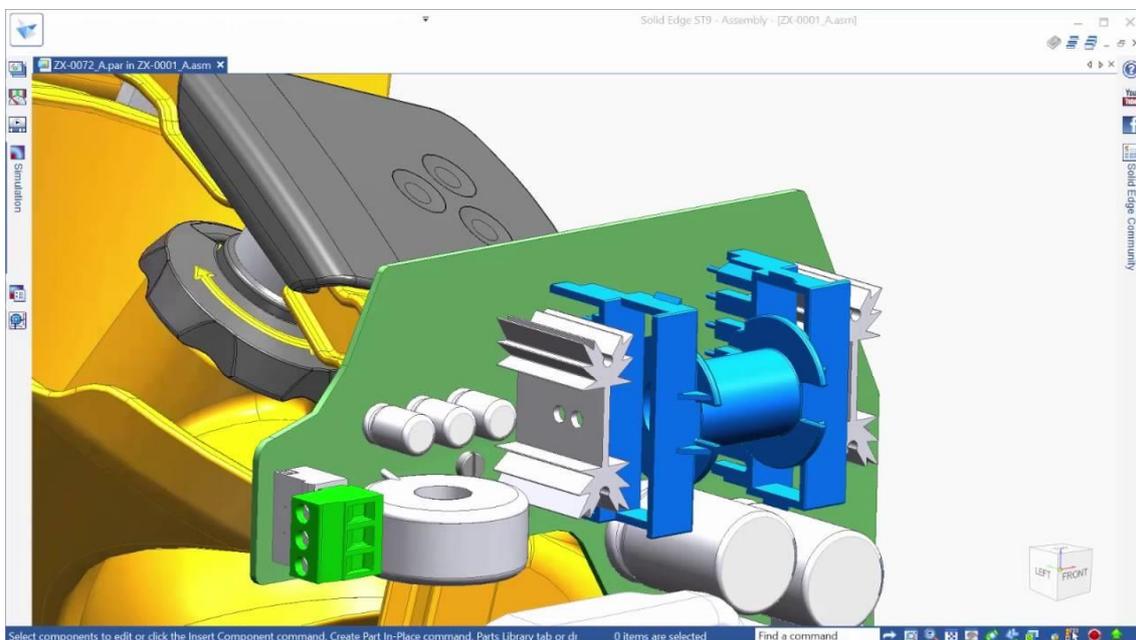


Figura 5. Visualización de un conjunto 3D diseñado con la herramienta *Solid Edge*³ (Fuente: conexion3dcad.com)

FASE DE INGENIERÍA.

Durante esta etapa se va a gestionar la información relativa a los ítems, o lo que es lo mismo, los productos físicos. La implementación de un PLM va a permitir a los ingenieros crear dichos ítems directamente en el sistema, de manera que toda la información sobre materiales, componentes o referencias asociadas a los productos

³ *Solid Edge* es un programa parametrizado de diseño asistido por computadora de piezas tridimensionales 3D. Permite el modelado de piezas de distintos materiales, doblado de chapas, ensamblaje de conjuntos, soldadura, funciones de dibujo en plano para ingenieros, diseñadores y proyectistas.

quedará registrada. Este es otro aspecto a destacar de los sistemas PLM: la integración de herramientas y plataformas envueltas a lo largo de todo el ciclo de vida del producto; esto va a suponer un aumento de la eficiencia del proceso, ya que las estructuras de ítems que componen los productos, creadas por los ingenieros de diseño, serán el punto de partida para los departamentos de planificación de producción y compras, los cuales podrán utilizar, visualizar y tener en cuenta toda la información y detalles aportados en las etapas previas del desarrollo. También durante esta etapa se van a gestionar todas las modificaciones en la estructura del producto, las distintas versiones y demás pruebas y acciones realizadas sobre los modelos, como simulaciones, análisis o validaciones.

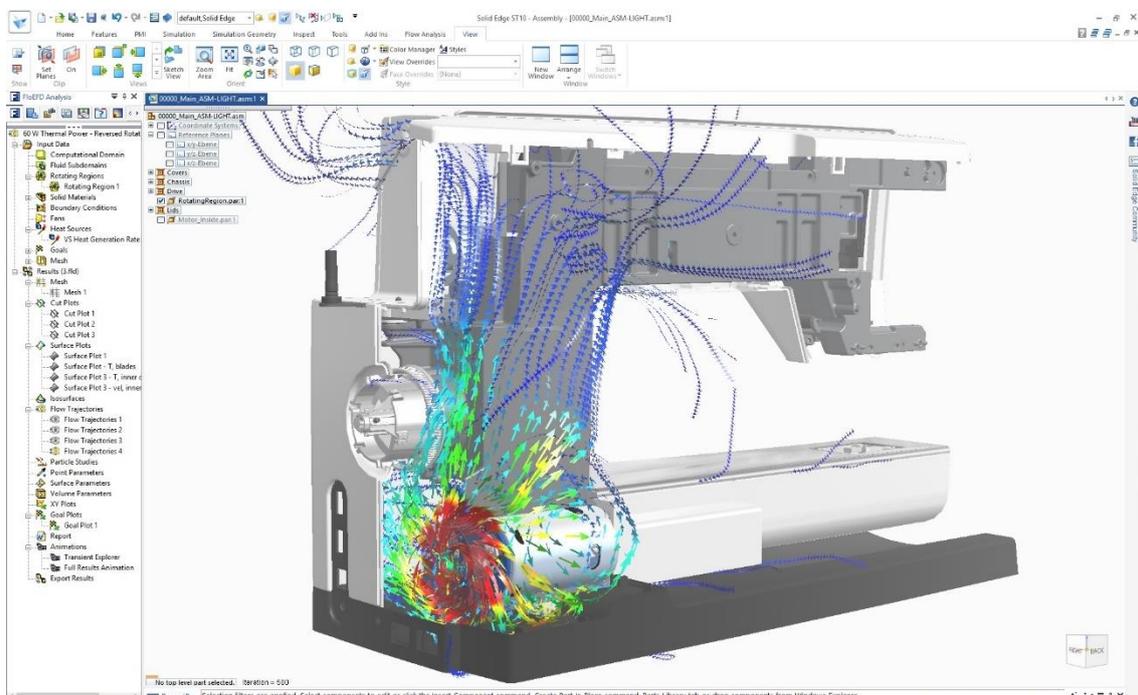


Figura 6. Visualización del modelo de un motor, durante una simulación en Solid Edge (ST10), donde se estudia la transferencia de calor en el rotor y se visualizan los flujos de calor (Fuente: conexion3dcad.com)

Durante esta fase, además de completar la estructura del producto y definir la base del lanzamiento a producción, se va a realizar el trasvase de información del sistema PLM al ERP, al que se va a transferir la estructura del producto y toda la información asociada. El PLM (*Product Lifecycle Management*) elimina efectivamente las islas de información producidas por los sistemas CAD/CAM y el ERP (*Enterprise Resource Planning*) elimina eficazmente las islas de información vinculadas a la gestión financiera, gestión de la

producción, la gestión de costos, gestión de demanda de materiales, por eso va a ser tan importante la correcta integración de ambos sistemas de cara a asegurar el óptimo funcionamiento del PLM en la empresa. La tecnología ideal para realizar la integración entre ambos sistemas será la computación en nube, la cual será desarrollada con más profundidad en el capítulo siguiente.

La conexión y sincronización de los sistemas PLM y ERP va a suponer una serie de mejoras notables: inmediatamente, la aceleración del lanzamiento a producción, y más allá, asegura la integridad de los datos organizacionales permitiendo que todas las áreas puedan acceder a los datos de productos actualizados y aumenta, en definitiva, la competitividad de la empresa. La preocupación por la integración entre ambos sistemas en la empresa va a recalcar la importancia de la fase de ingeniería en el proyecto, y va a dejar claro uno de los objetivos principales de la gestión con PLM: la coexistencia de sistemas y softwares que, integrados, sincronizados e interconectados logran gestionar todas las etapas del desarrollo del producto y el proceso global de producción.

MARKETING Y VENTAS.

Carteras de productos, solicitudes de nuevos diseños, estudios, especificaciones, requisitos, normativas, planificación de proyectos y presupuestos. Todos factores englobados dentro de la configuración del producto orientada a la venta.

PRODUCCIÓN.

Programas de control numérico, instrucciones de montaje y verificación. Activos, máquinas y medios de producción.

OTROS SERVICIOS.

Manuales de uso y de mantenimiento de los productos.

2.3.2. Beneficios y riesgos a tener en cuenta en un sistema PLM

Un sistema PLM no sólo va a permitir controlar mejor la calidad de los procesos y los productos, sino que también servirá para gestionar toda la información generada a lo largo de su ciclo de vida y facilitar su reutilización en las diferentes etapas del proceso productivo. Gracias a la capacidad de gestión y captura de conocimientos de los sistemas PLM, se logrará acortar los ciclos en la empresa, y con ello, la reducción de la comercialización, ya que permite al usuario visualizar y actualizar en tiempo real la información de los distintos ítems y productos. También, y como se ha citado anteriormente, la integración de distintos softwares de gestión de productos va a permitir que se compartan las especificaciones, información y diseños entre distintas aplicaciones, con el objetivo de ayudar a las pruebas y simulaciones, y optimizar los procesos de fabricación, ventas y mercadotecnia.

Para una empresa manufacturera, la implantación de un sistema de gestión PLM va a suponer un crecimiento a nivel organizacional y un aumento de la competitividad enormes, siempre que el proceso de selección e implementación en la empresa haya sido el correcto. Un sistema PLM va a provocar un notable impacto sobre los resultados corporativos a corto plazo, aportando beneficios en numerosas áreas de la empresa.

Beneficios en la ejecución del negocio

- Disminución de costes gracias al mejor acceso a datos coherentes y estructurados
- Aumento de las oportunidades de negocio
- Fomenta la innovación, la flexibilidad y, en definitiva, la mejor gestión del proceso, poniendo en práctica una filosofía de mejora continua
- Mejora la calidad de los productos finales
- Aumenta la velocidad de negocio, adelanta los lanzamientos a producción y a mercado, y mejora la respuesta de la empresa a los incesantes cambios de mercado
- Es utilizado como soporte en la toma de decisiones, ya que resulta de gran ayuda para cumplir todas las normas industriales, legislaciones y regulaciones gubernamentales involucradas en el proyecto de desarrollo
- Mantiene la trazabilidad de las acciones

Beneficios para la organización

- Elimina las barreras geográficas, al permitir el trabajo en línea y a tiempo real, facilitando la internacionalización
- Sirve de apoyo en la toma de decisiones sobre cambios en la organización
- Facilita la subcontratación y la participación de proveedores en los procesos
- Fomenta la reutilización de conocimientos, de manera que los proyectistas dispongan de toda la información necesaria sobre componentes, diseños y procesos antiguos de la empresa
- Consolida y asegura todo el capital intelectual corporativo, tanto el relativo a productos como a procesos
- Disminuye el riesgo de pérdida de conocimiento empresarial, gestionando los procesos sensibles a esta debilidad, como la salida de determinadas personas de la empresa
- Facilita la rápida integración de nuevas personas en los proyectos, al ofrecer un entorno de trabajo intuitivo, estructurado y con una excelente organización
- Maximiza las inversiones realizadas en sistemas informáticos, optimizando el trabajo de cada tipo de software, al ser desarrollados en un entorno que integra todas las herramientas necesarias para gestionar la totalidad del proceso de desarrollo y producción
- Aumenta la seguridad en el acceso a información y la protección de los datos

Beneficios para los usuarios

- Gracias al software PLM, van a tener a su alcance todos los datos e información sobre los productos, servicios y procesos de la empresa
- Ofrece una interfaz de acceso común a todos los datos
- Establece vínculos entre personas, datos, y procesos
- Reduce la ejecución de tareas administrativas, al trabajar íntegramente sobre el sistema PLM
- Reduce las posibilidades de trabajar sobre datos que están siendo modificados por otras personas, favoreciendo el trabajo en línea, la actualización en tiempo real y la utilización del dato único

Beneficios para el producto o servicio

- Fomenta la reutilización de diseños y componentes estandarizados anteriores, reduciendo la duración de la fase de diseño e ingeniería
- Facilita la gestión modular del producto, esto es, el planteamiento del proceso de desarrollo como una serie o combinación de módulos, cada uno destinado a cubrir una faceta determinada de dicho producto.
- Reduce el coste de materiales utilizados, gracias al uso más eficiente de los mismos, reduciendo también los costes de almacenamiento de piezas y recambios obsoletos.
- Permite aumentar la complejidad del producto de forma controlada, focalizando las mejoras en acciones del proceso concretas, pudiendo valorar los impactos antes de llevar a cabo dichas mejoras
- Facilita el crecimiento de la cartera de productos ofrecida por la empresa
- Gestiona en una misma plataforma las estructuras de productos, las distintas versiones y las configuraciones, facilitando la innovación de productos
- Facilita el contacto con los clientes, mejorando y acelerando la respuesta a sus solicitudes
- Facilita y favorece las mejoras del producto en las fases de diseño, al disponer de las herramientas idóneas para la visualización, modificación y testeo de los modelos
- Disminuye los errores en las configuraciones y listas de materiales, reduciendo el impacto en el proceso una vez el producto ha sido lanzado a producción
- Acorta los plazos de entrega y devolución, y facilita el servicio postventa
- Gestiona todos los datos del producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la concepción de la idea inicial hasta su obsolescencia y reciclado.
- Ayuda a explorar alternativas de diseño e ingeniería al principio de la vida de un producto. En las etapas iniciales, hacer un cambio tiene un coste muy bajo, pero tendrá un impacto decisivo sobre los costes futuros; hacer cambios tras el lanzamiento al mercado supone costes muy elevados, tanto para la empresa como para los clientes.

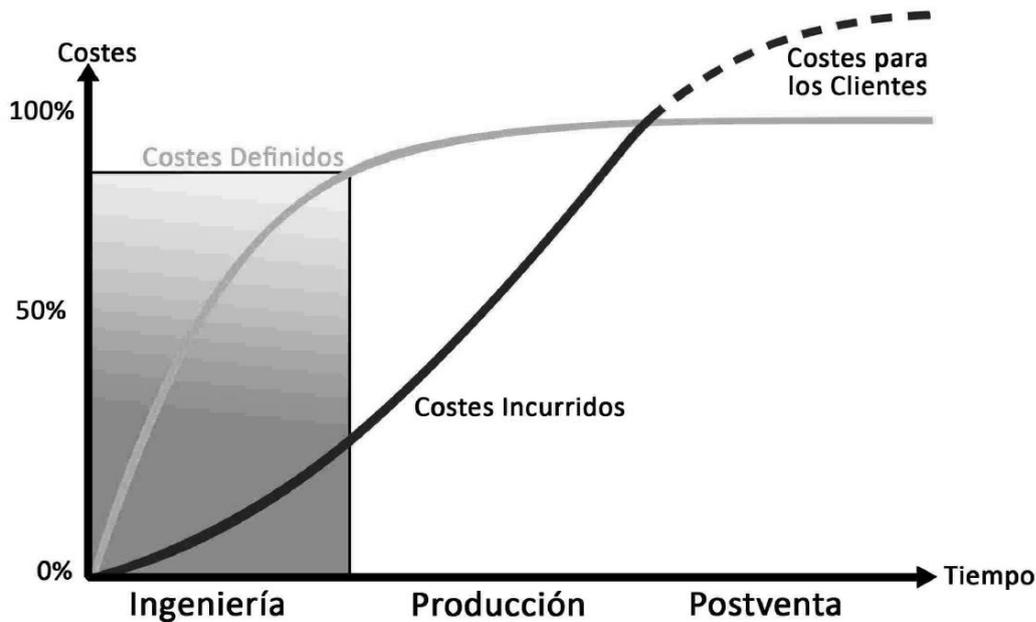


Figura 7. Evolución de los costes incurridos a lo largo del ciclo de vida del producto (Fuente: Arion Data Systems)

Para obtener una visión más clara de lo beneficios de la implementación de un sistema PLM en una empresa de manufactura, se va a cuantificar a continuación en qué medida es notable la optimización de los distintos ámbitos del desarrollo y producción de nuevos productos, tomando como base los datos publicados por la consultora CIMdata (2003):

- ❖ Tiempo de lanzamiento: reducción entre el 10% y el 50%
- ❖ Tiempo para hacer un cambio de ingeniería: reducción entre el 10% y el 70%
- ❖ Tiempo para revisar un diseño: reducción entre el 50% y el 80%
- ❖ Productividad: aumentada entre el 10% y el 20%
- ❖ Coste de desarrollo de productos: reducción entre el 25% y el 40%
- ❖ Número de nuevas referencias creadas: reducción entre el 5% y el 15%
- ❖ Tiempo para encontrar información: reducción entre el 75% y el 90%
- ❖ Errores de diseño: reducción entre el 10% y el 25%
- ❖ Tiempo para completar un diseño: reducción entre el 15% y el 70%
- ❖ Costes de viajes en diseño: reducción entre el 20% y el 35%

Una vez se enumeran los beneficios de la implementación de un sistema de gestión de este tipo, cualquier alto directivo con visión y criterio decidiría buscar inmediatamente un proveedor que le ofreciese el mejor PLM de acuerdo con las necesidades y

posibilidades de su empresa. Pero ningún sistema de gestión es perfecto, y existen una serie de debilidades o riesgos que las empresas corren si no cuentan con un PLM eficaz o correctamente implantado:

- Implantar sistemas de información aislados que pueden hacer que se duplique la información del producto y de su diseño, lo que dificulta el proceso de seguimiento de los cambios y los errores, y da lugar a retrasos costosos o proyectos incompletos
- No poder seguir un proceso sincronizado y rentable para administrar e implementar cambios en la planeación, la producción y la compra de producto
- Un sistema PLM que no cuenta con capacidades de gestión y respaldo de la información del producto no permite capturar, almacenar, proteger y controlar las versiones de la información para que los usuarios puedan encontrar los datos correctos al hacer una búsqueda
- Una solución PLM que no cuenta con un Módulo de Gestión de Materiales (MM) dificulta el proceso de definición de clases de materiales según las características de un producto. Esto puede llevar a la empresa a usar los materiales incorrectos en el proceso de fabricación. El Módulo MM estudia el proceso llamado *procure-to-pay* (P2P)⁴, en donde se puede observar cómo se lleva a cabo la incorporación de un proveedor a la base de datos, materias primas, presupuestos, recepción de materias y pago al proveedor.

⁴ *Procure-to-pay* es un término utilizado en la industria del software para designar una subdivisión específica del proceso de aprovisionamiento. Los sistemas de *procure-to-pay* permiten la integración del departamento de compras con el departamento de cuentas por pagar.

2.4. Componentes del PLM

En la actualidad es difícil encontrar una empresa, e incluso, cualquier profesional autónomo, que funcione sin utilizar la tecnología para mejorar su productividad y gestión empresarial. El uso de los diferentes sistemas y software de gestión disponibles en el mercado, en su justa medida y siempre adaptándose a las necesidades y/o posibilidades de la organización, se ha convertido en una obligación para cualquier empresa de manufactura e ingeniería que busque mantener su competitividad y poder abordar los muchos procesos empresariales con la mayor efectividad.

En este aspecto, los sistemas PLM serán los encargados de gestionar toda la información relativa a los productos: aprovecha la información de la empresa y ayuda a tomar mejores decisiones en relación al desarrollo de productos, la gestión, el diseño y la producción. Con PLM, se puede optimizar cada paso del ciclo de vida del producto para crear productos de mejor calidad, lanzar nuevos productos al mercado en menos tiempo y a un costo más bajo y maximizar las ganancias. En definitiva, un sistema PLM va a permitir a la empresa administrar e innovar efectivamente los productos y los procesos relacionados con ellos, a lo largo de toda su vida económica.

La buena gestión de los productos y los procesos, basándonos en el PLM, va a suponer un crecimiento de la empresa en muchos aspectos: se percibirán beneficios al acortar tiempos y optimizar el proceso de desarrollo, se mejorará la calidad final del producto y se obtendrá un gran control de todo el ciclo de vida del mismo. Pero una empresa no debe descuidar el resto de sus actividades, ya que la gestión de productos con PLM no es más que uno de los cuatro pilares de la infraestructura de **TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (TI)**⁵ de una organización. Los otros tres pilares o dominios en los que se implementa la gestión apoyada en softwares o herramientas informáticas de este tipo son los siguientes:

CLIENTES

Toda empresa va a necesitar administrar la comunicación e información relacionada con sus clientes; para ello, existe una herramienta de software que se va a encargar de la gestión de todo consumidor del producto o servicio: el CRM

⁵ La tecnología de la información es la aplicación de ordenadores y equipos de telecomunicación para almacenar, recuperar, transmitir y manipular datos, con frecuencia utilizado en el contexto de los negocios u otras empresas.

(en inglés *Customer Relationship Management*, o Gestión de las relaciones con clientes).

Un CRM es una solución de gestión de las relaciones con clientes, orientada normalmente a gestionar tres áreas básicas: la gestión comercial, el marketing y el servicio postventa o de atención al cliente. Su implementación en la empresa tiene los objetivos finales de mejorar la atención y las relaciones con clientes y potenciales, incentivar la recompra y determinar cuáles son las necesidades reales del cliente para ofrecerle bienes o servicios que se adapten a sus requerimientos y cumplan sus expectativas en términos de utilidad y costos.

La herramienta CRM y la orientación al cliente que promueve proporcionan resultados demostrables, tanto por disponer de una gestión comercial estructurada y que potencia la productividad en las ventas como por ofrecer un conocimiento profundo del cliente que permite plantear campañas de marketing más efectivas. Además, el impacto positivo será mayor gracias a la función de atención al cliente, que potencia la fidelización y satisfacción del posiblemente mayor activo de la empresa: el cliente.

Un software CRM se trata de una herramienta que permite centralizar en una base de datos toda interacción que se de en una empresa con sus clientes. Esto permitirá dirigir y gestionar de manera más sencilla las campañas de marketing, de captación y fidelización; también posibilita el control de las acciones realizadas sobre los clientes, aumentando su comprensión, y gestionar las acciones comerciales a través de un mismo software.

CADENA DE SUMINISTRO

En una empresa manufacturera, el tiempo que cuesta terminar un producto y lanzarlo al mercado, dependerá en gran parte del suministro de materias primas o componentes requeridos para los diferentes niveles de la cadena de producción. El término “cadena de suministro” no sólo hará referencia a este tipo de elementos, sino que reunirá también dentro de su concepto todos los eslabones de esa cadena global de producción: las compras y la gestión de proveedores y subcontratistas, los suministros, la gestión de existencias, transporte, mantenimiento, etc.

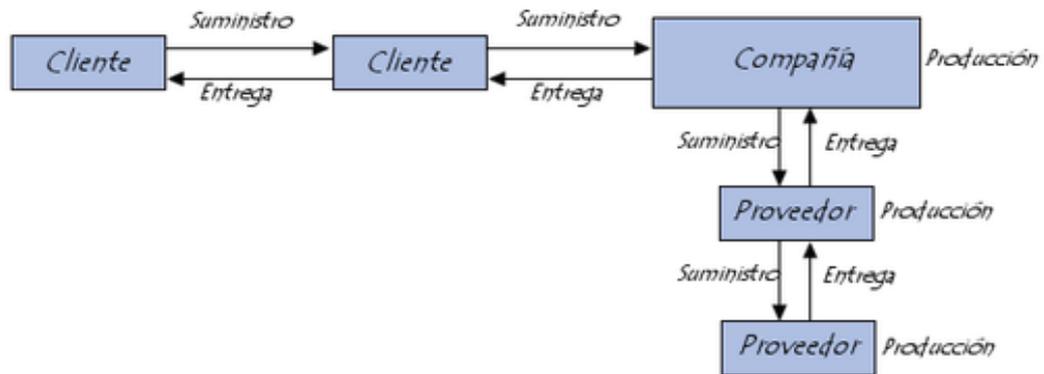


Figura 8. Esquema de la cadena de suministro de una empresa manufacturera (Fuente: *es.ccm.net*)

Un SCM (gestión de la cadena de suministro, del inglés *Supply Chain Management*) proveerá de las herramientas y métodos cuyo propósito es mejorar y automatizar el suministro, con el objetivo principal de reducir tanto inventarios como plazos de entrega. El término de producción “*just in time*”⁶ caracteriza el concepto de reducir al mínimo las existencias a lo largo de toda la cadena de producción.

Las herramientas SCM se basan en información sobre la capacidad de producción, que se encuentra en el sistema de información de la empresa, para hacer pedidos automáticamente. Por eso, las herramientas SCM tienen una fuerte correlación con la gestión de recursos de la empresa (ERP, *Enterprise Resource Planning*) dentro de la misma organización. Un software SCM debe centrarse en solucionar los principales problemas en la configuración y estrategia de la red de distribución y en la gestión de inventarios.

RECURSOS

Uno de los objetivos más determinantes procurados por una empresa, que va a permitir garantizar su competitividad y presencia en el mercado, sobre todo, en el área de empresas dedicadas a la producción u otras labores de ingeniería, es conseguir la máxima eficiencia en el uso y manejo de recursos y materiales. Por

⁶ El *just in time*, o *JIT*, es una política de mantenimiento de inventarios al mínimo nivel posible de origen japonés, donde los suministradores entregan justo lo necesario en el momento necesario para completar el proceso productivo. Permite reducir costos, especialmente de inventario de materia prima, partes para el ensamblaje, y de los productos finales.

ello, con el asentamiento de las TI en el mundo empresarial, los sistemas ERP se han convertido en un aliado fundamental en la elaboración y gestión de una estrategia empresarial.

