
PLM. Gestión del ciclo de vida del producto

Product Lifecycle Management

PID_00253854

Carlos Cosials Ruiz

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas



**Carlos Cosials Ruiz**

Es ingeniero informático por la facultad de Informática de Barcelona (FIB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Inició su experiencia profesional en el ámbito del PLM en el Grupo Volkswagen, en el área de Sistemas de Ingeniería de Producto. Posteriormente desarrolló su actividad en el ámbito de la Innovación de Producto. Actualmente, desarrolla proyectos en el ámbito de Internet de las Cosas en Integral Innovation Experts y es el director del Máster en Big Data.

Índice

Introducción.....	5
1. Definiciones.....	7
2. Prestaciones de un PLM.....	12
2.1. La gestión documental	12
2.2. Piezas frente a documentos	13
2.3. La gestión de componentes (o BoM)	16
2.4. Gestión de cambios	24
2.5. Gestión modular	26
2.6. Gestión de opciones y variantes	27
2.7. Gestión platamórfica	29
2.8. Gestión del proyecto	30
3. El <i>Digital Twin</i> como nuevo producto de ingeniería.....	34
4. La Servicialización como nuevo modelo de prestación.....	36
Bibliografía.....	39

Introducción

El diseño de productos es una actividad que se inició tras la industrialización, segregándola de la fabricación, conforme a la necesidad de asegurar que aquello que se había diseñado podía ser fabricado, en volumen y en sus variantes, y que la durabilidad, posterior a la venta del producto, se mantuviera bajo la garantía que los fabricantes iban ofreciendo, como forma de incrementar el valor que los clientes-usuarios obtenían.

Esta actividad se fue profesionalizando de tal forma que fueron surgiendo diferentes especializaciones dentro del propio diseño; a saber, desde las partes más vinculadas a la estética, que se asoció a los diseñadores de estilo, hasta la ingeniería de pruebas, instruida en establecer las validaciones a superar que permitieran homologaciones posteriores, tanto en laboratorios físicos como en simulaciones virtualizadas.

Todo ello comportó que las herramientas utilizadas por los distintos especialistas se fueran perfeccionando y enfocando al propósito que cada ámbito debía de alcanzar y, progresivamente, se utilizaran las tecnologías de la información y las comunicaciones (o TIC, en adelante) para automatizarlas. Por ello fueron desapareciendo paulatinamente, por ejemplo, los planígrafos, para dar cabida a las estaciones de trabajo de CAD, con las que se pasó del detalle en 2D al 3D, y las calculadoras para utilizar las estaciones de CAE con las que hacer los cálculos y simulaciones.

Esta forma de trabajar comportó que los procesos de desarrollo se alteraran y, evidentemente, también sus formas de colaboración: la digitalización del proceso de definición del producto promovió que las colaboraciones de expertos no tuvieran que hacerse presencialmente y se pudiera acceder a los contenidos generados durante el proceso y/o pudieran entregarse remotamente.

De hecho, la necesidad de unificar el conjunto de herramientas CAx que cada grupo de especialistas utilizaba dio lugar a la necesidad de disponer de otra herramienta, esta de gestión, que unificara la visión del estado de avance del desarrollo a lo largo de toda la evolutiva vida del producto. Se denominó PLM y significaba la gestión del ciclo de vida del producto (o *Product Lifecycle Management*).

Esta nueva forma de trabajar también abrió las inquietudes sobre la protección de la propiedad intelectual generada durante el proceso y sobre la necesidad de poner el acento en la identificación, tanto de los documentos como de los usuarios, para así disponer de mecanismos automáticos de acceso o bloqueo.

La digitalización del proceso de definición del producto promovió que la forma de colaborar entre todos los participantes, internos y externos a la compañía, se alterase y se mostrara una mayor inquietud por la protección de la propiedad intelectual (PI).

1. Definiciones

Existe toda una serie de acrónimos que inunda esta área de actividad, junto con un conjunto de definiciones que será conveniente establecer. Empezaremos por los acrónimos y los agruparemos en dos categorías: la que contiene las aplicaciones de autor y la que agrupa los sistemas de gestión de la información de ingeniería (o SSII por Sistemas de Información). Los incluidos en la primera categoría (figura 1) se refieren a las herramientas o aplicaciones informáticas, normalmente manejadas individualmente, que asisten en el desempeño de una actividad específica del ámbito de la ingeniería durante el desarrollo de producto. El resultado es la generación de un contenido digital almacenado en un fichero (al que a veces nos referiremos como «documento»), o conjunto de ficheros vinculados entre sí. Los segundos se centran en los SSII, encargados de manejar los registros referidos a datos o información sobre el producto y que, además, refieren o enlazan los ficheros gestionados por las aplicaciones de autor.