Los ERP o sistemas de planificación de recursos empresariales (en inglés, *Enterprise Resource Planning*) son los sistemas de gestión encargados de administrar toda la información relativa a los recursos de los que dispone la empresa. Básicamente, se trata de una herramienta de software que facilita e integra la información entre las funciones de manufactura, logística, finanzas y RRHH de una empresa. La implementación de un ERP va a permitir automatizar muchas de las prácticas de negocio relacionadas con los aspectos operativos y productivos de la empresa, centrandose su actuación en la gestión de la facturación, pedidos y envíos, así como datos de clientes, personal y distribuidores, entre otros.

Dentro de las características más destacables de este tipo de sistemas, encontramos que un ERP cuenta con una base de datos centralizada, donde se capturan todos los datos, que deberán ser consistentes, completos y comunes. Los componentes del ERP interactúan y comparten toda su información entre sí, consolidando las operaciones.

Es importante aclarar que para que una aplicación sea un ERP debe integrar todos los procesos del negocio, desde la solicitud de cotización de los bienes hasta la venta de los mismos (si se trata de una empresa de comercialización), sin excluir ninguno de los pasos involucrados. Por ello, el mayor problema que puede suponer la implementación de un sistema como este es que, dependiendo de la empresa y su modo de producción, es posible que se tenga que modificar alguno de los procesos para alinearlos con los del sistema ERP, y así lograr una gestión y control efectivos.

Un software ERP va a permitir el acceso a la información necesaria sobre el producto, la posibilidad de compartir información con el resto de componentes de la corporación, y eliminar datos y operaciones innecesarias de reingeniería. Además, un software de este tipo va a ayudar a centralizar la economía de la empresa y a solucionar cualquier problema contable, mercantil o fiscal, y ni se diga cuando la empresa sea una manufacturera, que podrá integrar la mayor parte

de su negocio (administración, producción, manufactura, puntos de venta y más) en un solo sistema.

PROVEEDORES

Para gestionar las interacciones de las empresas con las otras organizaciones que les suministran los bienes y servicios que utilizan, existe un sistema o enfoque integral denominado Gestión de relaciones con los proveedores (*Supplier Relationship Management*, o SRM, por sus siglas).

El objetivo de estos sistemas es agilizar y aumentar la eficacia de los procesos entre la empresa y sus proveedores, del mismo modo que la gestión de las relaciones con los clientes (CRM) está dirigida a optimizar los procesos de interacción empresa-cliente.

Un software SRM, y las prácticas de negocio asociadas a este sistema, formarán parte del flujo de información gestionado por la herramienta SCM (gestión de la cadena de suministro).

Las prácticas de SRM crean un marco de referencia común para facilitar una comunicación efectiva entre la empresa y sus proveedores, ya que puede haber diferencias sustanciales en cuanto a prácticas y terminología. En última instancia, un SRM mejora la eficiencia de los procesos asociados con la adquisición de bienes y servicios, la gestión de inventarios y el proceso de materiales.

RECURSOS HUMANOS

Finalmente, un HRM (del inglés *Human Resource Management*, que significa Administración de Recursos Humanos) es un sistema que permite mantener actualizada la información de los empleados de la empresa.

No se limita sólo a los datos básicos, también maneja todo lo referente a capacidades, aptitudes, indicadores de desempeño, habilidades, conocimientos; ayuda a determinar las deficiencias que puede poseer un empleado en un área determinada (que es de utilidad para su labor) y permite elaborar un plan de adiestramiento que disminuya la brecha entre el deber ser y el ser.

Además de todos los aspectos a gestionar citados anteriormente, las empresas de manufactura e ingeniería deben ante todo desarrollar, describir, administrar y comunicar información acerca de sus productos. Como se ha explicado a lo largo de este Trabajo, el sistema encargado de gestionar el ciclo de vida del producto en su totalidad va a ser el PLM. Los distintos componentes del PLM van a integrar datos e información sobre personas, productos, procesos y sistemas de negocio dentro de una estrategia empresarial basada en las T.I.

Los componentes del PLM se alinearán para actuar con distintos modos de enfoque en 5 ámbitos, principalmente:

- **Ingeniería de sistemas**

Se trata de un campo interdisciplinario de la ingeniería y la gestión de ingeniería, que se enfoca en cómo diseñar y gestionar sistemas complejos sobre sus ciclos de vida. Puede también verse como la aplicación tecnológica de la teoría de sistemas a los esfuerzos de la ingeniería, adoptando en todo este trabajo el paradigma sistémico.

La esencia de este modo de enfoque es utilizar los principios del pensamiento sistémico para organizar todo el conjunto de conocimiento. Diversas actividades en el desarrollo de productos, tales como la coordinación de diferentes equipos de trabajo, la logística, las exigencias de ingeniería, las pruebas y evaluaciones, la fiabilidad del producto y los procesos y muchas otras disciplinas necesarias para el correcto desarrollo del sistema y la evolución del producto a lo largo de su ciclo de vida, van a ser más difíciles de gestionar cuanto mayores y más complejos sean los proyectos.

Dentro de un sistema PLM, la ingeniería de sistemas es aplicada a lo largo de todo el proceso de desarrollo y producción, y se enfoca principalmente en analizar y precisar las necesidades del cliente y las funcionalidades requeridas, documentar las sugerencias y los requerimientos y, luego, continuar con la síntesis del diseño y la validación del sistema al considerar el problema en su totalidad: el ciclo de vida del producto.

En su libro, *“Engineering Complex Systems With Models and Objects”*, el científico David W. Oliver, afirma que el proceso de ingeniería de sistemas y su aplicación en un sistema PLM o cualquier sistema de gestión empresarial se puede descomponer en dos procesos: uno proceso técnico, en el que se incluye evaluar la información

disponible, definir medidas de efectividad, crear un modelo de comportamiento, crear un modelo de estructura, realizar un análisis de compromiso, y crear un plan secuencial de construcción y ensayo, y un proceso de gestión, que va a consistir en organizar el esfuerzo técnico durante el ciclo de vida.

Al proporcionar un enfoque holístico (sistémico) al proceso de desarrollo de productos, la ingeniería de sistemas va a permitir alinear en un esfuerzo unificado de equipo a todos los integrantes de los diferentes departamentos involucrados. Este hecho, unido a la integración de todos los componentes del sistema PLM y la interdisciplinariedad del planteamiento, va a facilitar el procesamiento de información y, por tanto, la toma de decisiones más eficaces.

- **Gestión de producto y de portafolio de proyectos (PPM)**

Gestión de producto:

En primer lugar, se conoce como **gestión de producto** al área del *marketing mix*⁷ que se ocupa de la planificación, previsión, producción y comercialización de un producto o productos en todas las etapas del ciclo de vida dentro de la empresa.

La ejecución de actividades de gestión de producto permite a las empresas conocer las oportunidades existentes en el mercado, desarrollar productos de cierta naturaleza y utilidad en relación a las mismas y su lanzamiento a potenciales consumidores. En este sentido, se puede afirmar que la gestión de productos persigue la rentabilidad de las empresas, así como su éxito comercial, adaptando su actividad a las necesidades de los mercados. Por otro lado, se puede decir que esta disciplina del ámbito del marketing está más centrada en el largo plazo que en el corto-medio, ya que uno de sus objetivos inherentes es la adaptación y consolidación de las firmas en los mercados, manteniendo su crecimiento y durabilidad.

La gestión de producto va a centrarse en aspectos esenciales en el desarrollo del ciclo de vida del producto, tales como la elección de bienes y servicios a comercializar (se requerirán labores de investigación y conocimientos de los mercados), el diseño y

⁷ El *marketing mix* es una estrategia centrada en el aspecto interno de una compañía y que, gracias a su simplicidad, sirve para analizar algunos aspectos básicos de su actividad y plantear operaciones, tácticas de marketing y cumplir sus objetivos. Engloba 4 elementos: producto, precio, distribución y promoción.

desarrollo de los mismos y el control de la marca (una buena gestión de producto debe servir para reforzar a la marca y otorgar a su empresa beneficios económicos, competitivos y reputacionales).

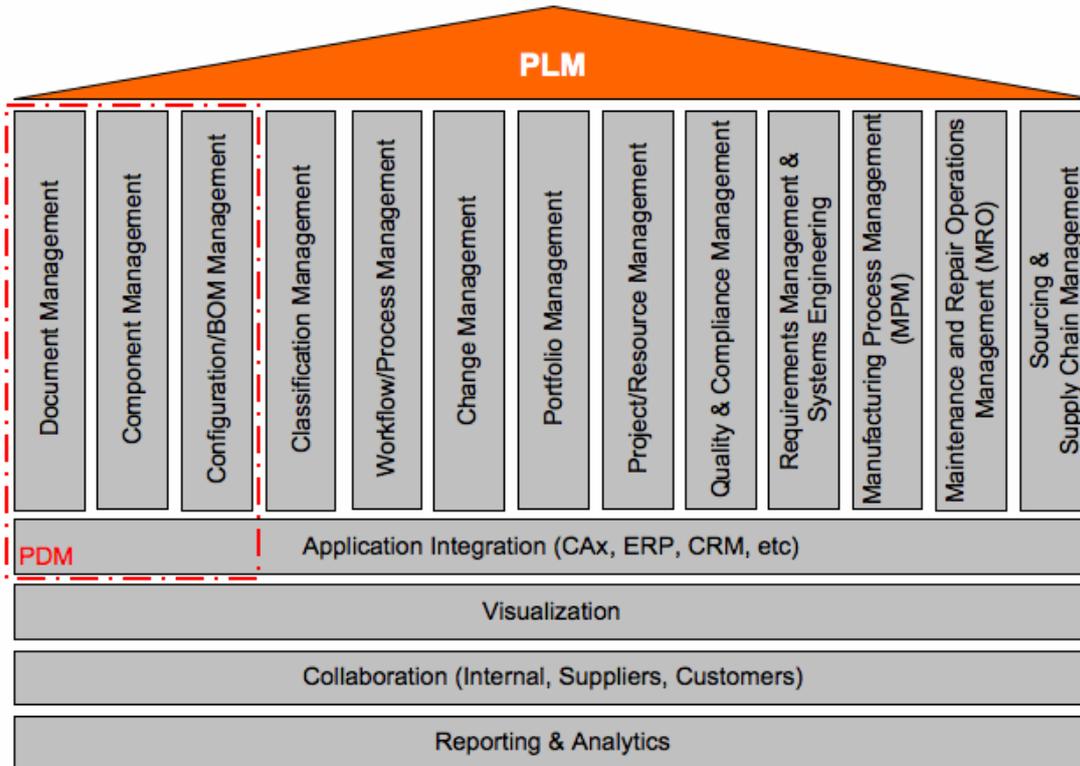


Figura 9. Componentes de un sistema PLM (Fuente: CAD Central Limited)

Gestión de portafolio de proyectos (PPM):

Antes de hablar del portafolio de proyectos y su gestión, es necesario definir qué es un proyecto, un programa y un portafolio, para lograr identificar sus diferencias y alcances.

De conformidad con el *Project Management Institute* (PMI), un proyecto “*es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único*”. La razón de un proyecto es alcanzar resultados o metas específicas dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente, y un lapso de tiempo previamente definido. A pesar de que, habitualmente, puedan existir elementos repetitivos dentro de un proyecto (de hecho, uno de los objetivos del PLM es favorecer la reutilización de capital intelectual de proyectos pasados), hay que destacar que debe ser único.

Por otro lado, un programa es un conjunto de proyectos interrelacionados para la consecución de beneficios que no se obtendrían si se realizasen individualmente. Su gestión se realiza de forma coordinada. Esto permite un desarrollo en base a ciertos parámetros establecidos. Normalmente, dentro de un programa, los proyectos relacionados serán realizados de manera paralela o secuencial, y la gestión del programa procurará controlar y coordinar las interdependencias entre sus proyectos para el logro de los objetivos, y ayudará a determinar el enfoque óptimo para su consecución.

Si la relación entre los proyectos está dada únicamente por un cliente, vendedor, tecnología o recurso en común, el esfuerzo se debería gestionar como un portafolio de proyectos, en lugar de hacerlo como un programa.

Un portafolio es un conjunto de programas o proyectos, que no necesariamente están relacionados entre sí, pero que sí están orientados al cumplimiento de un objetivo estratégico. Se trata de un conjunto de proyectos y programas, agrupados para conseguir una gestión más eficiente de los mismos, con el fin de cumplir con los objetivos del negocio establecidos en el plan estratégico de la empresa.

Con el objetivo de alcanzar las metas marcadas y asegurar que el portafolio sea coherente en todo momento con las estrategias corporativas, la gestión de portafolios de proyectos incluirá la administración centralizada de los portafolios de la empresa, además de la autorización, dirección, control, y la identificación de prioridades en la asignación de recursos (personas, equipos, presupuesto...) dentro de dichos programas y proyectos.

Con la gestión de portafolio de proyectos (PPM) implementada en un sistema PLM, la dirección de la empresa va a ser capaz de alinear los proyectos con los objetivos estratégicos, aprobar solo aquellos trabajos o proyectos que apoyen directamente objetivos de negocio, y gestionar el riesgo del portafolio. En resumen, como resultado de la buena implementación e integración con el resto de los componentes del PLM, la gestión de portafolios va a lograr la consecución de los siguientes objetivos:

- Definir la mejor estrategia de nuevos productos/proyectos para la organización
- Seleccionar los mejores proyectos para los nuevos productos o servicios
- Alcanzar el equilibrio y balance ideal de recursos entre dichos proyectos

La gestión de portafolios debe ser planteada como un proceso de toma de decisiones dinámico, para el cual el conjunto de proyectos de la empresa va a ser continuamente revisado y actualizado:

- ❖ Se evalúan, seleccionan y priorizan nuevos proyectos
- ❖ Se aceleran, matan o se cambian prioridades de proyectos en curso
- ❖ Se asignan nuevos recursos o se reasignan entre proyectos activos

Finalmente, la gestión del portafolio de proyectos, por la complejidad que presenta, requiere de madurez organizacional, capital humano altamente competente y un enfoque sistémico del conjunto de proyectos; de lo contrario, los beneficios tendrán poco o nulo impacto en los objetivos estratégicos de la organización.

- **Diseño de productos (CAx)**

El diseño de productos es el proceso de crear nuevos productos para ser vendidos por una empresa a sus clientes o consumidores. Se trata de un concepto de vasto alcance, pero en el contexto de este Trabajo, va a hacer referencia esencialmente a la generación y desarrollo de ideas de manera eficiente y eficaz a través de una serie de procesos que, coordinados y gestionados correctamente, darán como resultado el lanzamiento de un nuevo producto al mercado.

Dentro de este ámbito de la gestión del ciclo de vida de productos, va a ser fundamental el conocimiento y amplio manejo de las principales herramientas de diseño, análisis y fabricación de productos: las tecnologías asistidas por computadora o *Computer-aided technologies* (CAx). Estas herramientas van a fusionar los distintos ámbitos gestionados por el PLM, no sólo el diseño del producto como tal, sino también la manufactura, los análisis y simulaciones, la planificación del producto y los procesos e incluso el control de la calidad.

Entre las principales tecnologías CAx integradas dentro de un sistema PLM, van a destacar (por estar incluidas en prácticamente todos los softwares PLM):

- Diseño asistido por computadora (CAD)
- Diseño industrial asistido por computadora (CAID)
- Ingeniería asistida por computadora (CAE)
- Fabricación asistida por computadora (CAM)

- Planificación de procesos asistida por computadora (CAPP)
 - Control de calidad asistido por computadora (CAQ)
 - Manufactura integrada por computador (CIM)
 - Planificación de requerimientos de material (MRP)
- **Gestión de procesos de fabricación (MPM)**

La gestión de procesos de fabricación o, en inglés, *Manufacturing Process Management* (MPM) es algo que todas las manufactureras se han visto obligadas a plantear siempre, de una manera u otra. En un mundo empresarial cada vez más competitivo, las organizaciones se encuentran sometidas a una presión constante, no sólo para diseñar nuevos productos innovadores lo más rápido posible, sino también para aumentar su producción con un tiempo de lanzamiento mínimo, costes predecibles y calidad garantizada, siempre manteniendo la eficiencia máxima de los procesos. La mejora del proceso de negocios que aporta MPM es esencial para alcanzar estos difíciles objetivos de coste, tiempo y calidad.

Para comenzar a definir qué es en realidad MPM, se puede decir que es el puente entre los diseños del producto y su versión física. Todas las tareas que se determinen para convertir ese modelo virtual obtenido en la fase de diseño a su versión física son las tareas que administra una metodología MPM. Por lo tanto, mientras la mayoría de los componentes del sistema PLM se encarga de gestionar el producto y su ciclo de vida, el MPM va a definir los procesos de manufactura y cómo debe fabricarse el producto.

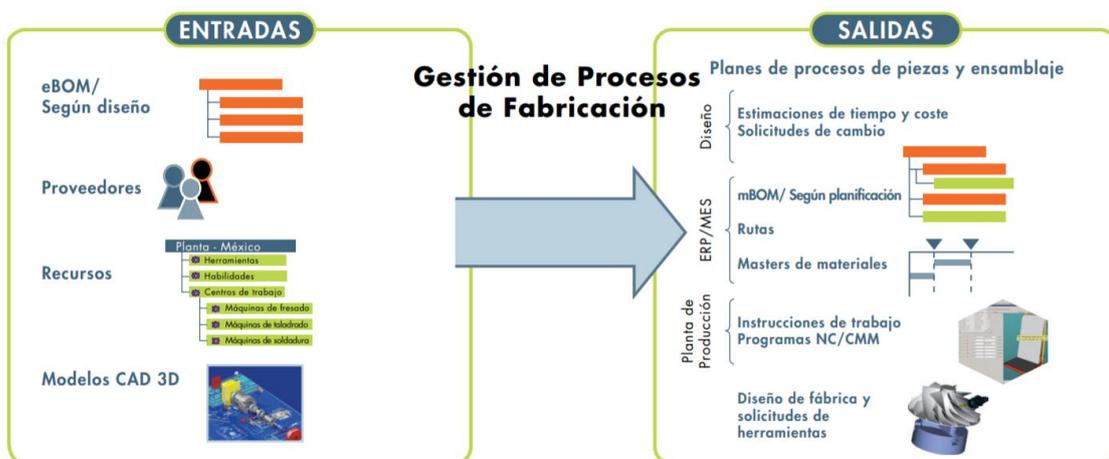


Figura 10. Proceso de definir y gestionar los procesos de fabricación que se emplearán para fabricar piezas, ensamblar productos finales y realizar inspecciones (Fuente: PTC)

La MPM recibe del departamento de ingeniería la definición digital del producto, analiza las funciones y la capacidad de las plantas internas y de los proveedores externos y suministra el conjunto de planes de fabricación necesario para fabricar el producto. En la etapa de diseño del producto, la mayoría de información aportada sobre el producto hasta el comienzo de la producción agrupará, entre otros datos, diseños en CAD/CAE y su BOM (*Bill of Materials*, o Lista de materiales), obedeciendo la estructura del producto.

Una de las tareas del MPM va a ser la sincronización de toda la información generada en la fase de diseño e ingeniería con la información necesaria para su producción. Si esta gestión de procesos de fabricación es iniciada desde el comienzo de la etapa de diseño, se lograrán grandes resultados positivos: se cerrará la brecha temporal entre las fases de diseño y producción, se reducirán tiempos de fabricación y se podrá participar en el proceso de desarrollo del producto de una manera más efectiva y determinante de cara a las etapas posteriores de su ciclo de vida.

Esta sincronización con el resto de sistemas de gestión será fundamental, ya que un MPM no sólo va a conectar el diseño del producto con su posterior fabricación, sino que también va a aportar al departamento de ingeniería un feedback inmediato sobre los distintos procesos de fabricación. Por lo tanto, va a contribuir a comunicar e integrar todos los sistemas, entre ellos el PLM y el ERP, permitiendo la navegación por las estructuras de productos, listas de materiales de fabricación (mBOM) e información e instrucciones sobre los procesos productivos, necesarias para la óptima elaboración del producto.

Entre las principales ventajas que suele aportar la implementación de MPM, destacan:

- Mejora de la eficiencia en el proceso de fabricación: permite la reutilización de información de planes de procesos anteriores, la reutilización de procesos ya validados y estudiados y contribuye a disminuir tiempos en el planeamiento de los procesos elegidos, gracias a la actualización dinámica.
- Incremento de la productividad y de la producción: aumenta la preparación y formación para el proceso, gracias a instrucciones precisas y significativas aportadas, y permite la validación digital en la optimización de procesos.
- Reducción del coste que supone la introducción de cambios: identifica los cambios de diseño requeridos, con feedback inmediato de fabricación; agiliza

la identificación de cambios; y proporciona un sistema de gestión de cambios integral, apoyado en las necesidades de ingeniería y fabricación.

En resumen, MPM va a ofrecer una serie de herramientas y métodos que van a aportar la mayor información posible sobre cómo y con qué procesos deberán ser fabricados los productos. También, va a permitir a la empresa gestionar los cambios en su configuración, sus efectos, y los procesos y habilidades requeridas para adelantarse a las demandas de recursos en la producción.

- **Gestión de datos de producto (PDM)**

La gestión de datos de producto (PDM) es el uso de software de gestión de datos y la información relacionada con el proceso de desarrollo y fabricación del producto, en un solo sistema central. Este conjunto de información va a incluir el diseño asistido por ordenador (CAD), información de piezas y modelos, instrucciones de fabricación, requisitos, notas y documentos.

La implementación de las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) ha ayudado a las empresas a mejorar su productividad, disminuyendo costos, ciclos de diseño y tiempos de lanzamiento. La continua evolución de la tecnología CAD, desde los primeros diseños 2D hasta los modelos 3D actuales y la creciente preocupación por la automatización, ha favorecido a mejorar la eficiencia, calidad e innovación de productos, pero en la actualidad, el gran volumen y diversidad de datos de diseño que los ingenieros manejan ha creado la necesidad de centrar una parte del trabajo de gestión en controlar esta gran cantidad de información, naciendo así el PDM.

En el pasado, la gestión documental era realizada de manera manual, identificando los dibujos y planos de diseños casi siempre numéricamente, y guardando y clasificando dicha información en formato papel. Un sistema PDM no sólo servirá para informatizar y automatizar esta práctica, sino que también representa un paso adelante para maximizar las ventajas de productividad que comienza a suponer la automatización del CAD en las etapas de desarrollo de productos y en toda la empresa.

Un sistema PDM eficaz debe ser accesible por múltiples aplicaciones de software y múltiples equipos en toda la empresa, y apoya las necesidades específicas del negocio, por lo que debe ser correctamente implementado junto con el resto de sistemas de gestión,

de manera que la administración de todo el capital intelectual de la organización sea realizado en una plataforma integrada, que recoja los datos de todos los procesos y acciones realizadas durante el desarrollo de nuevos productos, gracias a la transferencia de información entre las plataformas que gestionan las distintas etapas en el ciclo de vida de un producto, y su almacenamiento en el PDM. Por lo tanto, la elección del software de gestión de datos de producto adecuado puede proporcionar a una empresa de cualquier sector una base sólida que se puede ampliar fácilmente en una plataforma de gestión de ciclo de vida completo de producto (sistema PLM).

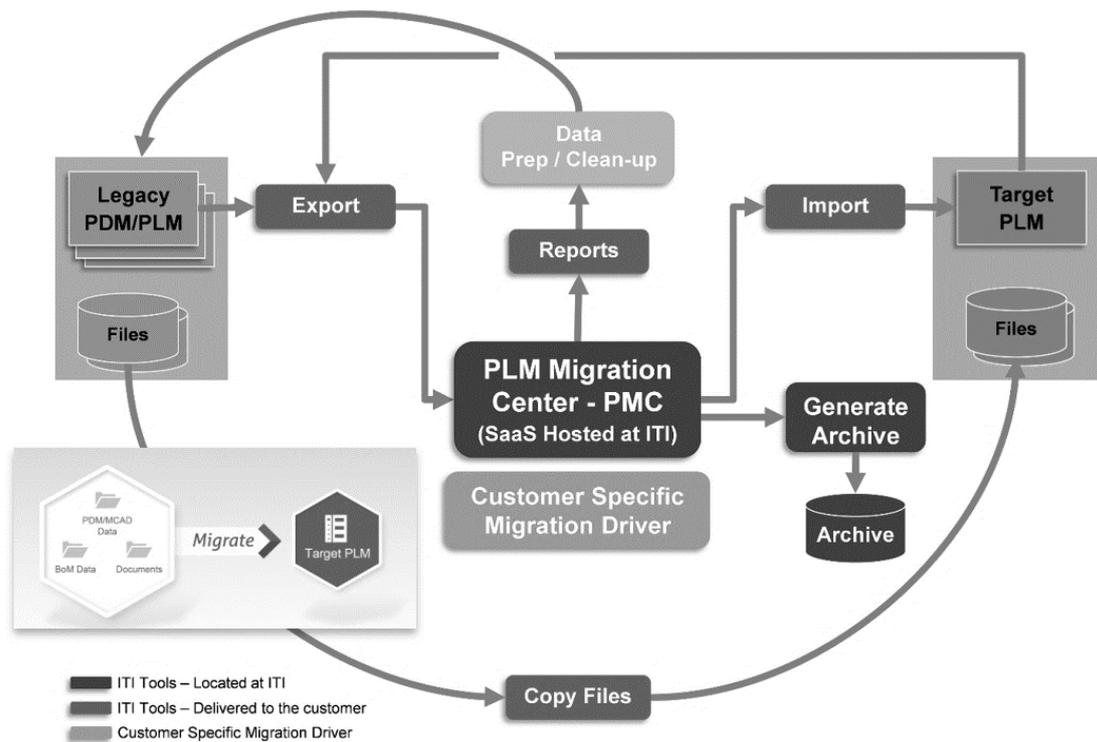


Figura 11. Proceso de migración de datos PLM de la empresa ITI, dentro de la integración de sistemas PDM/PLM (Fuente: ITI – International TechneGroup)

Entre las personas que se van a beneficiar de la gestión de conocimientos y capacidad de *reporting*⁸ de los sistemas PDM, se incluyen jefes de proyecto, ingenieros, comerciales, equipos de control de calidad, y también consumidores o compradores. Además, la implementación de un sistema PDM va a permitir a las empresas:

⁸ Como define la consultora ACG consultores, *reporting* es un sistema que pretende generar flujo de información y facilitar el acceso a ella a toda persona que la requiera para el desarrollo de sus funciones. Pero no se trata de recopilar mucha información, sino la necesaria para “generar escenarios, pronósticos e informes que apoyen a la toma de decisiones”.

- Encontrar la información correcta con rapidez
- Mejorar la productividad y reducir los ciclos de desarrollo
- Reducir los errores y costes de desarrollo
- Mejorar la cadena de valor⁹ de nuevos productos
- Cumplir con los requisitos de negocio y reglamentarios pertinentes
- Optimizar los recursos operativos
- Facilitar la colaboración entre los equipos globales
- Proporcionar la visibilidad necesaria para una mejor toma de decisiones empresariales

2.5. Arquitectura de un sistema PLM

El funcionamiento de un sistema PLM va a depender principalmente del tipo de estructura o arquitectura con la que se haya diseñado.

En la mayoría de los casos, los sistemas PLM van a construirse sobre una arquitectura del tipo cliente-servidor, que se trata de un modelo de diseño de software en el que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos o servicios, llamados **servidores**, y los demandantes, llamados **clientes**.

- El **servidor** es el rol que desempeña un equipo ofreciendo un conjunto de servicios a los usuarios, tales como manejo de archivos, impresión, páginas web, direccionamiento de correo electrónico y control de acceso. Se apoya en una base de datos relacional, y distribuye la información mediante la ejecución de las diferentes herramientas y aplicaciones del sistema PLM.
- El **cliente** es el rol que desempeña un equipo de usuarios que demandarán servicios de los propios servidores, pero también podrán realizar labores de procesamiento local, tales como modificar información, mostrar ventanas, generar correos electrónicos, acceder a modelos o revisar el historial de acciones realizadas sobre un diseño. En este caso, los clientes serán los usuarios de la empresa, que accederán al servidor a través de las diferentes aplicaciones de CAD,

⁹ La cadena de valor es un concepto acuñado por Michael Porter (1985) en el que a raíz de las actividades de una empresa se crea una serie de relaciones o eslabones que tienen como objetivo aportar el mayor valor posible para el cliente. Hoy en día, la cadena de valor se entiende como una herramienta estratégica de análisis para identificar las ventajas competitivas de un negocio frente al mercado.

ofimática y de otros tipos mediante red local, o también de manera remota y en cualquier momento vía web. Estas aplicaciones de software estarán integradas en todo momento con el PLM, y van a ser las encargadas de generar toda la información gestionada luego por el sistema, formando una nube de información constantemente actualizada, gracias a la capacidad de guardado automático de las distintas aplicaciones de trabajo.

Este modelo de arquitectura va a ser realmente útil si es integrado en un sistema operativo multiusuario distribuido a través de una red de ordenadores, como puede ser el caso de una empresa de ingeniería de mediano tamaño como la planteada en el Trabajo.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la capacidad de proceso está repartida entre los clientes y los servidores, aunque van a ser más importantes las ventajas de tipo organizativo debidas a la centralización de la gestión de la información y la separación de responsabilidades, lo que facilita y clarifica el diseño del sistema.

Como se destacó en un principio, una de las claves del éxito de un sistema PLM va a ser su capacidad de convivir e integrar información con el resto de los sistemas o herramientas de gestión de información de la empresa. Son muchas las tecnologías que convergen en PLM (CAD, CAM, PDM, CAE...), lo que permite gestionar toda la información relativa a datos, procesos, sistemas de negocio y personas a lo largo del ciclo de vida del producto de manera eficiente y rentable. Pero no va a ser la única herramienta de gestión de datos: mientras el software PLM elimina efectivamente las islas de información producidas por los sistemas CAD/CAM, es el sistema ERP el encargado de eliminar eficazmente las islas de información vinculadas a la gestión financiera, gestión de la producción, la gestión de costos, gestión de demanda de materiales. Por lo tanto, los esfuerzos de la empresa deben estar concentrados en manejar de la manera más efectiva dicha información, y para ello, la solución óptima será la integración de ambos softwares, de manera que dispongamos, en ese entorno integrado, de la totalidad de la información relativa a la gestión de procesos y productos.

Al gestionar diferentes tipos de información, es normal que los sistemas den origen a bases de datos independientes y en formatos distintos, lo que dificulta y transforma en un obstáculo su integración. A pesar de ello, la información manejada por ambos sistemas está relacionada, y si una empresa trabaja por integrar dichos softwares podrá en su

momento compartir datos de diseño y producción por medio de un proceso automatizado. En suma, como ya se ha dicho anteriormente, una buena integración supondrá un aumento de la competitividad organizacional y de los beneficios económicos en labores de gestión, además de una completa integridad de los datos de la organización, asegurando a cualquier usuario de la plataforma el acceso a datos de productos continuamente actualizados.

Una vez se ha obtenido la integración PLM – ERP, se debe estudiar de qué manera va a ser implementada esta “fusión” de herramientas en la gestión de la empresa. Una de las tecnologías que mejor se adapta a este tipo de integración es el *Cloud Computing*, o **computación en la nube**, la cual va a permitir integrar el sistema PLM – ERP en cualquier servicio de aplicaciones; esto es porque los sistemas PLM y ERP basados en *Cloud Computing* van a funcionar mejor con una amplia variedad de servicios de aplicaciones que si estuvieran únicamente implementados en la empresa usuaria.

2.5.1. Integración PLM – ERP y *Cloud Computing*

Para clarificar las ventajas del *Cloud Computing* ante otros tipos de tecnologías, se debe conocer qué es realmente la computación en la nube. Se denomina *Cloud Computing* a cualquier cosa o servicio que tenga que ver con la provisión de servicios de hospedaje a través de Internet. Estos servicios se dividen en tres grandes categorías: Infraestructura como servicio (**IaaS**), plataforma como servicio (**PaaS**) y software como servicio (**SaaS**).

Los servicios en la nube tienen tres características bien diferenciadas que los desmarcan del hosting tradicional: por un lado, la tarificación se realiza en función del uso, normalmente por minuto o por hora; el servicio es elástico, ya que el usuario puede usar tanto como quiera y en el momento que lo desee; finalmente, el servicio es gestionado en su totalidad por el proveedor (el consumidor no necesita nada salvo una computadora personal y acceso a Internet).

Además, las importantes innovaciones en virtualización y computación distribuida, los grandes avances en la velocidad de acceso a Internet y la debilidad económica empresarial generalizada han impulsado si cabe más este tipo de servicios.

Las nubes pueden ser privadas o públicas. Una nube pública es aquella que vende servicios en Internet a cualquier usuario, como por ejemplo, *Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)*, *Blue Cloud* de IBM, *Sun Cloud*, *Google AppEngine* y *Windows Azure Services Platform*. Las nubes privadas son una red o centro de datos que pertenece a una organización y que ofrece servicios de hosting a un número limitado de personas. Cuando el proveedor de servicios usa recursos de nubes públicas para crear su nube privada, el resultado se denomina nube privada virtual. Sea privada o pública, el objetivo de la computación en la nube es ofrecer acceso a recursos de computación y servicios de TI de forma sencilla y escalable.

La **infraestructura como servicio (IaaS)** es una infraestructura informática inmediata que se aprovisiona y administra a través de Internet. Permite reducir o escalar verticalmente los recursos con rapidez para ajustarlos a la demanda y se paga por uso. Los ejemplos más utilizados de plataformas IaaS son Amazon Web Services (AWS) y Microsoft® Azure®.

IaaS evita el gasto y la complejidad que suponen la compra y administración de sus propios servidores físicos y otra infraestructura de centro de datos. Cada recurso se ofrece como un componente de servicio aparte, y usted solo tiene que alquilar un recurso concreto durante el tiempo que lo necesite. El proveedor de servicios informáticos en la nube es el encargado de administrar la infraestructura, mientras que la empresa usuaria únicamente debe comprar, instalar, configurar y administrar su propio software (sistemas operativos, middleware y aplicaciones).



Figura 12. Modelos fundamentales en el campo del *Cloud Computing* (destacando IaaS). Fuente: Microsoft Azure

Plataforma como servicio (PaaS) es un entorno de desarrollo e implementación completo en la nube, con recursos que permiten entregar todo, desde aplicaciones sencillas basadas en la nube hasta aplicaciones empresariales sofisticadas habilitadas para la nube. Usted le compra los recursos que necesita a un proveedor de servicios en la nube, a los que accede a través de una conexión segura a Internet, pero solo paga por el uso que hace de ellos.

Al igual que IaaS, PaaS incluye infraestructura (servidores, almacenamiento y redes), pero también incluye middleware, herramientas de desarrollo, servicios de inteligencia empresarial (BI), sistemas de administración de bases de datos, etc. PaaS está diseñado para sustentar el ciclo de vida completo de las aplicaciones web: compilación, pruebas, implementación, administración y actualización.

PaaS permite evitar el gasto y la complejidad que suponen la compra y la administración de licencias de software, la infraestructura de aplicaciones y el middleware subyacentes, las herramientas de desarrollo y otros recursos. Los desarrolladores del software necesario para la gestión de la empresa crean aplicaciones en la plataforma del proveedor a través de Internet, la empresa administra las aplicaciones y los servicios que desarrolla y, normalmente, el proveedor de servicios en la nube administra todo lo demás. Las plataformas *AppEngine* de Google y *Force.com* de Salesforce son buenos ejemplos de PaaS.

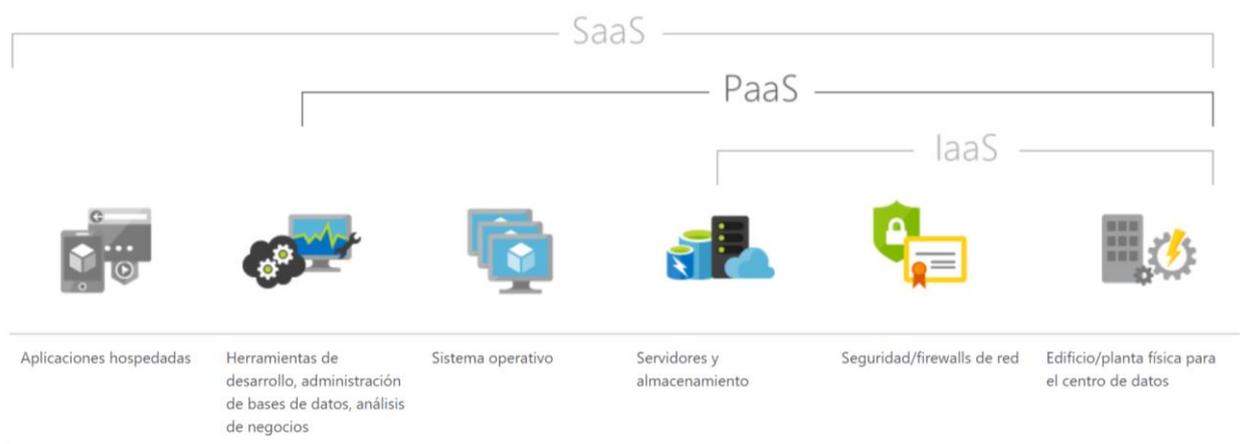


Figura 13. Modelos fundamentales en el campo del *Cloud Computing* (destacando PaaS). Fuente: Microsoft

Azure

El **software como servicio (SaaS)** permite a los usuarios conectarse a aplicaciones basadas en la nube a través de Internet y usarlas. Algunos ejemplos comunes son el correo electrónico, los calendarios y las herramientas ofimáticas (como Microsoft Office 365).

SaaS ofrece una solución de software integral que se adquiere de un proveedor de servicios en la nube mediante un modelo de pago por uso. La empresa alquila el uso de una aplicación para su organización y los usuarios se conectan a ella a través de Internet, normalmente con un explorador web. Toda la infraestructura subyacente, el middleware, el software y los datos de las aplicaciones se encuentran en el centro de datos del proveedor. El proveedor de servicios administra el hardware y el software y, con el contrato de servicio adecuado, garantizará también la disponibilidad y la seguridad de la aplicación y de sus datos. SaaS permite que una organización se ponga en marcha y pueda ejecutar aplicaciones con un costo inicial mínimo.

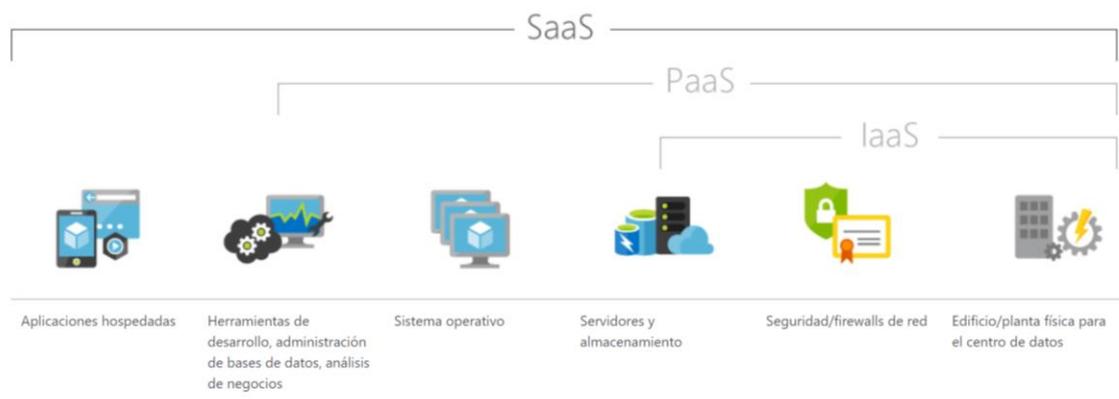


Figura 14. Modelos fundamentales en el campo del *Cloud Computing* (destacando SaaS). Fuente: Microsoft Azure

Realizando un análisis del panorama del *Cloud Computing* actual en España, basado en el estudio elaborado por el analista del sector TI, The METISfiles, observamos que, de los ciento sesenta y cuatro proveedores de servicios *cloud*, el segmento SaaS (*Software as a Service*) es el más popular, con un 70 % de la oferta. El 29% representa a proveedores IaaS (*Infrastructure as a Service*), mientras que el 1% restante ofrece servicios PaaS (*Platform as a Service*).

Pero el dato más interesante es que, dentro del segmento SaaS, el sector finanzas/ERP es el líder con el 15% de los proveedores. Este hecho da a las empresas la constancia de que las tecnologías de gestión PLM – ERP están en un continuo crecimiento y que todas las

ventajas y beneficios que aportan a la gestión han conseguido hacerles un hueco en un mercado más que emergente.

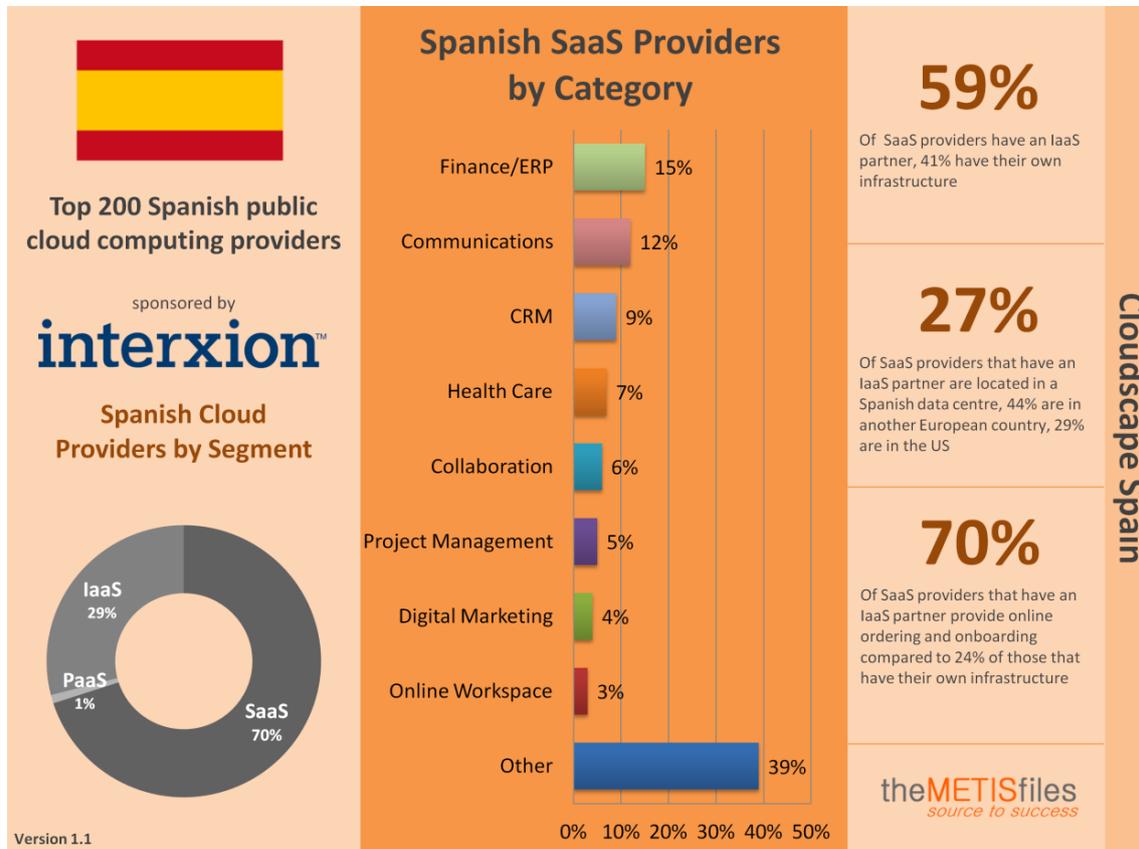


Figura 15. Infografía que refleja los resultados del estudio realizado por TheMETISfiles (Fuente: *interxion.com*)

2.5.2. Análisis de la integración entre PLM y ERP

Contenido de la integración entre ambos sistemas

Los sistemas de PLM toman datos de fabricación de productos, siendo éste el núcleo para resolver todo el ciclo de vida de diferentes tipos de datos, administración de procesos y distintos departamentos. Además, integran funciones horizontales como coordinar la cadena de abastecimiento a partir de la demanda de usuarios, la información de órdenes de producción, los procesos de diseño, desarrollo, manufactura y mantenimiento de productos. Cambian el significado de la información tradicional y brindan una integración de las plataformas de producto para producir más innovaciones.

El ERP hace más eficiente a la empresa integrando varios sectores, incluyendo finanzas, contabilidad, producción, manejo de materiales, gerenciamiento de calidad, ventas, distribución, recursos humanos, cadena de suministros.

La integración entre la lista de materiales, también llamada BOM (*Bill Of Materials*), y el ERP tiene su origen en el sistema de PLM, y la administración de información del PLM tiene como fuente los sistemas CAx, incluyendo atributos de las partes, relación entre estructuras de productos, información para los procesos de manufactura, identificación del producto, horas de trabajo, consumo de materiales.

Tanto el software ERP como el sistema PLM pueden estar integrados en una nube pública o una nube privada de acuerdo a los diferentes métodos de entrega y pueden dividirse en modelos IaaS, PaaS y SaaS de acuerdo al modelo de servicio. La siguiente figura ilustra la integración.

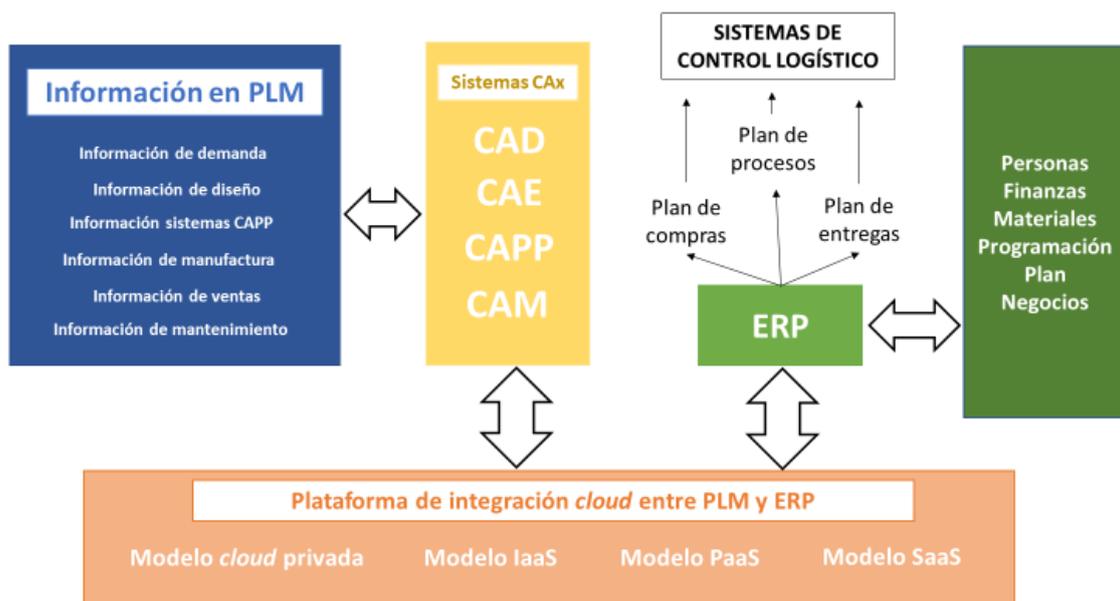


Figura 16. Modelo de integración *cloud* entre PLM y ERP (Fuente: elaboración propia)

La transferencia bidireccional en la integración PLM – ERP

Un servicio *cloud* puede llegar a realizar tareas funcionales de la empresa como una entidad independiente a través de las conexiones y la correcta integración de los sistemas de gestión existentes.

Los servicios de *cloud* son normalmente modelos de componentes: cada aplicación o servicio está conectado con el resto a través de una buena interfaz y un contrato de prestaciones. En este caso, la conexión de sistemas PLM y ERP va a producir una transferencia de información constante y bidireccional entre ambos servicios.

En un primer nivel de transmisión, se va a dar la transferencia de datos del sistema PLM al ERP:

1. Una vez se completa el proceso de diseño en un servicio CAD, se comienza a elaborar el árbol de diseño del producto, y se distribuye el código de materiales.
2. El proceso es completado en CAPP¹⁰.
3. El ERP importa el archivo de datos y elabora la BOM (lista de materiales).

Se necesita, asimismo, un segundo nivel de transferencia para cerrar el ciclo de retroalimentación de información:

1. El ERP suministra la BOM optimizada.
2. El personal técnico retoma el proceso de diseño y lo modifica de acuerdo con la nueva lista de materiales optimizada.
3. Si el personal técnico valora que la nueva lista de materiales no es adecuada, procederá a modificarla y posteriormente actualizarla, tras una evaluación realizada por otros departamentos, que darán o no el visto bueno.
4. Se actualiza el árbol de diseño del producto.
5. El ERP importa el nuevo archivo de datos y rehace la lista de materiales.

La transferencia de datos de un sistema a otro, con los diferentes pasos intermedios de integración, va a fomentar un ambiente de interacción y colaboración entre departamentos y diferentes áreas de la empresa, ya que se necesita una correcta comunicación y organización para establecer todos los cambios y optimizaciones de listas de materiales y procesos de diseño. Además, este sistema minimiza los costes en labores de gestión y la toma de decisiones a ciegas.

Este tipo de transferencia bidireccional de información que va a suponer la integración PLM-ERP va a propiciar el uso de un **ESB** (*Enterprise Service Bus*) como plataforma de integración de estos sistemas.

¹⁰ CAPP son las siglas de *Computer Aided Planning*, haciendo referencia a los sistemas de planificación de procesos asistida por computadora.

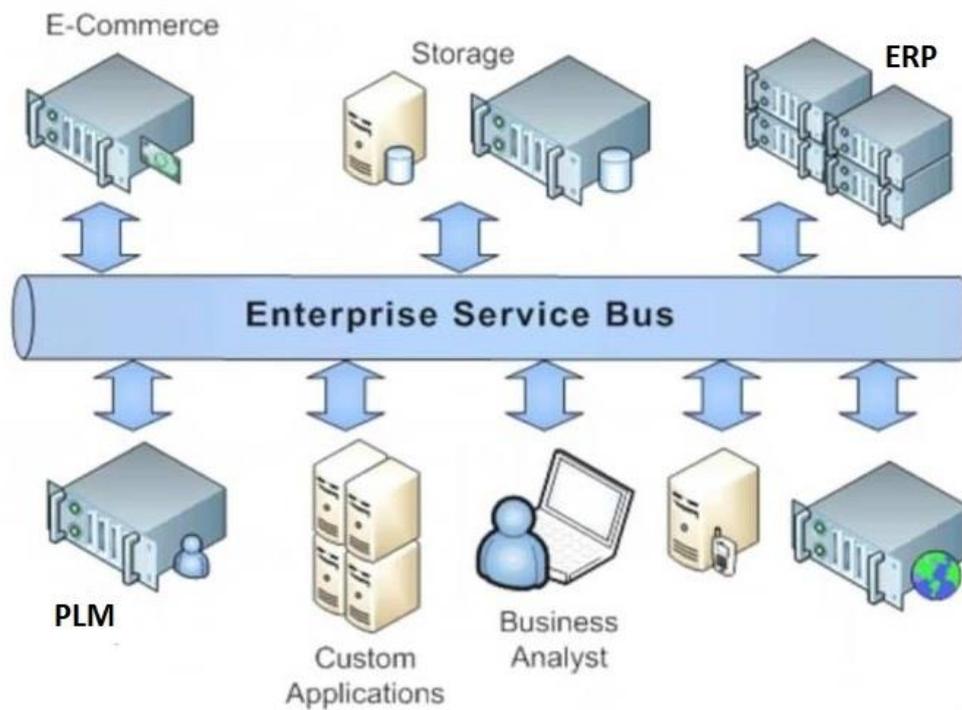


Figura 17. Esquema de la transferencia de información entre diferentes servicios de las empresas en una plataforma ESB (Fuente: *kalyani's notebook*)

En la integración bidireccional del PLM y el ERP basada en un servicio *cloud*, las aplicaciones empresariales van a interactuar con otras aplicaciones a través de un canal de servicios empresariales (ESB o *Enterprise Service Bus*), en el que convergerán los diferentes elementos que forman parte de la integración de estos sistemas de gestión.

Los ESB están diseñados para proporcionar un medio uniforme de mover el trabajo, ofreciendo a las aplicaciones la capacidad de conectarse al bus y suscribirse a mensajes basados en reglas simples de política estructural y negocio.

Enterprise Service Bus es una herramienta que tiene uso tanto en informática distribuida como en integración de componentes. La mejor manera de pensar en esta herramienta es visualizarla como un conjunto de conmutadores que pueden dirigir un mensaje a lo largo de una ruta específica entre los componentes de la aplicación en función del contenido del mensaje y la implementación o las políticas comerciales, de modo que a través de este canal de servicios empresariales los cambios en definiciones de interfaz u otros son transparentes para los usuarios.

Entre los beneficios a mencionar se destacan:

- Una arquitectura ESB controla la forma en que se mueve el trabajo, facilita el cambio de componentes o el agregado de componentes adicionales a una aplicación.
- Un ESB lo ve todo, también lo convierte en un lugar conveniente para hacer cumplir los requisitos de seguridad y cumplimiento, registrar condiciones normales o de excepción e incluso manejar la supervisión del rendimiento de las transacciones.
- Un ESB también proporciona equilibrio de carga en el que se pueden crear copias de múltiples copias de un componente para mejorar el rendimiento.
- También puede proporcionar soporte si un componente o sus recursos fallan.

La fusión de los sistemas PLM-ERP va a convertirse en uno de los temas de interés relacionados con la integración de procesos e información. Esta integración de servicios se trata no únicamente de un software que gestiona procesos, sino de un juego de ideas gerenciales innovadores de diferentes niveles. Existen varias tecnologías emergentes y maduras, como la arquitectura SOA (*Service Oriented Architecture*) o Arquitectura orientada a servicios y el impulso del *cloud computing*, que van a fomentar y posibilitar en una mayor medida la integración PLM-ERP.

2.6. Selección de un sistema PLM

En la actualidad, la eficiencia de los procesos es la clave de la rentabilidad empresarial. La evolución del desarrollo de productos y el continuo crecimiento de las tecnologías de gestión, sobre todo, en el ámbito de las empresas manufactureras, ha hecho que la implementación de sistemas PLM, ERP y demás módulos de gestión sea una obligación para cualquier organización que quiera mantener cierta competitividad en el mercado.

Pero no sólo bastará con seleccionar el PLM más recomendable de acuerdo con los objetivos del negocio, sino que, previamente se deberá realizar un proceso de preparación exhaustivo, y posteriormente, se deberá llevar a cabo un proyecto de implementación, de cuyo éxito dependerá el devenir del proyecto PLM, incluso en el largo plazo.

Para realizar un correcto ejercicio de selección de sistema PLM, se deberán atender los pasos enumerados a continuación:

PASO 1: INTROSPECCIÓN

Es muy importante tener en cuenta que PLM es algo más que un software. Una solución PLM correctamente seleccionada va a ser, sin ninguna duda, una poderosa herramienta que va a permitir a la organización experimentar grandes aumentos de la eficiencia de los procesos de desarrollo del producto; pero este software de gestión será únicamente efectivo si los procesos y los usuarios involucrados facilitan su implementación.

Desde la planificación de procesos existentes y definición de nuevos modelos de procesos, hasta la educación de equipos de trabajo, existe una gran cantidad de aspectos a considerar una vez se ha decidido que una solución PLM puede ser la mejor opción para gestionar efectivamente el negocio. Por ello, antes de elaborar una lista con los principales candidatos, resulta de gran ayuda examinar y estudiar casos de implementación similares en empresas de tamaños parecidos, aprovechando la experiencia de estas empresas para determinar realmente si un sistema PLM es la mejor elección para la empresa.

Posteriormente, se deberán plantear aquellos aspectos que se esperan agilizar, cambiar o, directamente, eliminar del proceso de desarrollo y cómo el PLM alcanzaría estos objetivos. Antes de nada, se tendrá que haber asignado y fijado un presupuesto general, que se deberá tener en cuenta antes de tomar cualquier decisión. Hasta los negocios mejor preparados y las empresas más experimentadas pueden experimentar imprevisibilidades asociadas al coste de implementación de un sistema PLM, debido al largo alcance del proyecto.

De todas maneras, este tipo de introspección empresarial no va a darse por completa sin considerar los deseos de los usuarios definitivos del PLM. Todos los usuarios potenciales deberán ser conscientes de los beneficios y riesgos que implican la compra de un software PLM, y los usuarios más indicados dentro de cada equipo de trabajo deberán ser incluidos en el proceso de toma de decisiones y puestos en conocimiento de todo progreso del proyecto de implementación.

Dedicar un tiempo a escuchar las necesidades y sugerencias de estos usuarios finales es un ejercicio bastante útil, ya que, a la hora de elegir cuál de las opciones es la que más se ajusta a la organización, es fundamental tener en cuenta las opiniones y exigencias de los

usuarios que trabajarán de manera cotidiana con el PLM, con la misma o incluso mayor influencia en la decisión que la alta dirección de la empresa. Por otro lado, un proceso de consultoría interno puede ayudar a predecir el alcance del proyecto de implementación del PLM, y contribuirá a definir y planificar las fases y plazos de otros proyectos y responsabilidades de trabajo cotidianas en consecuencia.

PASO 2: PREPARACIÓN

Una vez realizado el ejercicio de introspección previo, es hora de elaborar un análisis detallado de los procesos existentes en la empresa, y dar prioridad a aquellos procesos “críticos” y a los que puedan alcanzar unos mejores resultados en el marco temporal de la implementación. Usando esta información, se dispondrán objetivos realistas para mejorar determinados aspectos de los procesos (desde el diseño hasta el lanzamiento), siempre aportando la información necesaria para comprobar el aumento de la eficiencia logrado tras la implementación. Este análisis del proceso existente versus el futuro previsto del mismo tras la implementación de PLM se va a realizar en las principales áreas del ciclo de vida del producto:

Marketing y ventas

- Tras la implementación, la empresa podría realizar proyectos y planes de producción contando con información actualizada sobre las tendencias de mercado y el historial de ventas.
- Se incrementaría el desarrollo de nuevos productos contando con unas metas específicas y definidas previamente; se aumenta la capacidad de previsión y se obtiene una mejor planificación de las etapas del ciclo de vida.

Diseño y desarrollo

- Un PLM va a permitir a los ingenieros de estos departamentos a mejorar notablemente el proceso de diseño, ya que les va a aportar toda la información necesaria sobre tendencias emergentes, y les permitirá compartir dicha información con la totalidad del equipo de desarrollo.

- Una solución PLM adecuada permitirá compartir cualquier tipo de conocimiento, como detalles, especificaciones o necesidades de gestión con cualquier usuario de la organización.
- El gran número de herramientas a disposición de los usuarios (CAD, CAM, CAE...) va a ofrecer a los departamentos de diseño y desarrollo una gran cantidad de funcionalidades que permitirán aumentar la calidad de los productos finales, aumentar la eficiencia de los procesos y favorecer la innovación en estas etapas del ciclo de vida.

Materias primas

- Se permitirá gestionar toda la información relativa a materias primas y/o componentes dentro del propio sistema PLM, asegurando que sea la única fuente de información de este tipo.
- Ofrecerá la opción de compartir esta información, de la misma manera, con los proveedores, con el objetivo de agilizar el proceso de desarrollo de materias primas.
- Una herramienta PLM adecuada va a ayudar a gestionar todo tipo de estudios de laboratorio y demás pruebas realizadas con las materias primas, almacenando esta información junto con la relativa a los respectivos costes en el mismo lugar único: la base de datos del PLM.

Preparación de la producción

- El PLM permitirá elaborar y gestionar de una manera correctamente justificada las listas de materiales (BOM), aspecto importante de cara al proceso de producción.
- La posibilidad que brinda el sistema de realizar un seguimiento y búsqueda precisa de la información va a favorecer una mejora en la precisión de previsión de costes.
- Todos los ensayos realizados sobre el producto podrán ser controlados y gestionados, y su información almacenada en el mismo sistema.
- El embalaje y etiquetado podrá ser gestionado igualmente en la misma plataforma.

Producción

- Una gran parte de la información previa a la producción y gestionada, por el momento, en diferentes localizaciones puede ser consolidada y perfectamente comunicada a los compañeros de producción. Toda información aportada a este equipo de trabajo, desde BOM finales hasta listas de especificaciones, resultará de gran ayuda en el proceso de producción.

Una vez se tiene una idea clara sobre cuáles serán los miembros de equipos internos cruciales en el proceso de implementación, se conocen los procesos y su importancia y se han identificado las principales etapas del proceso de madurez, se podrá comenzar a integrar esta información en la estrategia de implementación del PLM. Toda esta información va a permitir a la empresa crear una documentación de solicitud de información (*Request for Information, RFI*), elemento muy valioso a la hora de establecer comunicación con los potenciales proveedores. El objetivo de esta documentación es comunicar a los proveedores de software PLM las principales prioridades y etapas determinadas durante la introspección y las fases de preparación anteriores, sin descuidar los objetivos estratégicos y tácticos de la empresa. Con esta información detallada sobre la mesa, la empresa podrá situarse en una posición fuerte a la hora de elegir entre las numerosas opciones de un mercado en continuo crecimiento.

PASO 3: BÚSQUEDA DE PROVEEDOR PLM

Existen más de cien proveedores de software PLM, atendiendo especialmente a aquellas soluciones destinadas a la industria manufacturera. Incluso con la información contenida en el RFI elaborado por la empresa, la evaluación y posterior elección de la solución adecuada es un ejercicio que puede requerir un tiempo y unos recursos considerables.

La preocupación inicial en esta etapa va a ser el impacto provocado por el proceso de selección de candidatos en las capacidades internas de la organización. Además de asignar un equipo de implementación, la empresa debe considerar si dispone del personal adecuado para elaborar la lista de candidatos, atendiendo a las especificaciones de la compañía, en un mercado novedoso y, cuanto menos, confuso. Este proceso se convertirá fácilmente en una ocupación a tiempo completo, por lo que la empresa deberá invertir un tiempo considerable para finalmente realizar una buena elección.

Otra alternativa, no menos válida, es trabajar con un consultor externo, aliviando de esta manera la carga de recursos internos. En este caso, es de vital importancia asegurar que la consultoría elegida es independiente y que entiende las fortalezas y limitaciones de cada una de las soluciones PLM disponibles.

Sea cual sea la composición de los equipos interno y externo, cuando se da comienzo real a la búsqueda de la solución PLM adecuada, el equipo de gestión de la implementación deberá incluir personal clave de cada uno de los departamentos involucrados en el sistema. Este grupo de personal deberá contar con conocimientos en gestión de proyectos, un buen entendimiento de las operaciones corporativas y habilidades en la toma de decisiones estratégicas; estas personas serán las encargadas de trasladar aquellas preocupaciones y necesidades de los usuarios finales que representan. Si las decisiones relativas al sistema de gestión fuesen tomadas sin conocimiento o aprobación de este equipo, las probabilidades de éxito de la implementación se verían reducidas notablemente. Incorporando los requisitos de este personal multidisciplinar y los usuarios representados por ellos, se fomentará una atmósfera de inclusión que favorecerá la aceptación del sistema, durante y tras la implementación.

Por encima incluso de los requisitos de estos usuarios finales, está la necesidad de cambio de la empresa. La experiencia en el sector de la industria manufacturera demuestra que la correcta implementación de un software empresarial debe ser emprendida contando con un compromiso total de la gestión a nivel corporativo. Sin esta dedicación, los cambios experimentados por la compañía serán imperceptibles, y no se notará impacto alguno en el rendimiento de los procesos, al no contar con el principal elemento requerido para que un proyecto PLM tenga éxito: la voluntad de cambio y el compromiso por lograrlo.

Una vez definido el proceso de selección de candidatos y el personal clave requerido para dirigir dicho proceso, se podrá empezar a examinar el mercado de proveedores de software PLM.

Cualquier empresa de ingeniería de mediano tamaño deberá buscar una solución PLM que encaje con las necesidades de gestión de la organización, y que se pueda alinear con los procesos y con los objetivos finales de negocio. Dentro de las manufactureras, existen infinidad de empresas diferentes (de maquinarias y equipos electrónicos, textil, alimentarias, del papel, del plástico...), y cada una de ellas necesitará unas herramientas específicas, que no siempre tendrán que ser las mismas, para aumentar la eficiencia de su

producción. Por ejemplo, una empresa de ingeniería deberá invertir más en programas de CAD/CAE que una empresa alimenticia, ya que estas herramientas tendrán una mayor relevancia en la mejora de procesos gracias al PLM de la que tendría en el otro caso.

Otros factores a tener en cuenta son:

- El tamaño de la empresa: ¿se disponen de los recursos internos para cubrir las necesidades antes, durante y tras la implementación?
- La estabilidad de la compañía: ¿tiene la empresa la experiencia necesaria? ¿Son económicamente estables?
- Experiencia en la industria: ¿cuántos años de experiencia en el mercado poseen?
- Referencias de clientes anteriores: se debe solicitar al proveedor de PLM potencial el contacto de clientes que hayan contratado sus servicios, con el objetivo de realizar una elección más sustentada.
- Integración con el módulo ERP: ¿se podrá integrar perfectamente el PLM con el sistema ERP de la empresa, incluyendo en la plataforma PLM todas las características ERP necesarias?

Además de los factores citados anteriormente, existen ciertas características que se deberán procurar, las cuales van a hacer que un sistema PLM gane en calidad y prestaciones, aportando un rendimiento mayor que el resto de las soluciones de la lista de candidatos. Estas características pueden resumirse en:

- I. Adaptabilidad: es la capacidad que permite a los sistemas ampliar su funcionalidad inicial con el objetivo de ampliar el servicio a más usuarios y procesos, garantizando que se va a mantener el rendimiento al aumentar el alcance. Para que esto sea posible, es importante que la capacidad del sistema no presente limitaciones ni restricciones en el número de usuarios, almacenamiento u otros recursos; para ello, los fabricantes deberán crear un sistema con una buena arquitectura desde el principio, ya que añadir este aspecto de adaptabilidad a posteriori será más complicado.
- II. Extensibilidad: es la facilidad de adaptar el software PLM a los cambios de especificación durante el proceso de desarrollo. Esta característica contribuye a reducir el riesgo del proyecto de implementación: por un lado, la inversión inicial será menor, gracias a la capacidad del sistema para ampliarse posteriormente; por el otro lado, las inversiones posteriores se realizarán

contando con un riesgo menor, gracias a la experiencia conseguida con las implementaciones anteriores. Para que un sistema sea extensible, éste debe cumplir una serie de criterios: que soporte la integración de aplicaciones de software, tanto propias como externas, lo que también reforzará la postura del proveedor al denotar un manejo y conocimiento de dichas aplicaciones; que exista una adaptación personalizada hacia el cliente; que el sistema sea modular, favoreciendo la integración de servicios en una misma plataforma; por último, que el diseño sea sencillo e intuitivo, de manera que las herramientas y aplicaciones sean fáciles de manejar, tanto para el usuario como para el cliente.

- III. **Robustez:** es la habilidad del sistema para mantener sus funcionalidades, y en definitiva, un correcto funcionamiento, al ejecutar procesos de manera simultánea, sin generar fallos o incluso bloquear el sistema (el software no responde o simplemente, se congela). Para aumentar la claridad del concepto en el ámbito de este Trabajo, podemos utilizar como ejemplo un sistema PLM: las herramientas de CAx del sistema son el mejor ejemplo de sistemas robustos, ya que deberán posibilitar la creación de planos y modelos 3D, trabajando con imágenes muy pesadas sin problemas; si dicho programa se bloqueara o viese reducido su rendimiento al cargar el primer elemento del modelo, se trataría de un sistema poco robusto.
- IV. **Transparencia:** habilidad de un protocolo¹¹ de transmitir datos a través de la red de manera que sea transparente para aquellos que están usando el mismo protocolo. Es un factor positivo a tener en cuenta a la hora de seleccionar un sistema PLM, y existen ciertos aspectos incluidos en algunos de ellos que pueden resultar buenos indicadores de transparencia:
- En una plataforma PLM, cuya base de datos es única y centralizada, el único recurso que debe ser protegido del usuario son los datos, o lo que será lo mismo, el sistema de almacenamiento. La transparencia del sistema radicará en la eficacia en la interoperabilidad y el intercambio de datos entre los distintos sistemas integrados.

¹¹ Conjunto de reglas de comunicación que rigen el intercambio de información entre dos sistemas.

- La transparencia del sistema se demostrará más fácilmente con la publicación de APIs (*Application Programming Interface*). Los API son un conjunto de comandos, funciones y protocolos informáticos que permiten a los desarrolladores crear herramientas de software y aplicaciones. Estas van a simplificar en gran medida el trabajo del programador, ya que permiten usar funciones predefinidas para interactuar con el sistema o con otro programa. En otras palabras, una API es una especificación formal sobre cómo un módulo de un software se comunica o interactúa con otro.
- Socios que tengan amplios conocimientos y habilidad en el desarrollo de software libre¹².

En este momento, se puede estar seguro de que todas las soluciones incluidas en la lista de prioridades responden a los requisitos funcionales de la empresa, y están desarrolladas por proveedores con experiencia previa en el mercado en cuestión. También, en esta etapa de la selección de PLM se comenzará a tener una idea más o menos clara de cómo el sistema va a ser capaz de optimizar los procesos y modos de trabajo. El paso previo a la selección final va a ser examinar y cuantificar el coste del proyecto, incluyendo la sustancial inversión inicial.

PASO 4: CUANTIFICAR EL RETORNO DE LA INVERSIÓN (ROI)

El tiempo necesario para percibir un retorno de la inversión inicial requerida para obtener, implementar y mantener un sistema PLM va a ser muy variable (al igual que con el resto de los sistemas de gestión empresarial). Utilizando nuevamente el equipo multidisciplinar empleado en la consecución del paso tres, y elaborando un estudio económico detallado del ROI, se podrán establecer una serie de objetivos, de manera que se priorizarán aquellos procesos que supongan un ahorro en los costes mayor.

A la luz del desafiante clima económico actual, la organización deberá establecer prioridades de una manera más agresiva y planificar proyectos más cortos en el tiempo; sólo de esta manera se podrá percibir un total o parcial ROI en meses, en lugar de en años.

¹² Software libre es todo programa informático cuyo código fuente puede ser modificado y utilizado libremente con cualquier fin y redistribuido con o sin cambios o mejoras en cualquier tipo de plataforma.

Desde el punto de vista práctico, la manera más adecuada de obtener los resultados previstos será realizar una implementación por fases, definiendo claramente el alcance de cada etapa.

En términos generales, tras aproximadamente un año de la implementación, la empresa deberá haber experimentado mejoras en los siguientes ámbitos: procesos de comunicación, estandarización de procesos, capacidad de cumplir plazos y etapas planificadas, retención de clientes, grado de transparencia en las negociaciones con socios globales, y sobre todo, una mejora notable en la calidad de los productos. Todo esto contribuirá a reducir costes y, como consecuencia, a aumentar la rentabilidad de la empresa; y como consecuencia, se podrá comprobar que el aumento en la eficiencia de los procesos y modos de trabajo va a permitir a la organización manejar una mayor carga de trabajo sin necesidad de aumentar el personal.

A más largo plazo, una solución PLM correctamente planificada e implementada va a permitir a la empresa lograr los siguientes objetivos fundamentales:

- Aumento de la transparencia de la información y en la comunicación de toda la empresa
- Gran precisión en la previsión de costes
- Reducción del *time-to-market*
- Mejora en la calidad de procesos y productos
- Reducción de costes de prototipado, como resultado de una mejor colaboración de los departamentos involucrados en el diseño y desarrollo
- Base de datos única, accesible por todo usuario de la empresa; contiene cualquier tipo de información o archivo generado a lo largo del ciclo de vida del producto
- Consecución de considerables ahorros gracias a la reutilización de información
- Mejora en la eficiencia de numerosos procesos de negocio
- Reducción del gasto material, como resultado de la reducción de pruebas y testeos y un aumento de la reutilización de información y recursos
- Capacidad de ofrecer a sus proveedores el acceso a dicho repositorio de información sobre productos y procesos, favoreciendo un entorno global colaborativo de confianza

Siguiendo los pasos desarrollados anteriormente, y realizando una correcta y completa fase de preparación, cualquier empresa podrá realizar un buen ejercicio de selección de PLM y beneficiarse de la solución más adecuada a sus necesidades.

2.7. ¿Cómo implementar un sistema PLM?

La elección de la metodología de implementación de un sistema PLM es una decisión de vital importancia, de la que dependerá el éxito y eficacia en la gestión PLM, y quizá siendo más importante que la propia selección del sistema. Toda empresa que desee implantar un software de PLM deberá ser consciente de los riesgos y desafíos que supone la propia implementación; por lo tanto, se debe mantener un enfoque que incluya una buena previsibilidad, en términos de costes, recursos y plazos, además de una metodología de gestión de proyectos disciplinada y seria.

Además de un fuerte compromiso de la dirección y los empleados, y una buena preparación del terreno, la implementación de un software PLM requerirá también el cumplimiento de una serie de aspectos técnicos:

- La implementación deberá incluir y definir una estrategia clara de comunicación con los futuros usuarios de la empresa
- Se debe considerar el almacenamiento, acorde a las necesidades, y definir un flujo de trabajo e información para alinear las etapas de diseño e ingeniería con el sistema PLM
- Se debe dimensionar la infraestructura de tecnología necesaria, es decir, el conjunto de hardware y software sobre el que se asentará la gestión PLM
- Se deberá establecer un alcance del proyecto de implementación por etapas, para lo cual será fundamental la experiencia en gestión de proyectos
- Se deberá definir la interacción con el resto de sistemas de gestión (ERP, SCM, CRM...), e integrar sus funciones en la plataforma PLM, además de establecer una comunicación y transferencia de datos actualizada, basada en las T.I.

En resumen, para que el proceso de implementación sea efectivo, se va a necesitar:

- ❖ Buscar un sistema PLM acorde con los procesos de la empresa, y alineado con la visión estratégica de la organización
- ❖ El apoyo y compromiso de la dirección de la empresa (CEO) y de la dirección de Sistemas de Información (T.I.)
- ❖ Un equipo de implementación dedicado y formado en gestión de proyectos
- ❖ Un estudio económico previo, que demuestre la inversión requerida para la implementación, y un estudio de rentabilidad del proyecto
- ❖ Definir un cronograma con las fases de implantación, y los objetivos alcanzables a corto plazo

Cuando se busca implementar un sistema PLM, normalmente, es a raíz de las necesidades surgidas en el área de ingeniería (diseño y desarrollo del producto); el área de sistemas de información de la empresa (T.I.) va a estar presente en cada una de esas etapas del ciclo de vida del producto. A pesar de que un ingeniero del área de las T.I. contará con unos conocimientos mayores en el campo de la informática y la implementación de softwares, son los ingenieros involucrados en los procesos de ingeniería, diseño, manufactura... los más indicados para liderar los proyectos de implementación de PLM, ya que aportarán una visión más clara y crítica de la gestión de cada etapa, y la identificación más fundamentada de necesidades y riesgos, además de estar más familiarizados con la información gestionada por el sistema.

Como se ha citado anteriormente, la elección del modo de implementación es una decisión de vital importancia; para realizar una buena elección, se requiere una buena gestión y toma de decisiones en los siguientes ámbitos:

Preparación

La implementación de un sistema PLM, tal y como se ha explicado anteriormente, requiere una buena planificación y aplicar la metodología de gestión de proyectos. Un aspecto importante de esta metodología va a ser la gestión de riesgos, basada en identificar los riesgos cuanto antes, en las primeras fases del ciclo de vida del proyecto. Los gestores de proyectos no sólo contribuirán a detectar dichos riesgos, sino que también aportarán enfoques prácticos y fundamentados para mitigar su efecto.

Es necesario determinar los objetivos a alcanzar, describir el estado actual y definir el estado del proceso de desarrollo una vez el sistema esté puesto en marcha. También es importante seleccionar qué momento será el mejor para hacer la implementación (las épocas de baja actividad son las ideales, ya que se dispondrá de recursos humanos suficientes para desarrollar el proyecto).

El equipo de proyecto

La empresa preparará un equipo multidisciplinar, formado por personal interno y externo, este último del consultor de implementación elegido.

El equipo interno estará formado por miembros de todos los departamentos involucrados en la futura explotación del sistema PLM, es decir, de todos los departamentos que van a formar parte del ciclo de vida completo del producto, desde la etapa de diseño hasta el lanzamiento al mercado, pasando por la fase de producción. Estas personas serán las más adecuadas para liderar el proyecto de implementación, ya que tendrán un buen conocimiento de los procesos y de las necesidades de la empresa.

Por otro lado, una vez se ha evaluado el sistema que implementar y se ha seleccionado el equipo interno, será crucial buscar un consultor externo, a elección de la empresa, que contribuya a aumentar las posibilidades de una implementación exitosa y de un aprovechamiento máximo del sistema en pro de la organización. El consultor tendrá conocimientos contrastados de la tecnología PLM y de los procesos que se van a involucrar, y deberá acreditar experiencia en implantaciones similares.

Implementación por fases

El proyecto de implementación de un sistema PLM puede ser de gran alcance, dependiendo del tamaño de la empresa y las áreas en que se aplique. El alcance va a ser el primer motivo por el cual la implementación por fases es la mejor opción. La habilitación de cualquier sistema o módulo de gestión en una empresa va a involucrar una cantidad considerable de tiempo y de personal; además, si tenemos en cuenta las obligaciones y necesidades de trabajo diarias, un alcance muy amplio requerirá un esfuerzo importante y continuado, con todos los riesgos que suponen estos traslados del personal involucrado en el proyecto de implementación.

Lo más recomendable va a ser una implementación por fases gradual; estas fases se irán definiendo en función de los objetivos a alcanzar, durante el desarrollo del proyecto, y aunque la planificación haya sido realizada pensando a largo plazo, el objetivo va a ser desplegar pequeñas fases bien controladas. Este hecho va a minimizar los riesgos y facilita la aceptación de los usuarios. Los beneficios obtenidos en la consecución de una fase serán el trampolín para impulsar la siguiente.

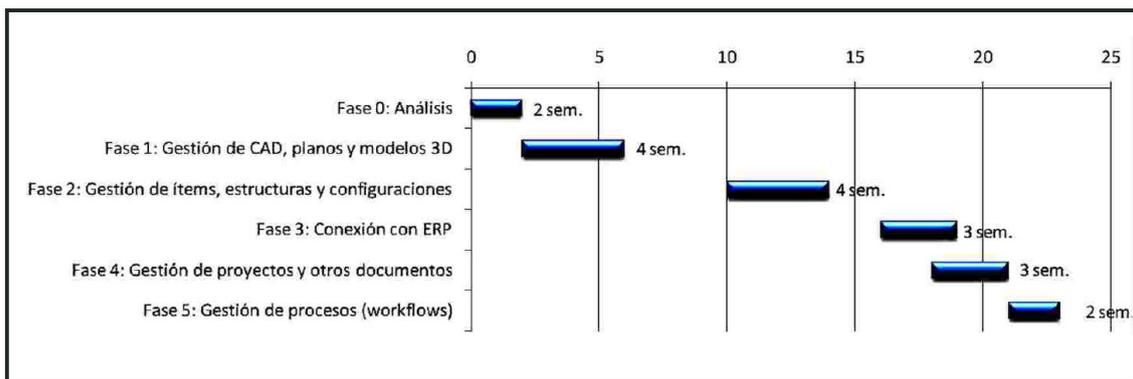


Figura 18. Cronograma típico de implantación PLM en una PYME (Fuente: Arion Data Systems)

Personalización de sistemas PLM

Un sistema PLM va a ofrecer, de una manera estándar, todas las funcionalidades necesarias para la mayoría de PYMES. Por otro lado, los PLM también van a permitir un elevado grado de personalización de las herramientas y funciones, dirigido a aquellas empresas cuyos procesos sean muy particulares o específicos. Estas personalizaciones van a implicar costes superiores en implementación, consultoría y mantenimiento, por lo que es aconsejable realizar sólo aquellas que sean necesarias para conseguir una implementación rentable.

Una PYME que acabe de iniciar su camino en el mercado puede obtener muy buenos resultados utilizando un sistema PLM estándar y adaptando ligeramente sus procesos para que sean alineados con el sistema gestión. Las implementaciones estándar son rápidas y ofrecen un rápido retorno de la inversión. Tras un tiempo trabajando con un sistema estándar, los usuarios habrán aumentado sus conocimientos y habilidades de manejo de la plataforma, obteniendo una visión más crítica de los resultados obtenidos con el uso de este tipo de software de gestión; esto va a permitir a la empresa decidir con una mayor

objetividad si es necesario desarrollar personalizaciones para aumentar la eficiencia del sistema.

La mayoría de proveedores de software PLM ofrecen a las PYMES soluciones preconfiguradas de sus sistemas, llamadas “*Express*”. Estos sistemas incluyen una metodología de implementación básica y un paquete de funcionalidades que contiene buenas prácticas empresariales, facilitando una fácil y rápida puesta en producción. El coste de implementación de un sistema *Express* es fácil de acotar y controlar, lo que los convierte en una opción muy recomendable para una PYME, ya que además, si en futuro la empresa lo requiere, estos paquetes también ofrecen la posibilidad de ser personalizados y expandidos tanto como sea necesario.

2.8. Costos de implementar PLM

En la actualidad, el desarrollo tecnológico de una empresa debe ser, más que una opción, una obligación, una vez demostrados todos los beneficios en cuanto al ahorro en ciclos de trabajo y tiempo, pero también atendiendo al ahorro en recursos, costes de personal y, en definitiva, ahorro de dinero que la empresa podría invertir o destinar a otro tipo de actividades.

Los costos de implementación de un sistema PLM van a ser muy variables, dependiendo del proveedor del servicio, pero sobre todo dependiendo del tamaño de la empresa, las funcionalidades requeridas y el número de usuarios que en principio usarán la plataforma.

Van a existir, por lo tanto, distintos planteamientos y puntos de vista sobre los costos de implementar una solución de este tipo, al igual que van a existir infinidad de variables que van a provocar cambios en las estimaciones de inversión, dependiendo de los criterios empleados por el proveedor del servicio o el consultor que ayude a la empresa en el proceso de implementación.

Dentro de la inversión realizada por la empresa para implementar un sistema PLM, una parte se destinará al software PLM, propiamente dicho, y un porcentaje todavía mayor será destinado a la configuración personalizada del sistema, mantenimiento y servicios de implementación, principalmente, sin olvidar los gastos derivados de la migración de datos e integración de plataformas. Es responsabilidad de los fabricantes cuantificar

correctamente la inversión que deben realizar las empresas decididas en contratar e implementar su solución; además, es obligación del proveedor garantizar la disponibilidad de una serie de servicios:

- Servicios de implementación: como se cita anteriormente, van a suponer un porcentaje a tener muy en cuenta dentro de la inversión realizada para la implementación de PLM. Son los servicios empleados durante la instalación y la configuración del sistema, y suelen estar ofrecidos por el propio fabricante.
- Servicios personalizados: son los servicios más importantes, ya que, sin ellos, el cliente (en este caso, la empresa que contrata el servicio PLM) no logrará una implementación cien por cien efectiva, y los beneficios obtenidos serán menores de los que se podrían obtener si se consigue adaptar el PLM a los procesos específicos de cada empresa en particular. Para aplicar este servicio, se debe dominar el campo de aplicación y mantener un “*feedback*” con el cliente para mantener una comunicación y un control durante la personalización.
- Servicios de apoyo: son necesarios en la actividad diaria del sistema; con el tiempo, la propia empresa que ha implementado el PLM será capaz de aplicar estos servicios.
- Servicios de formación: es un servicio necesario y obligatorio para todo usuario, administrador o personal de apoyo del sistema. Es obligación de la empresa formar y adiestrar a los usuarios potenciales en el uso de las herramientas de software y en el enfoque estratégico que propone la implementación de PLM. Al igual que con los servicios de apoyo, es la propia empresa la que deberá realizar este tipo de servicios.

Para aportar una idea básica y más o menos general de los costos de implementación, y el elemento del PLM al que se destinará cada parte de la inversión realizada, la consultora PLM advisors confeccionó la siguiente tabla, como elemento de ayuda y guía de análisis de costes para las empresas que estén decidiendo si implantar o no un sistema PLM:

ELEMENTO	TIPO DE INVERSIÓN	% DE LA INVERSIÓN	VARIABLES QUE AFECTAN AL COSTO
Sistema PLM	Inversión inicial	28	<ul style="list-style-type: none"> • Número de usuarios • Tipo de usuario: desarrolladores o visualizadores • Funcionalidades necesarias, y módulos asociados • Descuentos por cantidad de licencias
Mantenimiento del sistema y servicios de apoyo	Periódica	18	<ul style="list-style-type: none"> • Número de usuarios • Tipo de usuario: desarrolladores o visualizadores • Funcionalidades y módulos implementados • Cantidad de licencias (descuento) • Actualizaciones del sistema PLM (suelen ser anuales, y suponen un 12% del costo de la licencia del sistema)
Servicios de implementación	Inversión inicial	15	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración requerida • Términos del contrato • Tarifa €/hora implementación • Servicios de una consultora externa para la implementación del PLM
Hardware	Inversión inicial	8	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración requerida • Cantidad de información manejada, y su lugar en el disco • Cantidad de licencias (descuento)
Selección del sistema	Inversión inicial	8	<ul style="list-style-type: none"> • Número de usuarios • Conocimiento inicial de tecnología PLM • Duración del proyecto de implementación • Exhaustividad de evaluación de opciones (estudio del mercado)

			<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de contratar los servicios de una consultora externa para la implementación del PLM
Optimización del proceso	Inversión inicial	8	<ul style="list-style-type: none"> • Número de procesos • Tamaño de la organización • Documentación relativa a la prácticas y procesos existentes • Metodología de trabajo • Formación inicial en tecnología PLM • Necesidad de contratar los servicios de una consultora externa para la implementación del PLM
Capacitación y servicios de formación	Inversión inicial	5	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de la persona o empresa encargada de la capacitación de usuarios • Lugar donde se realiza la capacitación • Material o contenido de la capacitación (cursos de preparación, certificaciones...)
Migración de la información	Inversión inicial	5	<ul style="list-style-type: none"> • Migración manual o automática • Número de usuarios • Tipo de información tratada • Calidad de información • Cantidad de información
Servicio postventa	Periódica	5	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de apoyo • Duración, garantía

Tabla 2. Costos derivados de la implementación y uso de un sistema PLM (Fuente: PLM advisors)

CAPÍTULO 3. SOFTWARE PLM

3.1. Mercado PLM y tendencias tecnológicas

Un estudio de mercado sobre PLM, realizado por *ARC Advisory Group*, señala que varias tendencias importantes están impulsando tanto el mercado mundial PLM global como las aplicaciones de la tecnología PLM.

La economía mundial sigue marcando la disminución o el crecimiento del mercado PLM. Varias regiones, sobre todo América del Norte y partes de Asia-Pacífico, están percibiendo una actividad comercial significativa, mientras que Europa está mostrando un crecimiento más lento que otras regiones del mundo; sin embargo, el mercado PLM parece estar contradiciendo esta tendencia con un crecimiento muy bueno en el viejo continente, especialmente para los proveedores líderes de software PLM. Según el citado estudio, el crecimiento global en el mercado de sistemas PLM ha experimentado un gran crecimiento desde 2013 hasta la actualidad.

Un elemento importante de los sistemas PLM, que puede llegar a justificar su crecimiento en el mercado, es la aplicación de un enfoque basado en sistemas de ingeniería para el diseño de productos, en el que participan múltiples disciplinas de ingeniería (mecánica, eléctrica, software). ARC se refiere a este concepto como la “empresa basada en el modelo”.

El desarrollo de productos en todos los sectores de la industria se está actualizando para cumplir con los requisitos de disponer de productos inteligentes y conectados, y su ciclo de vida totalmente controlado, con el objetivo de asentar el “Internet de las Cosas” o “IOT”¹³, tanto si el producto es un automóvil, un electrodoméstico, productos de consumo o un dispositivo móvil. Estamos viendo un cambio fundamental en el diseño de productos de forma que todos los productos han de ser diseñados para ser inteligentes, conectados y preparados para funcionar dentro de un ecosistema específico.

Por otro lado, de acuerdo con un estudio del mercado PLM en la industria elaborado por **CIMData** en 2015, el mercado global de PLM experimentó un gran crecimiento en múltiples áreas. Este crecimiento fue principalmente impulsado por los mercados de Estados Unidos y Europa. El analista y VP de investigación de CIMData, Stan

¹³ IOT (*Internet Of the Things*) es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos y servicios con Internet.

Przybylinski, destaca que el gran crecimiento de las plataformas PLM es en parte debido a las tendencias en TI que dan forma a los modelos de negocio en la actualidad, por ejemplo:

- El **cloud computing**, como ya se ha destacado anteriormente, está cambiando la forma de gestionar los recursos empresariales de TI.
- Los **dispositivos móviles**, que poco a poco van a ir siendo capaces de albergar este tipo de plataformas y aplicaciones, además de ser bastante responsables de los cambios experimentados en la transferencia de información.
- Las **tecnologías emergentes**, como la impresión 3D o el “internet de las cosas”, que van a crear nuevas y grandes oportunidades de innovación en muchos segmentos industriales.

Estas tecnologías van a tener su impacto, no sólo en los sistemas de gestión PLM, ERP o de otro tipo, sino también en la industria y en el planteamiento de empresa, lo que significa que, poco a poco, todas las organizaciones van a buscar implementar este tipo de **plataformas de negocios (end-to-end)**¹⁴ en su gestión, lo que va a facilitar la innovación en sus procesos y en el ciclo de vida de los productos. Las empresas que más se acerquen a esta visión de negocios serán más competitivas en un mercado en continuo crecimiento.

3.2. Principales proveedores de software PLM

Debido al gran crecimiento de este tipo de plataformas de gestión y a la tendencia de las empresas de implementarlas en su seno, en la actualidad existen numerosos proveedores de servicios PLM.

El servicio PLM óptimo variará según las necesidades y requisitos de cada empresa y cada área de la misma. Esto provoca que exista una gran oferta y variedad de sistemas, cuyas características van a diferir, que van a convivir en el mercado, ofreciendo un gran abanico de opciones a las empresas que busquen implementar un software de este tipo.

¹⁴ Una visión **end-to-end** hace referencia a una visión integral de cada uno de los departamentos y de cada uno de los procesos existentes en la empresa, en los que se ha de fijar un resultado y unos objetivos en base a los costes, calidad y tiempos deseados.

En la siguiente tabla se resumen los principales softwares PLM ofrecidos a día de hoy en el mercado, y se va a realizar posteriormente un análisis de los principales softwares orientados al segmento de empresas que se van a estudiar en el Trabajo: las PYMES.

Producto	Fabricante	Tamaño de empresa		Sector de actividad			
		PYME y departamentos de gran empresa	Gran empresa	Ingeniería y Diseño	Productos discretos e industriales	Bienes de consumo y proceso	Moda, vestir, calzado, distribución
Enovia Smarteam	Dassault Systèmes	sí		sí	sí		
Enovia V6	Dassault Systèmes		sí	sí	sí	sí	sí
Teamcenter	Siemens PLM	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Windchill	PTC	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Infor PLM	Infor		sí	limitado	sí	sí	sí
SAP PLM	SAP		sí	limitado	sí	sí	sí
Oracle-Agile	Oracle		sí	limitado	sí	sí	sí

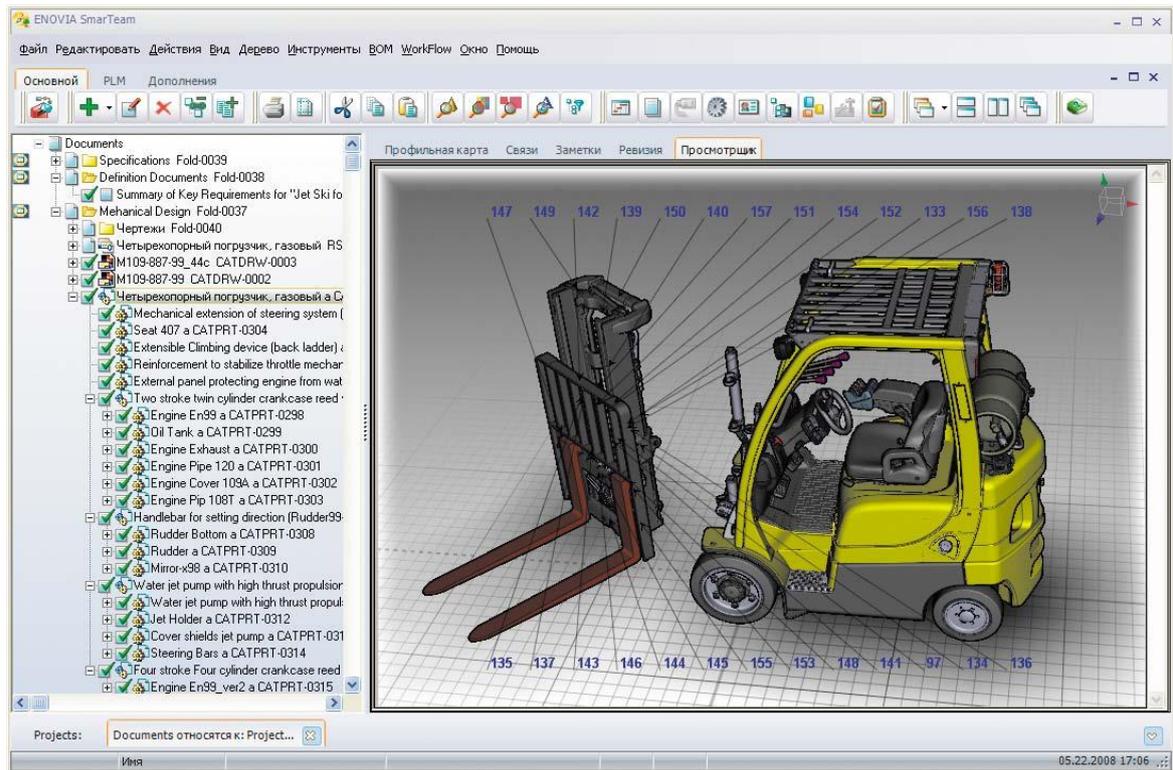
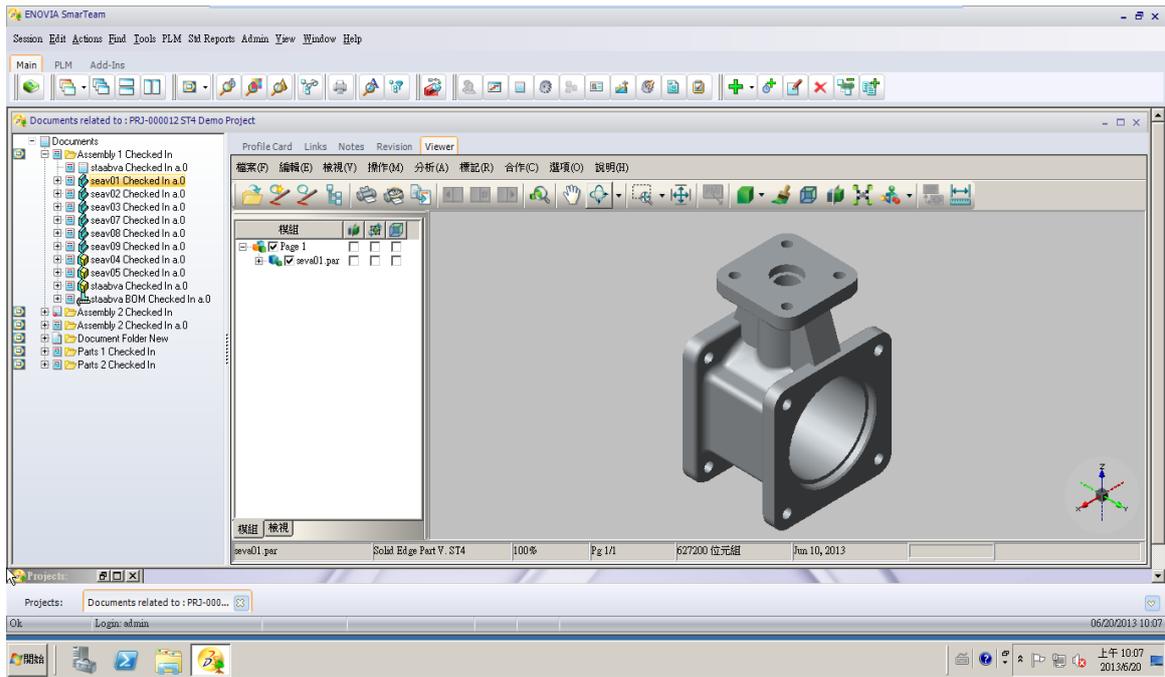
Tabla 3. Comparativa de los principales sistemas y proveedores PLM en el mercado actual

Enovia Smarteam, de Dassault Systèmes

Dassault Systèmes es una multinacional europea que desarrolla software de diseño en 3D, maqueta digital en 3D y software de gestión del ciclo de vida del producto.

A finales del siglo XX, las herramientas de CAD/CAM se convirtieron en una restricción para el crecimiento de la compañía. Por tanto, a comienzos de siglo fueron poco a poco reemplazadas por los sistemas de gestión de ciclo de vida de producto: PLM. Tras años de experimentación en el sector del PLM y creación de nuevos productos de software, como ENOVIA (gestiona las colaboraciones internas y externas), DELMIA (apoyo en manufactura) o *SolidWorks* (modelado 3D), en 2007 la empresa comienza a introducirse en el mundo de las aplicaciones *online* y la computación en la nube.

La herramienta de la compañía orientada a la mediana empresa o a departamentos concretos de una gran empresa es *Enovia Smarteam*. Esta aplicación es apropiada para gestionar fases de ingeniería y diseño en los distintos procesos industriales de la empresa.



Figuras 19 y 20. Capturas de pantalla del programa ENOVIA SmarTeam (Fuentes: <https://sapr.ru/article/19227> y http://www.cadip.com.tw/product_description.php?PNo=9)

Teamcenter, de Siemens PLM

Siemens AG es una de las empresas multinacionales de ingeniería más importantes a nivel mundial que la mayor empresa europea de ingeniería, que está presente en sectores como la generación de potencia, automatización industrial y de infraestructuras, tecnología de la salud y transporte ferroviario.

La compañía tiene alrededor de 372 000 empleados en más de 100 países, que trabajan para desarrollar y fabricar productos, diseñar e instalar complejos sistemas y proyectos y crear una amplia gama de soluciones para afrontar los retos más complicados de sus clientes.

Son numerosas las áreas de negocio, divisiones y servicios ofrecidos por Siemens, contando con divisiones en varios sectores como pueden ser el industrial, el energético o el de la salud.

En el ámbito de los softwares de gestión, y más concretamente PLM, Siemens también destaca notablemente, al tener entre sus divisiones a la empresa líder del sector de sistemas PLM: **Siemens PLM Software** (anteriormente conocida como UGS Corp.). Esta división de Siemens está especializada en el desarrollo de herramientas de software PLM.

El principal software de gestión de ciclo de vida de productos comercializado por Siemens PLM Software y orientado a la pequeña y mediana empresa es **Teamcenter**. Se trata de una herramienta que conecta al equipo de trabajo con el área de diseño de productos y procesos, y mejora la comunicación, la gestión documental y la productividad. La implantación de *Teamcenter* va a traducirse en una transformación del negocio y una mejora en la calidad, costes y sostenibilidad del producto.

Teamcenter cuenta con una serie de aplicaciones especializadas, que ofrecen soluciones modulares para la gestión del ciclo de vida del producto, además de aportar una plataforma colaborativa para la gestión documental y de información, facilitar la integración de personas, procesos y sistemas y ayudar a verificar el cumplimiento de las normativas vigentes en cada sector.

En definitiva, *Teamcenter*, que además tiene el privilegio de ser el sistema PLM más utilizado del mundo, ayuda a la empresa a gestionar productos cada vez más complejos y simplificar las operaciones, contribuyendo a mejorar la gestión de datos de diseño, listas

Windchill, de PTC

PTC es una empresa americana desarrolladora de software especializada en las áreas de diseño 2D y 3D, tecnología PLM, y soluciones de gestión de servicios.

El producto de software PLM ofrecido por esta empresa es el llamado *PTC Windchill*, o simplemente *Windchill*. Es una herramienta utilizada por un gran abanico de empresas, desde usuarios particulares, a medianas empresas y grandes corporaciones. El mayor número de usuarios de este software forma parte de los siguientes segmentos del mercado de la manufactura: aeroespacial, automotriz, electrónica, productos industriales, salud y textil.

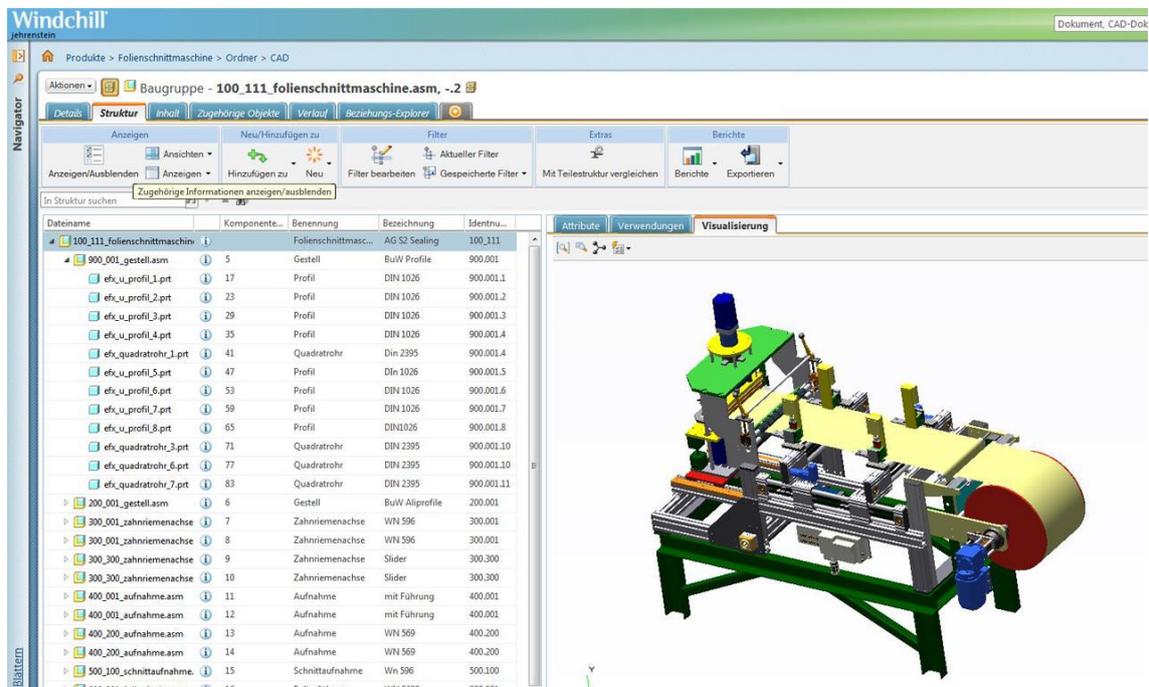


Figura 23. Modelado de una máquina de cortar papel en el software PTC Windchill (Fuente: tristar.com)

CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE IMPLANTACIÓN DE PLM EN UNA PYME DE INGENIERÍA

4.1. Modelo para el estudio de la viabilidad de implantación

Para estudiar la viabilidad técnico-económica de implantación de un sistema PLM en una empresa de ingeniería de mediano tamaño, se va a realizar un análisis basado en un modelo input-output, cuyos elementos de entrada y salida se van a definir en los siguientes párrafos, y cuyos resultados serán concluyentes y muy útiles en la toma de decisiones de cualquier empresa a la hora de valorar si invertir o no en un software de gestión de este tipo.

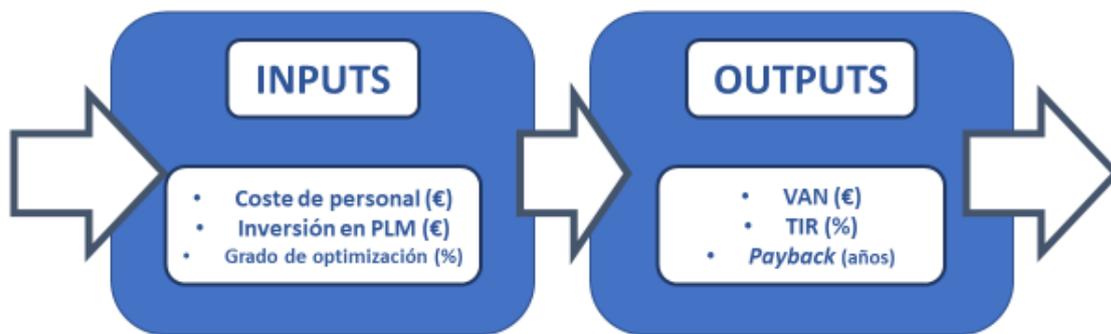


Figura 24. Modelo input-output de estudio de viabilidad de implantación PLM (Fuente: elaboración propia)

Para comenzar con el análisis, debemos explicar uno por uno cada uno de los elementos que va a formar parte del modelo de viabilidad.

ELEMENTOS DE ENTRADA (INPUTS)

- **Coste de personal (€).** El coste de personal va a ser uno de los datos de entrada determinantes, pues va a aportar una idea sobre el tamaño de la empresa y será el coste encargado de justificar si la inversión en PLM es viable o no.

En el modelo de estudio de viabilidad se va a plantear que la implementación de un software PLM, idealmente, va a repercutir únicamente en el coste de personal de la empresa; se plantea que la implementación de un sistema PLM va a provocar la disminución del coste anual en personal, gracias a las mejoras introducidas en organización y gestión de información, que permiten redirigir los recursos que

anteriormente se empleaban en esas tareas a otros procesos o sectores de la empresa.

- **Inversión en software PLM (€) o Coste de inversión PLM.** Es el otro input más destacable junto al “Coste de personal”, ya que supone una inversión inicial cuantiosa, lo que obliga a cualquier empresa a realizar un análisis de rentabilidad para saber si es correcto implementar o no el software.
- **Grado de optimización (%).** El grado de optimización va a permitir a la empresa calcular los costes de personal una vez implementado el PLM.

Consiste principalmente en medir y valorar la capacidad de mejora de la empresa en todas las etapas de su proceso productivo, y asignarle un coeficiente de eficiencia correspondiente a su grado de optimización. Para poder identificar en qué grado se encuentra la empresa se han definido a continuación distintos tipos de empresa, ordenados según la tecnificación de sus procesos y la preparación de su personal:

GRADO OPTIMIZACIÓN		
TIPO	DESCRIPCIÓN	COEF. EFICIENCIA
1	Empresa con procesos tradicionales, gestión documental manual, tecnificación casi nula	25,00%
2	Empresa con procesos de pocas etapas, inventarios mal elaborados, tecnificación escasa	20,00%
3	Empresa con procesos mejorable en todas sus etapas, personal formado en gestión, tecnificación media	15,00%
4	Empresa con procesos automatizados, pero con posibilidad de mejora, personal preparado, buena tecnificación	10,00%
5	Empresa con procesos automatizados y sistemas de control, personal cualificado, alta tecnificación	5,00%

Tabla 4. Tipos de grado de optimización definidos, con su correspondiente coeficiente de eficiencia (Fuente: elaboración propia)

Es interesante definir este grado antes de afrontar el análisis de la implementación de un sistema PLM, ya que da una idea de cuán preparada está la empresa en cuanto a la tecnología que incorporan sus procesos, ya que no será lo mismo trabajar la implementación del software en una empresa con una alta tecnificación, en la que todos sus procesos están tecnológicamente desarrollados y sus trabajadores completamente formados que con otra empresa en la cual sus procesos no están ni automatizados y cuya tecnificación es escasa; en el primer caso, la capacidad de mejora de la empresa será muy baja, por lo que se le asigna el coeficiente más bajo mientras que en el segundo caso, el aumento de la eficiencia será mucho mayor tras la implementación del PLM, y se le asigna el coeficiente más alto porque el ahorro de coste se hará más notable que en los otros casos.

Como se ha citado anteriormente, el grado de optimización (y su coeficiente de eficiencia) va a permitir calcular los costes de personal una vez se ha implementado el PLM, según la siguiente expresión:

$$\text{Costes personal PLM} = \text{Costes personal actuales} * (1 - \text{Coef. eficiencia}) + \text{Otros costes}$$

- Para calcular los costes de personal tras la implementación de PLM, se puede observar que existe un término en la expresión denominado “**Otros costes**”.

En este caso, es importante tener en cuenta este término, ya que, normalmente, en la implementación de un sistema PLM van a generarse unos costes secundarios que se deben tener en cuenta: el coste de mantenimiento o de soporte técnico asociado al proveedor de software PLM, el coste de una consultora externa que colabore en la implementación, los servicios de implementación o de capacitación del personal, etc. Para reunir en un único valor esta serie de costes secundarios se ha definido el **Coste de soporte técnico (€/año)**. Normalmente, este coste supone un 10 % anual de la inversión inicial en PLM, por lo que se va a tener en cuenta y va a resultar de la siguiente expresión:

$$\text{Coste soporte técnico (€/año)} = 0,1 * \text{Coste inversión PLM (€)}$$

COSTE ACTUAL PERSONAL	500.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	3
COEF. EFICIENCIA	0,15
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%
COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	5.000,00 €
COSTE DE INVERSIÓN PLM (€)	50.000,00 €

GRADO OPTIMIZACIÓN		
TIPO	DESCRIPCIÓN	Coef. EFICIENCIA
1	Poca tecnificación...	25,00%
2		20,00%
3		15,00%
4		10,00%
5	Alta tecnificación...	5,00%

Tabla 5. Matriz de elementos de entrada del modelo (ejemplo) (Fuente: elaboración propia)

- Como se puede observar en la imagen anterior, donde se da un ejemplo de datos de entrada en las hojas de cálculo dispuestas para el estudio de viabilidad, existen otros elementos de entrada que aún no se han definido: estos son la **tasa de descuento (%)**, necesaria para calcular el VAN, y el **índice de precios de consumo, o IPC (%)**, que permitirá a la empresa actualizar los costes de personal de los próximos años.
 - **Tasa de descuento (%).** La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro. La tasa de descuento se utiliza para “descontar” el dinero futuro. Es muy utilizado a la hora de evaluar proyectos de inversión. Se puede definir como el tipo de interés que permite traducir el dinero futuro a dinero presente, y en este caso se ha fijado en un valor del **4,5 % anual**, ya que las exigencias del Banco Mundial para proyectos de este tipo aconsejan un valor entre el 4 y 5 %.

Además de tener en cuenta qué es la tasa de descuento hay que conocer cómo se puede calcular ya que existen diferentes métodos basados en el cálculo de los recursos financieros:

- Si se trata de proyectos financiados únicamente con fondos propios, la tasa de descuento irá relacionada directamente con el “coste de oportunidad” ya que la empresa exigirá a la inversión,

al menos, lo mismo que dejaría de obtener al no invertir en otro tipo de inversión.

- Si el proyecto se financia con fondos ajenos, entonces la tasa de descuento coincidirá como mínimo con el tipo de interés de la entidad financiera y sus costes asociados, conocido como “coste de la deuda”.
 - Si el proyecto se financia con fondos propios y ajenos, habrá que hacer la media de los costes anteriores para calcular la tasa de descuento mínima a exigir al proyecto de inversión.
 - También habría que tener en cuenta el riesgo que requiere dicha inversión, pues será otro aspecto clave a la hora de calcular la tasa de descuento.
- **Índice de Precios de Consumo (IPC) (%).** El IPC es un valor numérico que refleja las variaciones que experimentan los precios en un período determinado. Se mide todos los meses y sirve para calcular la inflación, que es el aumento generalizado y sostenido de todos los bienes y servicios de una sociedad.

Se ha fijado el valor del IPC en un **1,8% anual**, puesto que según los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) el valor promedio de los últimos años se encuentra en torno a un valor del 1,6% anual, y tratándose de un proyecto de inversión a largo plazo se supone un incremento de hasta el 1,8% para obtener un resultado más conservador.

TABLA DE EFICIENCIA

Tras haber definido y explicado los distintos elementos de entrada del modelo de estudio de rentabilidad, los mismos inputs son introducidos en la denominada **tabla de eficiencia**, en la cual se realizará un análisis a 20 años de la evolución del coste de personal, antes y después de implementar el PLM en la empresa. Se observará que, a pesar de suponer una inversión de capital mayor al inicio del proyecto, en la mayoría de los casos, tras la implementación de un sistema PLM, los costes de personal son reducidos respecto a la situación actual, en la que no se cuenta con dicho sistema.

Esta tabla va a permitir a la empresa realizar un análisis de rentabilidad rápido y sencillo, siendo únicamente necesario introducir los inputs mencionados anteriormente, constituyendo así una herramienta más con utilidad en la toma de decisiones a la hora de decidir si realizar o no la inversión en el software PLM.

En la tabla se pueden observar distintas columnas: los costes de personal anuales, a lo largo de 20 años, antes y después de la implementación PLM, el ahorro anual con respecto a la situación previa y el cálculo del VAN y el TIR correspondiente al año que se desea analizar.

Para obtener los **costes actuales en personal**, se partirá de una serie de costes de entrada, que además constituirán el coste del año “0”, que puedan representar los costes reales en personal de un gran abanico de empresas medianas (para el análisis en cuestión, los costes de personal que se han definido son 100.000 €, 500.000 € y 1.000.000 €; cualquier caso diferente se puede analizar simplemente realizando una interpolación). Tras haber definido el coste en personal de la empresa tomada para el estudio, se calculará la evolución de dicho coste a lo largo de los “n” años planteados, y la actualización del coste se realizará en función del IPC, cuyo valor fue definido anteriormente, siguiendo la expresión a continuación:

$$\text{Coste personal actual (año "n")} = \text{Coste actual personal (año "0")} * (1 + \text{IPC})^n$$

En la siguiente columna, se van a calcular los **costes en personal una vez implementado el software PLM** en la empresa. Para ello, como en el caso anterior, el cálculo del año “0” va a ser diferente al resto de años “n”: bastará con sumar el coste actual en personal y el coste de la **inversión PLM**, realizada como inversión inicial del proyecto.

Los siguientes años se deberá tener en cuenta, además, el **coste de soporte técnico anual** definido anteriormente, el cual supone en todos los casos un 10% anual de la inversión inicial PLM. Para el cálculo de estos costes se empleará el **grado de optimización** (con su correspondiente **coeficiente de eficiencia**) que se le asigne a la empresa, que hará que la diferencia entre los costes actuales de la empresa y los costes tras la implementación PLM sea mayor o menor, tal y como se explicó en el apartado anterior. Para el cálculo del coste en los años posteriores al año “0” se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Coste personal PLM (n)} = \text{Coste personal actual (n)} * (1 - C.E.^{15}) + C.S.T.^{16}$$

En las siguientes columnas se calcularán el **ahorro** producido tras la implementación PLM, y nuevamente el **ahorro, pero esta vez corregido según el VAN**, aportando unos valores más exactos por estar actualizados teniendo en cuenta la **tasa de descuento** definida en los elementos de entrada. El VAN o Valor Actual Neto del ahorro para el año “n” que se desee analizar, se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro VAN (n)} = \text{Ahorro (n)} / (1 + \text{Tasa de descuento})^n$$

Los resultados obtenidos en la columna anterior se emplearán de nuevo en la siguiente columna, en la que se elaborará el **ahorro VAN acumulado**. Esta columna será de gran utilidad, ya que permite a la empresa que esté realizando el estudio de rentabilidad identificar el año a partir del cual se va a recuperar la inversión inicial, también denominado **Payback**.

En la última columna de la tabla de eficiencia se va a calcular el **TIR** o **Tasa Interna de Retorno** de la inversión en el periodo de tiempo analizado. El TIR es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida (en función de si es positivo o negativo, respectivamente) que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). Como la tasa interna de retorno (TIR) da una medida relativa de la **rentabilidad**, va a ser expresada en tanto por ciento.

¹⁵ C.E. son las siglas de Coeficiente de Eficiencia (grado de optimización).

¹⁶ C.S.T. son las siglas de Coste de Soporte Técnico (anual).

AÑOS	COSTE PERSONAL - ACTUAL	COSTE PERSONAL - CON PLM	AHORRO	VAN-AHORRO	VAN-AHORRO ACUMULADO	TIR
0	100.000,00 €	150.000,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	
1	101.750,00 €	96.575,00 €	5.175,00 €	4.952,15 €	-45.047,85 €	-90%
2	103.530,63 €	98.177,56 €	5.353,06 €	4.901,96 €	-40.145,89 €	-62%
3	105.342,41 €	99.808,17 €	5.534,24 €	4.849,64 €	-35.296,25 €	-40%
4	107.185,90 €	101.467,31 €	5.718,59 €	4.795,39 €	-30.500,86 €	-26%
5	109.061,66 €	103.155,49 €	5.906,17 €	4.739,41 €	-25.761,45 €	-17%
6	110.970,24 €	104.873,21 €	6.097,02 €	4.681,88 €	-21.079,57 €	-10%
7	112.912,21 €	106.620,99 €	6.291,22 €	4.622,97 €	-16.456,61 €	-5%
8	114.888,18 €	108.399,36 €	6.488,82 €	4.562,84 €	-11.893,77 €	-2%
9	116.898,72 €	110.208,85 €	6.689,87 €	4.501,64 €	-7.392,12 €	1%
10	118.944,45 €	112.050,00 €	6.894,44 €	4.439,52 €	-2.952,60 €	3%
11	121.025,98 €	113.923,38 €	7.102,60 €	4.376,61 €	1.424,01 €	5%
12	123.143,93 €	115.829,54 €	7.314,39 €	4.313,03 €	5.737,05 €	6%
13	125.298,95 €	117.769,06 €	7.529,90 €	4.248,91 €	9.985,95 €	7%
14	127.491,68 €	119.742,51 €	7.749,17 €	4.184,34 €	14.170,29 €	8%
15	129.722,79 €	121.750,51 €	7.972,28 €	4.119,44 €	18.289,73 €	9%
16	131.992,94 €	123.793,64 €	8.199,29 €	4.054,30 €	22.344,03 €	10%
17	134.302,81 €	125.872,53 €	8.430,28 €	3.989,01 €	26.333,04 €	10%
18	136.653,11 €	127.987,80 €	8.665,31 €	3.923,66 €	30.256,70 €	11%
19	139.044,54 €	130.140,09 €	8.904,45 €	3.858,32 €	34.115,01 €	11%
20	141.477,82 €	132.330,04 €	9.147,78 €	3.793,06 €	37.908,08 €	11%

Tabla 6. Ejemplo de tabla de eficiencia para inputs $CP^{17}=100.000€$, Inv. PLM=50.000€ y CE=10% (Fuente: elaboración propia)

ELEMENTOS DE SALIDA (OUTPUTS)

Los outputs del modelo de estudio de viabilidad van a ser una serie de **indicadores de rentabilidad** que ya se han citado anteriormente:

- **Valor actual neto (VAN).** El valor actual neto, o VAN, es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión.

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado, conocido como **tasa de descuento**. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc). Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión, ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia. Este indicador se calcula de la siguiente manera:

¹⁷ Se han utilizado las siglas CP para representar el “coste en personal”, Inv. PLM para la “inversión en PLM” y CE para el “coeficiente de eficiencia”

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Siendo:

- F_t son los flujos de dinero en cada periodo “t”
- I_0 es la inversión realizada en el momento inicial $t=0$
- n es el número de periodos de tiempo
- k es la tasa de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos con el VAN habrá que tener en cuenta tres criterios, los cuales van a dar una respuesta inmediata a la decisión de realizar o no la inversión PLM:

- Si el $VAN > 0$ entonces la inversión generará beneficios para la empresa, para la tasa de descuento seleccionada.
 - Si el $VAN = 0$ el proyecto de inversión no se traducirá ni en beneficios ni en pérdidas.
 - Si el $VAN < 0$ la inversión generará pérdidas y dicho proyecto no será aceptado.
- **Tasa interna de retorno (TIR).** La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. Estos Valores VAN o VPN son calculados a partir del flujo de caja o *cash flow* anual, trayendo todas las cantidades futuras -flujos negativos y positivos- al presente.

Como se ha explicado anteriormente, la TIR es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee: a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por esta razón, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Para el cálculo de TIR, se puede utilizar su propia definición, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Como ocurre con el VAN, una vez obtenido el valor del TIR se pueden extraer diversas conclusiones según varios criterios y considerando “k” como la tasa de descuento del proyecto de inversión:

- Si el $TIR > k$, entonces la inversión se aceptará puesto que la tasa obtenida será superior a la tasa mínima de rentabilidad que se le exige a la inversión.
- Si $TIR = k$, no se llega a ninguna conclusión relevante para la inversión, es indiferente.
- Si $TIR < k$, la inversión ha de ser rechazada ya que no se alcanza la rentabilidad mínima exigida.

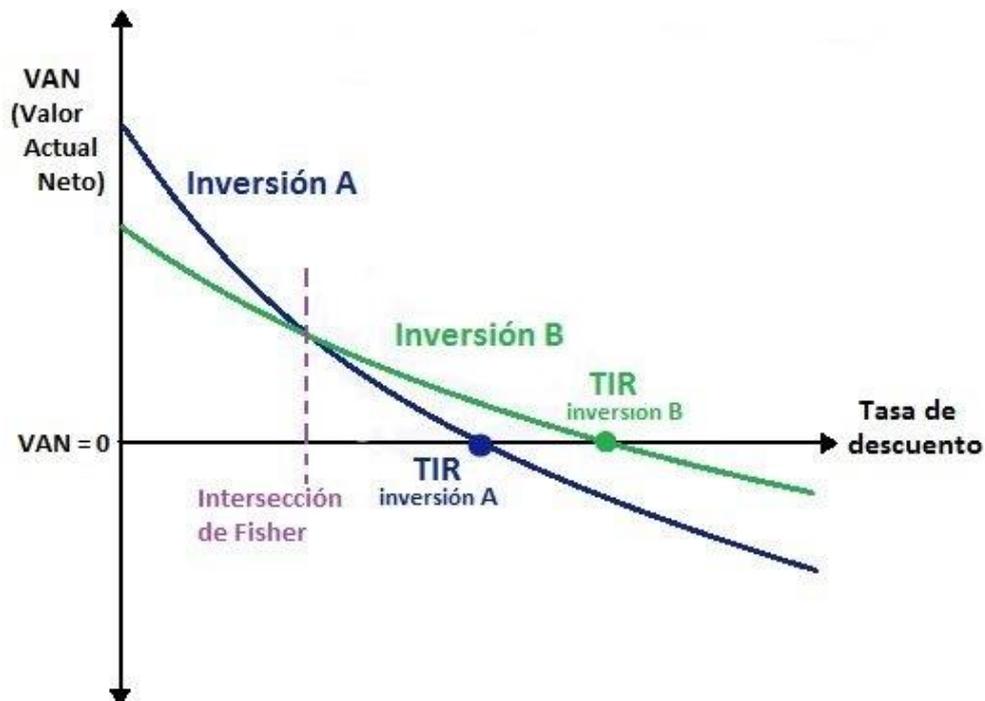


Figura. TIR de dos inversiones (A y B). El TIR de la inversión B es mayor, por lo que, a priori, más rentable

(Fuente: *economipedia.com*)

- **Payback o plazo de recuperación.** El *Payback* o plazo de recuperación es el tercer output del modelo, y constituye un criterio para evaluar inversiones que se define como el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. Es un método estático para la evaluación de inversiones.

Por medio del *Payback* sabemos el número de periodos (normalmente años) que se tarda en recuperar el dinero desembolsado al comienzo de una inversión, lo que es crucial a la hora de decidir si embarcarse en un proyecto o no.

Para el cálculo del *payback* se va a emplear la tabla de eficiencias, teniendo que identificar el periodo en el cual se va a recuperar la inversión inicial en PLM; para ello, se deberá identificar el periodo (año) en el cual el VAN – Ahorro cambia a ser positivo, ya que será durante ese periodo cuando se de la recuperación total de la inversión. Para calcular el *payback* de cada caso de inversión, se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$\text{Payback} = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

Donde:

- F_t valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión
- I_0 es la inversión inicial del proyecto de implementación
- a es el número del periodo inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso inicial
- b la suma de flujos (VAN – Ahorro acumulado) hasta fin del periodo “a”

Una vez explicados los indicadores de rentabilidad que constituyen los outputs de nuestro modelo, debemos establecer los periodos en los que centrar el estudio de viabilidad. Para este caso, se evaluará la inversión en unos periodos de 10, 15 y 20 años, para obtener una visión más a medio-largo plazo.

AL - CON PLM	AHORRO	VAN-AHORRO	VAN-AHORRO ACUMULADO	TIR
0,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	
5,00 €	5.175,00 €	4.952,15 €	-45.047,85 €	-90%
7,56 €	5.353,06 €	4.901,96 €	-40.145,89 €	-62%
3,17 €	5.534,24 €	4.849,64 €	-35.296,25 €	-40%
7,31 €	5.718,59 €	4.795,39 €	-30.500,86 €	-26%
5,49 €	5.906,17 €	4.739,41 €	-25.761,45 €	-17%
3,21 €	6.097,02 €	4.681,88 €	-21.079,57 €	-10%
0,99 €	6.291,22 €	4.622,97 €	-16.456,61 €	-5%
9,36 €	6.488,82 €	4.562,84 €	-11.893,77 €	-2%
8,85 €	6.689,87 €	4.501,64 €	-7.392,12 €	1%
0,00 €	6.894,44 €	4.439,52 €	-2.952,60 €	3%
3,38 €	7.102,60 €	4.376,61 €	1.424,01 €	5%
9,54 €	7.314,39 €	4.313,03 €	5.737,05 €	6%
9,06 €	7.529,90 €	4.248,91 €	9.985,95 €	7%
2,51 €	7.749,17 €	4.184,34 €	14.170,29 €	8%
0,51 €	7.972,28 €	4.119,44 €	18.289,73 €	9%
3,64 €	8.199,29 €	4.054,30 €	22.344,03 €	10%
2,53 €	8.430,28 €	3.989,01 €	26.333,04 €	10%
7,80 €	8.665,31 €	3.923,66 €	30.256,70 €	11%
0,09 €	8.904,45 €	3.858,32 €	34.115,01 €	11%
0,04 €	9.147,78 €	3.793,06 €	37.908,08 €	11%

A 10 AÑOS	
VAN	-2.952,60 €
TIR	3%

A 15 AÑOS	
VAN	18.289,73 €
TIR	9%

A 20 AÑOS	
VAN	37.908,08 €
TIR	11%

PAYBACK - años	10,67
----------------	-------

Tabla 7. Indicadores de rentabilidad: VAN, TIR y *payback*, a 10, 15 y 20 años, junto a la tabla de eficiencia del caso propuesto en la Tabla 6. (Fuente: elaboración propia)

A continuación, se muestra un ejemplo de hoja de cálculo empleada para realizar el análisis de rentabilidad, en la que se puede observar tanto la matriz de inputs, como la tabla de eficiencia y los correspondientes outputs: VAN, TIR y *payback* (siguiente página):

COSTE ACTUAL PERSONAL	100.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	4
COEF. EFICIENCIA	0,1
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%
COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	5.000,00 €
COSTE DE INVERSIÓN PLM (€)	50.000,00 €

A 10 AÑOS

VAN	-2.952,60 €
TIR	3%

A 15 AÑOS

VAN	18.289,73 €
TIR	9%

A 20 AÑOS

VAN	37.908,08 €
TIR	11%

PAYBACK - años	10,67
-----------------------	--------------

AÑOS	COSTE PERSONAL - ACT.	COSTE PERSONAL - PLM	AHORRO	VAN-AHORRO	VAN-AHORRO ACUM.	TIR
0	100.000,00 €	150.000,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	-50.000,00 €	
1	101.750,00 €	96.575,00 €	5.175,00 €	4.952,15 €	-45.047,85 €	-90%
2	103.530,63 €	98.177,56 €	5.353,06 €	4.901,96 €	-40.145,89 €	-62%
3	105.342,41 €	99.808,17 €	5.534,24 €	4.849,64 €	-35.296,25 €	-40%
4	107.185,90 €	101.467,31 €	5.718,59 €	4.795,39 €	-30.500,86 €	-26%
5	109.061,66 €	103.155,49 €	5.906,17 €	4.739,41 €	-25.761,45 €	-17%
6	110.970,24 €	104.873,21 €	6.097,02 €	4.681,88 €	-21.079,57 €	-10%
7	112.912,21 €	106.620,99 €	6.291,22 €	4.622,97 €	-16.456,61 €	-5%
8	114.888,18 €	108.399,36 €	6.488,82 €	4.562,84 €	-11.893,77 €	-2%
9	116.898,72 €	110.208,85 €	6.689,87 €	4.501,64 €	-7.392,12 €	1%
10	118.944,45 €	112.050,00 €	6.894,44 €	4.439,52 €	-2.952,60 €	3%
11	121.025,98 €	113.923,38 €	7.102,60 €	4.376,61 €	1.424,01 €	5%
12	123.143,93 €	115.829,54 €	7.314,39 €	4.313,03 €	5.737,05 €	6%
13	125.298,95 €	117.769,06 €	7.529,90 €	4.248,91 €	9.985,95 €	7%
14	127.491,68 €	119.742,51 €	7.749,17 €	4.184,34 €	14.170,29 €	8%
15	129.722,79 €	121.750,51 €	7.972,28 €	4.119,44 €	18.289,73 €	9%
16	131.992,94 €	123.793,64 €	8.199,29 €	4.054,30 €	22.344,03 €	10%
17	134.302,81 €	125.872,53 €	8.430,28 €	3.989,01 €	26.333,04 €	10%
18	136.653,11 €	127.987,80 €	8.665,31 €	3.923,66 €	30.256,70 €	11%
19	139.044,54 €	130.140,09 €	8.904,45 €	3.858,32 €	34.115,01 €	11%
20	141.477,82 €	132.330,04 €	9.147,78 €	3.793,06 €	37.908,08 €	11%

Tabla 8. Ejemplo de aplicación del modelo en una hoja de cálculo; se puede observar la matriz de inputs, la tabla de eficiencia y la matriz de outputs explicadas anteriormente (Fuente: elaboración propia)

4.2. Estudio de viabilidad de implantación

En este apartado del Trabajo, se realizará un análisis de la rentabilidad o viabilidad de implantación de diferentes casos de implementación PLM, para distintos costes de personal y distintas inversiones iniciales de proyecto, mediante el modelo de análisis explicado en los apartados anteriores.

El estudio se realizará para una serie de datos de entrada prefijados, intentando que los valores sean lo más reales, comunes y coherentes posibles, con el objetivo de que el modelo constituya una herramienta más en la toma de decisiones de cualquier empresa de ingeniería que desee implementar un sistema de gestión de este tipo.

Para establecer los diferentes casos, el primer valor de entrada que se variará en el modelo es el “**Coste de personal actual**”. Este dato será aportado por la propia empresa en estudio. Además de este input, otros datos de entrada que se variarán van a ser los “**Costes de inversión PLM iniciales**” y el “**Grado de optimización**”, de manera que se pueda realizar el análisis de rentabilidad para un gran abanico de empresas, aportando finalmente unos resultados visibles y concluyentes, gracias al uso de tablas y gráficos, e interpolando para cualquier resultado, si fuese necesario.

Para la construcción del modelo, se han tomado los siguientes **costes de personal anual actual**: (1) 100.000€, (2) 500.000€ y (3) 1.000.000€, siendo estos valores más que razonables en cualquier industria y/o empresa mediana de ingeniería. Para cuantificar la **inversión en PLM**, se han empleado los siguientes costes: (1) 50.000€, (2) 100.000€, (3) 150.000€ y (4) 200.000€; estos costes son orientativos, y dependerán en cualquier caso del proveedor de servicios PLM. De todas formas, cualquier valor que no aparezca en las tablas se podrá obtener mediante interpolación, como ya se ha citado, ya que en la mayoría de los casos las funciones que resultan son más o menos lineales.

4.2.1. Análisis de rentabilidad de los casos supuestos

Una vez definidos los distintos casos que se van a estudiar, se introducen en la hoja de cálculo elaborada para el estudio (se puede observar un ejemplo de aplicación de la misma en la **Tabla 8, página anterior**). De estas hojas se extraerán los outputs del modelo: VAN, TIR y *payback*, siendo este último de gran importancia a la hora de realizar el

estudio de viabilidad, puesto que será lo primero que interese al cliente, en este caso, la empresa que esté estudiando la inversión PLM con esta herramienta.

Para proceder al análisis de los diferentes casos, se va a fijar principalmente el **coste de inversión inicial en PLM**, variando para cada caso el **coste de personal actual**, y dentro de cada uno de dichos costes (cada coste de personal hará referencia a un tamaño de empresa distinto), cada uno de los **grados de optimización** que se podrán dar en las empresas, según lo explicado anteriormente.

Los resultados obtenidos para los diferentes casos han sido recogidos a continuación (siguientes páginas):

(A) Coste de inversión inicial PLM: 50.000 €• **Coste de personal actual: 100.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	2,61	126.963,89 €	41%	201.270,93 €	43%	267.329,72 €	43%
20,00%	3,50	83.658,40 €	30%	140.277,20 €	32%	190.855,84 €	33%
15,00%	5,30	40.352,90 €	18%	79.283,47 €	21%	114.381,96 €	22%
10,00%	10,67	- 2.952,60 €	3%	18.289,73 €	9%	37.908,08 €	11%
5,00%	69,29	- 46.258,09 €	-25%	- 42.704,00 €	-12%	- 38.565,80 €	-6%

Tabla 9. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=50.000€

• **Coste de personal actual: 500.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,43	993.073,83 €	246%	1.421.145,55 €	246%	1.796.807,31 €	246%
20,00%	0,54	776.546,34 €	195%	1.116.176,90 €	195%	1.414.437,91 €	195%
15,00%	0,73	560.018,86 €	144%	811.208,24 €	144%	1.032.068,51 €	144%
10,00%	1,14	343.491,38 €	94%	506.239,58 €	94%	649.699,12 €	94%
5,00%	2,61	126.963,89 €	41%	201.270,93 €	43%	267.329,72 €	43%

Tabla 10. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=50.000€

• **Coste de personal actual: 1.000.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,21	2.075.711,25 €	501%	2.945.988,83 €	501%	3.708.654,31 €	501%
20,00%	0,26	1.642.656,28 €	399%	2.336.051,52 €	399%	2.943.915,51 €	399%
15,00%	0,35	1.209.601,31 €	297%	1.726.114,21 €	297%	2.179.176,71 €	297%
10,00%	0,54	776.546,34 €	195%	1.116.176,90 €	195%	1.414.437,91 €	195%
5,00%	1,14	343.491,38 €	94%	506.239,58 €	94%	649.699,12 €	94%

Tabla 11. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=50.000€

(B) Coste de inversión inicial PLM: 100.000 €• **Coste de personal actual: 100.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	7,11	37.400,30 €	11%	97.573,20 €	16%	152.290,03 €	17%
20,00%	10,67	- 5.905,19 €	3%	36.579,47 €	9%	75.816,15 €	11%
15,00%	20,14	- 49.210,69 €	-7%	- 24.414,26 €	1%	- 657,73 €	4%
10,00%	69,29	- 92.516,19 €	-25%	- 85.407,99 €	-12%	- 77.131,60 €	-6%
5,00%	(*)	- 135.821,68 €	(*)	- 146.401,73 €	(*)	- 153.605,48 €	(*)

Tabla 12. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=100.000€

• **Coste de personal actual: 500.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,89	903.510,24 €	119%	1.317.447,82 €	119%	1.681.767,63 €	119%
20,00%	1,14	686.982,75 €	94%	1.012.479,17 €	94%	1.299.398,23 €	94%
15,00%	1,59	470.455,27 €	68%	707.510,51 €	68%	917.028,83 €	68%
10,00%	2,61	253.927,79 €	41%	402.541,86 €	43%	534.659,43 €	43%
5,00%	7,11	37.400,30 €	11%	97.573,20 €	16%	152.290,03 €	17%

Tabla 13. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=100.000€

• **Coste de personal actual: 1.000.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,43	1.986.147,66 €	246%	2.842.291,10 €	246%	3.593.614,62 €	246%
20,00%	0,54	1.553.092,69 €	195%	2.232.353,79 €	195%	2.828.875,83 €	195%
15,00%	0,73	1.120.037,72 €	144%	1.622.416,48 €	144%	2.064.137,03 €	144%
10,00%	1,14	686.982,75 €	94%	1.012.479,17 €	94%	1.299.398,23 €	94%
5,00%	2,61	253.927,79 €	41%	402.541,86 €	43%	534.659,43 €	43%

Tabla 14. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=100.000€

(C) Coste de inversión inicial PLM: 150.000 €

- **Coste de personal actual: 100.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	15,69	- 52.163,29 €	-3%	- 6.124,53 €	4%	37.250,35 €	7%
20,00%	27,38	- 95.468,79 €	-11%	- 67.118,26 €	-2%	- 39.223,53 €	2%
15,00%	69,29	- 138.774,28 €	-25%	- 128.111,99 €	-12%	- 115.697,41 €	-6%
10,00%	(*)	- 182.079,78 €	(*)	- 189.105,72 €	(*)	- 192.171,29 €	(*)
5,00%	(*)	- 225.385,28 €	(*)	- 250.099,45 €	(*)	- 268.645,17 €	(*)

Tabla 15. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=150.000€

- **Coste de personal actual: 500.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	1,41	813.946,65 €	76%	1.213.750,10 €	77%	1.566.727,95 €	77%
20,00%	1,83	597.419,16 €	59%	908.781,44 €	60%	1.184.358,55 €	60%
15,00%	2,61	380.891,68 €	41%	603.812,78 €	43%	801.989,15 €	43%
10,00%	4,52	164.364,20 €	22%	298.844,13 €	25%	419.619,75 €	26%
5,00%	15,69	- 52.163,29 €	-3%	- 6.124,53 €	4%	37.250,35 €	7%

Tabla 16. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=150.000€

- **Coste de personal actual: 1.000.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,65	1.896.584,07 €	161%	2.738.593,38 €	161%	3.478.574,94 €	161%
20,00%	0,83	1.463.529,10 €	128%	2.128.656,06 €	128%	2.713.836,14 €	128%
15,00%	1,14	1.030.474,13 €	94%	1.518.718,75 €	94%	1.949.097,35 €	94%
10,00%	1,83	597.419,16 €	59%	908.781,44 €	60%	1.184.358,55 €	60%
5,00%	4,52	164.364,20 €	22%	298.844,13 €	25%	419.619,75 €	26%

Tabla 17. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=150.000€

(D) Coste de inversión inicial PLM: 200.000 €

- **Coste de personal actual: 100.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	32,84	- 141.726,88 €	-14%	- 109.822,26 €	-4%	- 77.789,33 €	0%
20,00%	69,29	- 185.032,38 €	-25%	- 170.815,99 €	-12%	- 154.263,21 €	-6%
15,00%	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
10,00%	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
5,00%	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

Tabla 18. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=200.000

- **Coste de personal actual: 500.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	1,97	724.383,06 €	55%	1.110.052,37 €	56%	1.451.688,27 €	56%
20,00%	2,61	507.855,57 €	41%	805.083,71 €	43%	1.069.318,87 €	43%
15,00%	3,82	291.328,09 €	27%	500.115,05 €	30%	686.949,47 €	30%
10,00%	7,11	74.800,60 €	11%	195.146,40 €	16%	304.580,07 €	17%
5,00%	32,84	- 141.726,88 €	-14%	- 109.822,26 €	-4%	- 77.789,33 €	0%

Tabla 19. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=200.000€

- **Coste de personal actual: 1.000.000 €**

EFICIENCIA	PAYBACK	A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
		VAN	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR
25,00%	0,89	1.807.020,48 €	119%	2.634.895,65 €	119%	3.363.535,26 €	119%
20,00%	1,14	1.373.965,51 €	94%	2.024.958,34 €	94%	2.598.796,46 €	94%
15,00%	1,59	940.910,54 €	68%	1.415.021,02 €	68%	1.834.057,66 €	68%
10,00%	2,61	507.855,57 €	41%	805.083,71 €	43%	1.069.318,87 €	43%
5,00%	7,11	74.800,60 €	11%	195.146,40 €	16%	304.580,07 €	17%

Tabla 20. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=200.000€

(*) Cabe destacar que, como se puede observar en las tablas 12, 15 y 18, existen casos ciertamente inviables, según los indicadores obtenidos. Se puede observar que, para los casos anteriores, se obtienen valores de *payback* muy elevado. Hoy en día en España, tras unos años de situación económica convulsa, sobre todo para la pequeña y mediana empresa, es poco común que alguien invierta en un proyecto de este tipo que tenga un *payback* por debajo de 5 años, siendo óptimo un tiempo inferior al año.

El ábaco de costes de personal y costes de inversión PLM planteado va a permitir a cualquier empresa estudiar la viabilidad de implementación de un sistema PLM, ver la rentabilidad para distintos costes anuales y sabiendo la aptitud de implantación de la propia empresa, saber qué grado de eficiencia se puede lograr mejorar.

Los casos inviables citados anteriormente tienen ciertas similitudes, y su elevado *payback* responde a una razón lógica: en todos los casos, las empresas supuestas tienen un coste de personal anual de 100.000 €; este es el valor de coste en personal más bajo, por lo que hará referencia a aquellas empresas con menor dimensión y capacidad económica. Por otro lado, el valor que varía de un caso a otro es la inversión en PLM: en el primer caso, será de 100.000€, en el segundo, de 150.000 € y en el tercero, de 200.000€.

En todos los casos se han obtenido valores de VAN muy negativos, unas TIR muy pequeñas e incluso negativas y, como se ha citado antes, unos *payback* muy elevados. Esto se puede explicar basándonos en el coste actual en personal: un coste en personal de 100.000€, que se puede catalogar como “bajo” según el modelo, jamás justifica unas inversiones tan grandes para tan poco rendimiento. Por lo tanto, esas empresas deberán tomar la decisión de no implantar un sistema PLM, ya que supondrá un alto gasto inicial y, probablemente, nunca llegue a percibir rentabilidad de la inversión.

4.2.2. Gráficas de rentabilidad

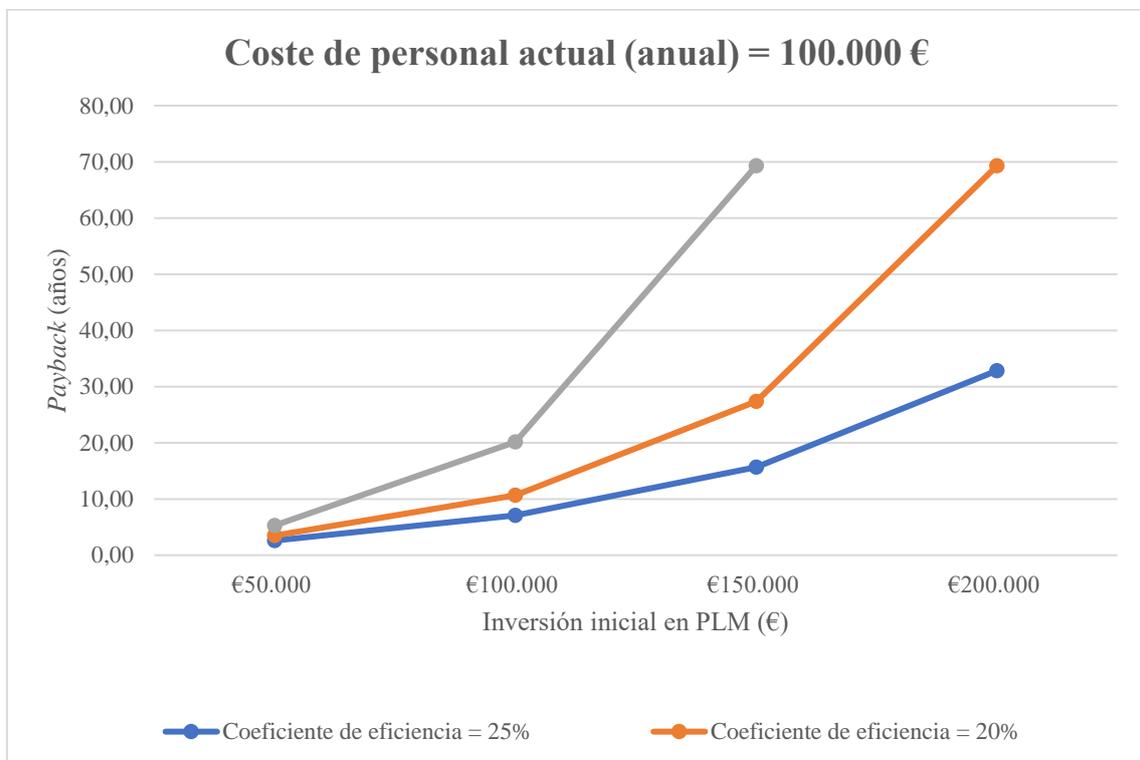
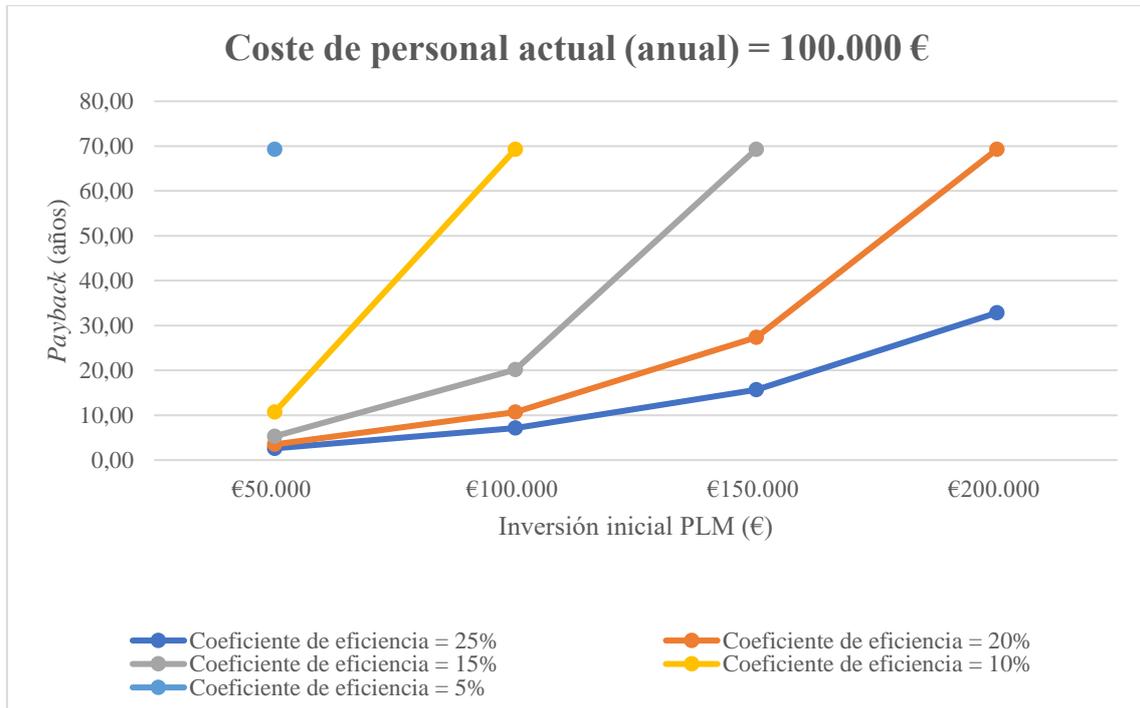
Para aportar una visión más clara de los resultados de rentabilidad obtenidos en el apartado anterior, se han elaborado una serie de **gráficas de rentabilidad**, que permitirán a la empresa visualizar fácilmente en qué medida varía el *payback* de su inversión, en función de la inversión inicial en PLM, el grado de optimización atribuido a la empresa y, por supuesto, el coste en personal anual.

Estas gráficas son un complemento al modelo, que permitirán a la empresa objeto de estudio observar cuáles serán las inversiones más aconsejables para realizar y cuáles no, basándonos en el coste de personal de la empresa, dato fijado en todas las gráficas (como ya se ha explicado anteriormente, cualquier resultado puede ser obtenido por interpolación en el caso que el coste de personal sea diferente a los establecidos inicialmente).

Cabe destacar que todos los casos declarados inviables en el apartado anterior han sido incluidos en la primera gráfica para cada coste de personal (normalmente son casos con coeficientes de eficiencia del 5% al 15%), pero retirados de una segunda gráfica, en la que se podrán observar con más ampliación los *paybacks* más “reales”, suprimiendo las situaciones que no justifiquen una inversión inicial en PLM de tales cuantías.

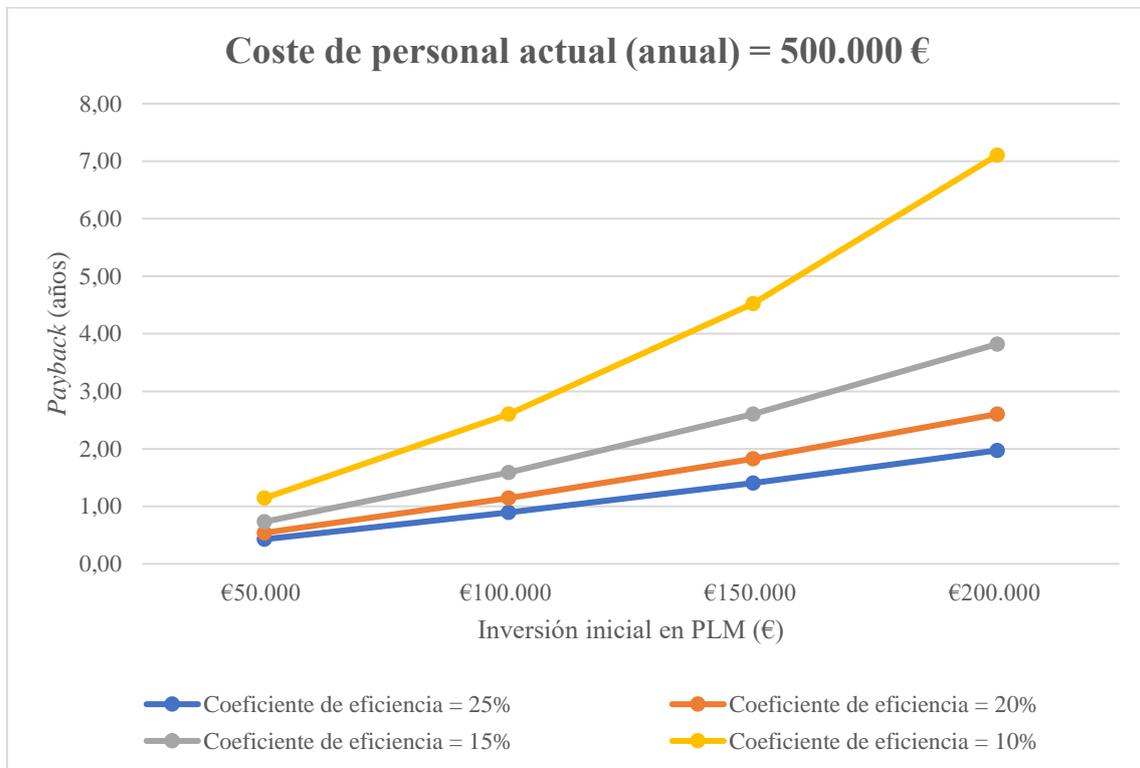
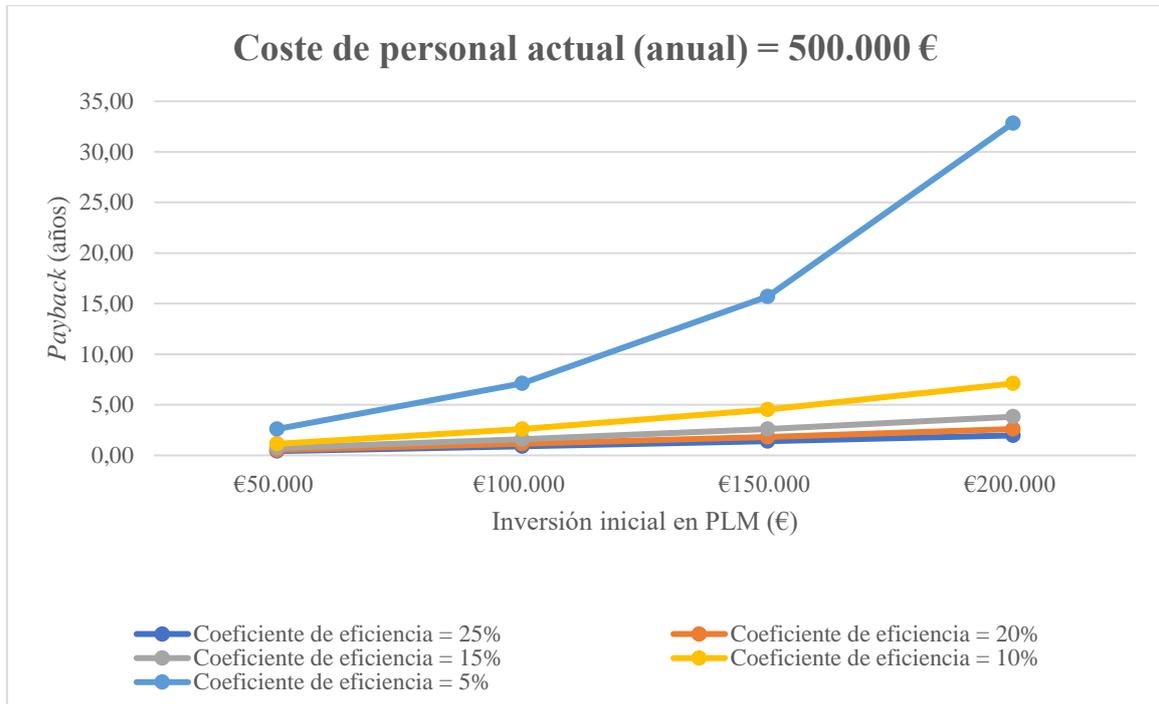
Las gráficas de rentabilidad son incluidas en las páginas siguientes:

Gráficas de rentabilidad para un COSTE DE PERSONAL de 100.000 €



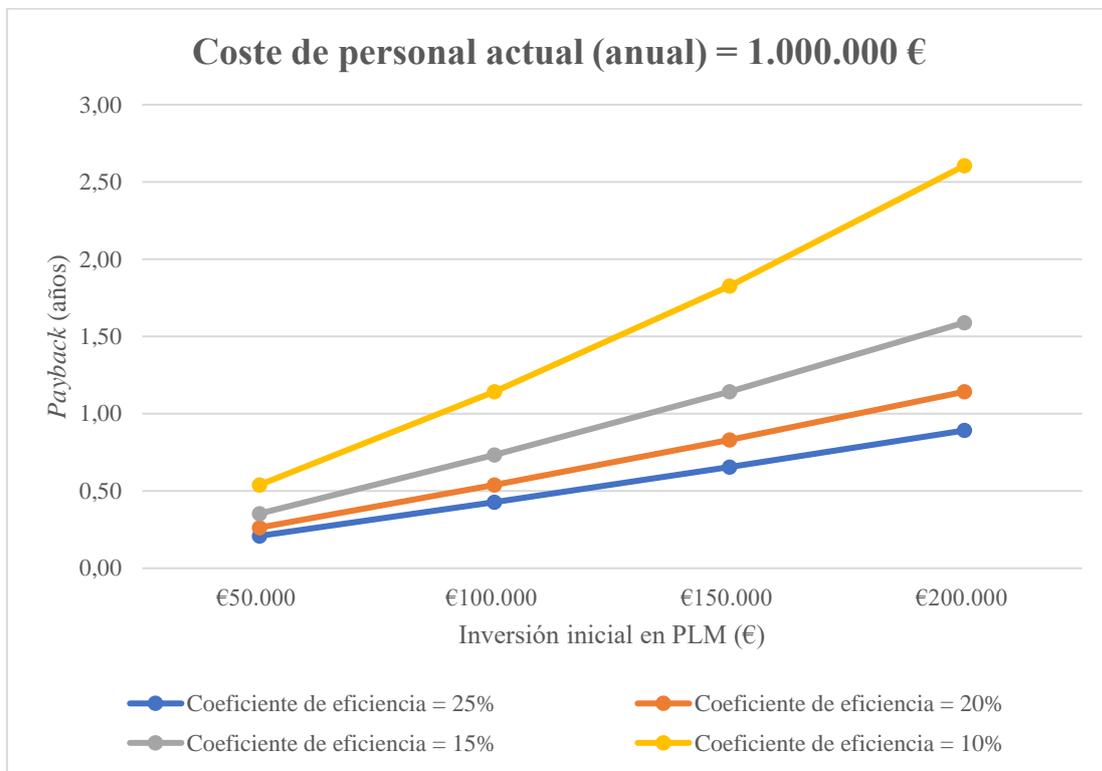
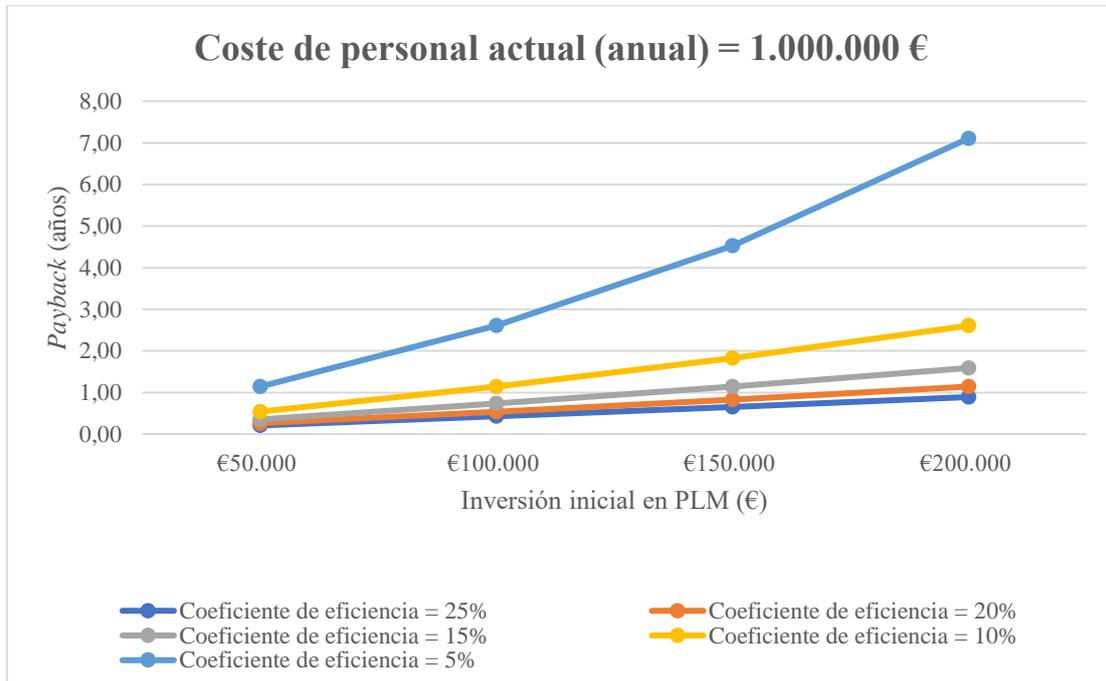
Figuras 26 y 27. Gráficas de rentabilidad para un CP=100.000 €; en la gráfica (1) se incluyen todos los coeficientes de eficiencia; en la gráfica (2) se suprimen los coeficientes del 5, 10 y 15% por devolver valores de *payback* no asumibles (Fuente: elaboración propia)

Gráficas de rentabilidad para un COSTE DE PERSONAL de 500.000 €



Figuras 28 y 29. Gráficas de rentabilidad para un CP=500.000 €; en la gráfica (1) se incluyen todos los coeficientes de eficiencia; en la gráfica (2) se suprime el coeficiente de eficiencia del 5% por suponer valores de *payback* imposibles de asumir (Fuente: elaboración propia)

Gráficas de rentabilidad para un COSTE DE PERSONAL de 1.000.000 €



Figuras 30 y 31. Gráficas de rentabilidad para un CP=1.000.000 €; en la gráfica (1) se incluyen todos los coeficientes de eficiencia; en la gráfica (2) se suprime el coeficiente de eficiencia del 5% por devolver valores de *payback* difíciles de asumir (Fuente: elaboración propia)

4.3. Ejemplo de aplicación y análisis de rentabilidad

A continuación, se va a desarrollar un ejemplo de aplicación del modelo de estudio de viabilidad de implantación PLM, para posteriormente extraer las conclusiones respecto a la decisión de invertir o no en un sistema de este tipo. Para realizar el estudio de rentabilidad del caso, vamos a suponer una empresa de ingeniería de mediano tamaño, con unos **costes de personal anuales de 750.000 €**, un grado de optimización intermedio, tipo 3 (**coeficiente de eficiencia del 15%**), y un coste de **inversión inicial en PLM** también intermedio, de **125.000 €**.

Tras haber introducido los datos en la tabla y aplicado el modelo, extraeremos los principales indicadores de rentabilidad del proyecto, entre ellos el *payback*, valor clave en la toma de decisión de invertir o no en el sistema.

COSTE ACTUAL PERSONAL	750.000,00 €
GRADO OPTIMIZACIÓN	3
COEF. EFICIENCIA	0,15
TASA DESCUENTO -%	4,5%
IPC - %	1,8%
COSTE SOPORTE TÉCNICO (€/año)	12.500,00 €
COSTE DE INVERSIÓN PLM (€)	125.000,00 €

Tabla 21. Matriz de inputs correspondiente al ejemplo de aplicación del modelo (Fuente: elaboración propia)

Introducción de los datos en la tabla de eficiencia del modelo

Una vez determinados los diferentes inputs del modelo de rentabilidad, se introducen en la matriz de datos de entrada, obteniendo los siguientes resultados (página siguiente):

AÑOS	COSTE PERSONAL - ACTUAL	COSTE PERSONAL - CON PLM	AHORRO	VAN-AHORRO	VAN-AHORRO ACUMULADO	TIR
0	750.000,00 €	875.000,00 €	-125.000,00 €	-125.000,00 €	-125.000,00 €	
1	763.125,00 €	661.156,25 €	101.968,75 €	97.577,75 €	-27.422,25 €	-18%
2	776.479,69 €	672.507,73 €	103.971,95 €	95.210,23 €	67.787,98 €	41%
3	790.068,08 €	684.057,87 €	106.010,21 €	92.896,39 €	160.684,37 €	64%
4	803.894,27 €	695.810,13 €	108.084,14 €	90.635,18 €	251.319,55 €	74%
5	817.962,42 €	707.768,06 €	110.194,36 €	88.425,58 €	339.745,14 €	79%
6	832.276,77 €	719.935,25 €	112.341,51 €	86.266,57 €	426.011,71 €	81%
7	846.841,61 €	732.315,37 €	114.526,24 €	84.157,14 €	510.168,85 €	82%
8	861.661,34 €	744.912,14 €	116.749,20 €	82.096,30 €	592.265,15 €	83%
9	876.740,41 €	757.729,35 €	119.011,06 €	80.083,07 €	672.348,22 €	83%
10	892.083,37 €	770.770,86 €	121.312,51 €	78.116,48 €	750.464,70 €	83%
11	907.694,83 €	784.040,60 €	123.654,22 €	76.195,58 €	826.660,28 €	83%
12	923.579,49 €	797.542,56 €	126.036,92 €	74.319,42 €	900.979,70 €	83%
13	939.742,13 €	811.280,81 €	128.461,32 €	72.487,08 €	973.466,78 €	83%
14	956.187,61 €	825.259,47 €	130.928,14 €	70.697,64 €	1.044.164,42 €	84%
15	972.920,90 €	839.482,76 €	133.438,13 €	68.950,21 €	1.113.114,63 €	84%
16	989.947,01 €	853.954,96 €	135.992,05 €	67.243,90 €	1.180.358,53 €	84%
17	1.007.271,09 €	868.680,42 €	138.590,66 €	65.577,83 €	1.245.936,36 €	84%
18	1.024.898,33 €	883.663,58 €	141.234,75 €	63.951,15 €	1.309.887,50 €	84%
19	1.042.834,05 €	898.908,94 €	143.925,11 €	62.363,01 €	1.372.250,51 €	84%
20	1.061.083,65 €	914.421,10 €	146.662,55 €	60.812,58 €	1.433.063,09 €	84%

Tabla 22. Tabla de eficiencia correspondiente a los inputs definidos para el ejemplo (Fuente: elaboración propia)

Análisis de los indicadores de rentabilidad obtenidos

Tras haber introducido los datos declarados para el ejemplo y haber estudiado los resultados obtenidos en la tabla de eficiencia anterior, obtenemos los outputs del modelo, es decir, los indicadores de rentabilidad del proyecto de implementación PLM.

Los resultados obtenidos para el ejemplo son los recogidos a continuación:

A 10 AÑOS		A 15 AÑOS		A 20 AÑOS	
VAN	750.464,70 €	VAN	1.113.114,63 €	VAN	1.433.063,09 €
TIR	83%	TIR	84%	TIR	84%
		PAYBACK (años)		1,29	

Tabla 23. Indicadores de rentabilidad (outputs) obtenidos del ejemplo de aplicación (Fuente: elaboración propia)

Para la empresa ejemplo objeto del estudio de viabilidad de implementación, se ha obtenido un *payback* de 1,29 años. Esto significa que hasta pasado el año y el cuatro meses, aproximadamente, no se va a recuperar la inversión inicial en PLM realizada.

Además, obtenemos unos valores de TIR del 83% a los 10 años, y del 84% a los 15 y 20 años, lo cual demuestra que la inversión en un sistema PLM va a tener una rentabilidad bastante elevada, considerando una tasa de descuento del 4,5 %.

También es importante observar los diferentes valores de VAN obtenidos a 10, 15 y 20 años, lo que nos demuestra que a partir del décimo año de la inversión en PLM (e incluso antes, a partir ya del segundo año, como se puede observar en la tabla de eficiencia) la empresa ya habrá comenzado a percibir beneficios fruto de la implementación del sistema.

Una vez analizados los principales indicadores y resultados, se puede concluir que el proyecto de implementación del sistema PLM va a otorgar unos grandes beneficios, fruto de las mejoras en gestión de procesos y ciclo de vida de productos, por lo que se recomienda que se realice a inversión inicial y posterior implementación del software, ya que se va a percibir una rentabilidad grande en poco tiempo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

A lo largo del Trabajo, se ha realizado un amplio estudio de la tecnología PLM, una tecnología novedosa pero eficiente, que va a contribuir a aumentar la calidad y competitividad de las empresas con la introducción de un sistema de gestión pocas veces visto anteriormente.

Una empresa de ingeniería, y más concretamente, una empresa manufacturera, va a tener que llevar el control diario de numerosos procesos y productos, además de el deber de gestionar toda la información relacionada con ellos, pero también con los clientes, proveedores y trabajadores de la empresa. Todo este flujo de datos, que con el tiempo y los avances tecnológicos introducidos en la empresa no hará más que crecer, debe ser correctamente gestionado para que no se de la pérdida de capital intelectual corporativo que muchas empresas luchan por combatir.

La implementación de un sistema PLM va a traer a las empresas muy buenos resultados, entre los que van a destacar, entre muchos otros, la reducción de errores en gestión documental y organización, la reducción del tiempo de diseño y de ciclos de producción, el incremento de la reutilización de información, la optimización de recursos o la reducción en el tiempo de creación de estructuras y listas de materiales de productos. Pero no sólo eso, sino que también, gracias a la arquitectura del sistema y la capacidad de integración con otras plataformas, va a permitir al usuario en la empresa acceder a la documentación y diseños en tiempo real, visualizar online documentos y actualizar su estatus, la gestión segura de revisiones, la agilización de los *workflows*¹⁸ de aprobación, la gestión ágil de los árboles o estructuras de productos, la unificación de reglas de gestión y formatos y la eliminación de tareas sin valor añadido.

Como se ha citado antes, la capacidad de integración con otros sistemas de gestión empresarial, como los ERP, CRM o SCM es una de las claves del éxito de este tipo de sistemas de PLM, puesto que, fusionando todas las plataformas e integrándolas en una nube, por ejemplo, se va a conseguir un plataforma segura y centralizada desde la que poder gestionar cualquier proceso, producto o elemento de la empresa.

¹⁸ El *workflow* o flujo de trabajo es el estudio de los aspectos operacionales de un proceso: cómo se estructuran las tareas, cómo se realizan, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan, cómo fluye la información que soporta las tareas y cómo se le hace seguimiento al cumplimiento de las tareas.

Además, este Trabajo constituirá una herramienta muy útil para las empresas que quieran estudiar la viabilidad de implementación de un sistema PLM, ya que se ha realizado un análisis completo, basándonos en un modelo de inputs-outputs, que permitirá a cualquier dimensión de empresa analizar si la inversión en PLM va a ser o no rentable (de acuerdo con su coste de inversión y el coste en personal de la empresa), gracias a la obtención de una serie de indicadores de rentabilidad: VAN, TIR y *Payback*.

Con todos estos datos, cualquier tipo de empresa, sea cual sea su tamaño o capacidad, y sea cual sea el coste del proyecto de implementación, podrá apoyar su toma de decisiones para elegir correctamente si realizar la inversión en sistema PLM.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO (PLM): Una herramienta estratégica para el desarrollo y lanzamiento de productos competitivos, Arion Data Systems
- [2] *PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT: 21st CENTURY PARADIGM FOR PRODUCT REALISATION*, John Stark
- [3] Seminario del consultor PLM Álvaro Lizarralde, GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DE PRODUCTO (PLM): SOLUCIONES Y CASOS DE ÉXITO
- [4] FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR, Juan de Juanes Márquez, ETSII-UPM
- [5] Web del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad
- [6] *PLM AND CLOUD COMPUTING, Business white paper*, HP
- [7] ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PLM EN LAS EMPRESAS PYMES DE LA REGIÓN CENTRO DE ARGENTINA, Mg. D. Héctor Omar Mina, Universitat Politècnica de València
- [8] Página oficial de Siemens PLM Software:
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/>
- [9] Página oficial de PTC PLM: <https://www.ptc.com/es/products/plm>
- [10] Página oficial de *Dassault Systèmes*: www.3ds.com/es
- [11] Página web dedicada al estudio de herramientas 2D y 3D aplicables a PLM: www.3dcadportal.com
- [12] Estudios sobre la tecnología, componentes, situación actual y líneas de futuro del PLM elaborados por consultoras: Arion Data Systems, ARC Advisory Group y CIMData
- [13] Página web dedicada al estudio de sistemas ERP, y su integración con PLM: www.evaluandoerp.com
- [14] Página de la empresa ITI, donde se analiza la migración de datos PLM: www.iti-global.com/plm-migration
- [15] Definiciones de términos relacionados con empresa, PLM o negocios: economipedia.com y Wikipedia.org

CAPÍTULO 7. ÍNDICES DE FIGURAS Y TABLAS

7.1. Índice de figuras

- Figura 1. Etapas del ciclo de vida de un producto (Fuente: *debitoor.com*) > pág. 18
- Figura 2. Pieza diseñada y modelada en CATIA (Fuente: CAD Central Limited) > pág. 20
- Figura 3. Pieza diseñada y modelada en CATIA (Fuente: CAD Central Limited) > pág. 20
- Figura 4. Integración de sistemas PLM – ERP (Fuente: *infopl.m.blogspot.com*) > pág. 22
- Figura 5. Visualización de un conjunto 3D diseñado con SolidEdge (Fuente: *conexion3dcad.com*) > pág. 25
- Figura 6. Visualización del modelo de un motor durante una simulación con SolidEdge (Fuente: *conexion3dcad.com*) > pág. 26
- Figura 7. Evolución de los costes incurridos a lo largo del ciclo de vida de un producto (Fuente: Arion Data Systems) > pág. 31
- Figura 8. Esquema de la cadena de suministro de una manufacturera (Fuente: *es.ccm.net*) > pág. 35
- Figura 9. Componentes de un sistema PLM (Fuente: CAD Central Limited) > pág. 40
- Figura 10. Proceso de definición de procesos de fabricación que se emplearían para generar piezas, ensamblar productos finales y realizar inspecciones (Fuente: PTC) > pág. 43
- Figura 11. Proceso de migración de datos PLM de la empresa ITI dentro de la integración de sistemas PLM – PDM (Fuente: ITI) > pág. 46
- Figura 12. Modelos fundamentales en el campo del *cloud computing* (IaaS) (Fuente: Microsoft Azure) > pág. 50
- Figura 13. Modelos fundamentales en el campo del *cloud computing* (PaaS) (Fuente: Microsoft Azure) > pág. 51
- Figura 14. Modelos fundamentales en el campo del *cloud computing* (SaaS) (Fuente: Microsoft Azure) > pág. 52
- Figura 15. Infografía de los resultados del estudio de *cloud computing* en España, por TheMETISfiles (Fuente: *interxion.com*) > pág. 53

- Figura 16. Modelo de integración *cloud* entre PLM y ERP (Fuente: elaboración propia) > pág. 54
- Figura 17. Esquema de la transferencia de información entre diferentes servicios de la empresa en una plataforma ESB (Fuente: kaylani's notebook) > pág. 56
- Figura 18. Cronograma típico de implantación PLM en una PYME (Fuente: Arion Data Systems) > pág. 70
- Figura 19. Captura de pantalla del programa ENOVIA SmarTeam (Fuente: sapr.ru) > pág. 78
- Figura 20. Captura de pantalla del programa ENOVIA SmarTeam (Fuente: cadip.com) > pág. 78
- Figura 21. Captura de pantalla del software Teamcenter. Se puede observar el modelado de una pieza y su respectiva BOM (Fuente: cardsplmsolutions.nl) > pág. 80
- Figura 22. Captura de pantalla del software Teamcenter. Se puede observar la simulación de un proceso (Fuente: cortona3d.com) > pág. 80
- Figura 23. Modelado de una máquina cortadora de papel con el software PTC Windchill (Fuente: tristar.com) > pág. 81
- Figura 24. Modelo input-output de estudio de viabilidad de implantación PLM (Fuente: elaboración propia) > pág. 82
- Figura 25. TIR de dos inversiones (A y B). La TIR de B es mayor, por lo que, a priori, la inversión B es más rentable (Fuente: economipedia.com) > pág. 91
- Figura 26. Gráfica de rentabilidad para un CP=100.000€. Incluidos todos los CE (Fuente: elaboración propia) > pág. 104
- Figura 27. Gráfica de rentabilidad para un CP=100.000€. Son suprimidos los CE del 5, 10 y 15% (Fuente: elaboración propia) > pág. 104
- Figura 28. Gráfica de rentabilidad para un CP=500.000€. Incluidos todos los CE (Fuente: elaboración propia) > pág. 105
- Figura 29. Gráfica de rentabilidad para un CP=500.000€. Sin CE del 5% (Fuente: elaboración propia) > pág. 105
- Figura 30. Gráfica de rentabilidad para un CP=1.000.000€. Incluidos todos los CE (Fuente: elaboración propia) > pág. 106

Figura 31. Gráfica de rentabilidad para un CP=1.000.000€. Sin CE del 5% (Fuente: elaboración propia) > pág. 106

7.2. Índice de tablas

- Tabla 1. Clasificación de las empresas según la DOCE L 124 de 20-5-2003 > pág. 9
- Tabla 2. Costos derivados de la implementación y uso de un sistema PLM (Fuente: PLMadvisors) > pág. 74
- Tabla 3. Comparativa de los principales sistemas y proveedores PLM en el mercado actual (Fuente: Arion Data Systems) > pág. 77
- Tabla 4. Tipos de grados de optimización definidos, con su correspondiente coeficiente de eficiencia (Fuente: elaboración propia) > pág. 83
- Tabla 5. Matriz de elementos de entrada (inputs) del modelo (Fuente: elaboración propia) > pág. 85
- Tabla 6. Ejemplo de tabla de eficiencia para inputs CP=100.000€, IPLM=50.000€ y CE=10% (Fuente: elaboración propia) > pág. 89
- Tabla 7. Indicadores de rentabilidad: payback, VAN y TIR a 10, 15 y 20 años, junto a tabla de eficiencia del caso propuesto en la Tabla 6 (Fuente: elaboración propia) > pág. 93
- Tabla 8. Ejemplo de aplicación del modelo en una hoja de cálculo (Fuente: elaboración propia) > pág. 95
- Tabla 9. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=50.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 98
- Tabla 10. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=50.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 98
- Tabla 11. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=50.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 98
- Tabla 12. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=100.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 99
- Tabla 13. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=100.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 99
- Tabla 14. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=100.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 99
- Tabla 15. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=150.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 100
- Tabla 16. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=150.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 100

Tabla 17. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=150.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 100

Tabla 18. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=100.000€ e IPLM=200.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 101

Tabla 19. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=500.000€ e IPLM=200.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 101

Tabla 20. Principales indicadores de rentabilidad para el caso CP=1.000.000€ e IPLM=200.000€ (Fuente: elaboración propia) > pág. 101

Tabla 21. Matriz de inputs correspondiente al ejemplo de aplicación del modelo definido (Fuente: elaboración propia) > pág. 107

Tabla 22. Tabla de eficiencia correspondiente a los inputs definidos para el ejemplo de aplicación (Fuente: elaboración propia) > pág. 108

Tabla 23. Indicadores de rentabilidad (outputs) obtenidos para el ejemplo de aplicación (Fuente: elaboración propia) > pág. 108