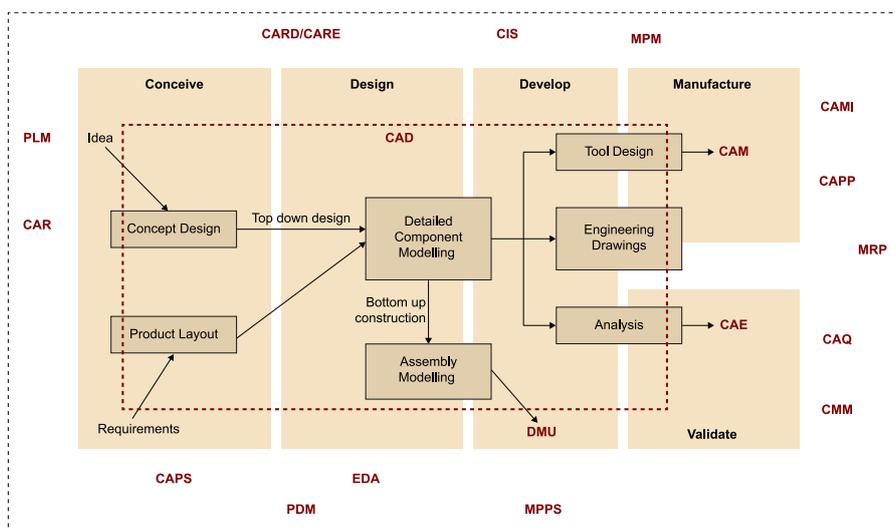
En resumen, vamos a manejar registros y ficheros. Para los registros, tendremos sistemas de información y para los ficheros, utilizaremos aplicaciones de autor.

Vamos con las aplicaciones de autor que asisten en la generación de archivos:

- **CAD:** *Computer Aided Design* o desarrollo asistido por ordenador, donde se detalla y determina la forma final y el encaje entre todas las partes junto con las funciones del producto.
- **CAS:** *Computer Aided Style* o diseño asistido por ordenador, donde se digitalizan los bocetos, se hacen reproducciones sintéticas de apariencia realística del producto a partir de referencias físicas de maquetas elaboradas a escala.
- **CAE:** *Computer Aided Engineering* o cálculo ingenieril asistido por ordenador, donde se realizan diferentes cálculos; a saber, de resistencia, de fluidez, de compatibilidad electromagnética y a partir de los mallados, que se aplican sobre las formas definidas en CAD y que sirven a para evaluar, de forma virtual, el cumplimiento de las características previamente estipuladas en los requisitos de diseño.
- **CAT:** *Computer Aided Testing* o prueba asistida por ordenador, para referirse a las herramientas de captación de medidas obtenidas durante las pruebas reales (físicas) de resistencia y que convierten las medidas analógicas en registros digitales.

- **CAM:** *Computer Aided Manufacturing* o fresado mecanizado de piezas asistido por ordenador, a partir de las instrucciones de rebaje contenidas en un fichero que se envía a la fresa.
- Y en general **CAX** (figura 1), donde la X sustituiría alguna de las especializaciones. Se refiere al conjunto de herramientas mencionadas o, en su especialización, al conjunto de ficheros o documentos generados mediante esas herramientas.
- **CIM:** *Computer Integrated Manufacturing* o fabricación integrada (con el diseño) asistida por ordenador, para referirse al conjunto de herramientas vinculadas con la ingeniería para la definición del producto y el proceso de producción.

Figura 1. CAX ©



Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_technologies#/media/File:CaxOnCAD.png

Y para los SSII:

- **TDM:** *Team Data Management* o gestión de datos grupales, para referirse a los SSII que gestionan los documentos CAD que son manejados por un equipo de trabajo. No hay vínculos a otros documentos CAX ni colaboración.
- **PDM:** *Product Data Management* o gestión de datos del producto, para referirse a todas las informaciones y sus vínculos con los ficheros relacionados que se articulan para disponer de una definición completa del producto, pero que no contienen informaciones ni archivos adicionales referidos a las pruebas, a los mecanizados, ni representaciones sintéticas.
- **PLM:** *Product Lifecycle Management* o gestión de ciclo de vida del producto, para referirse al sistema de información que predomina durante todo el proceso de desarrollo de un producto y que ejerce de fuente de referencia a lo largo de las etapas de la vida del producto; a saber, diseño, desarrollo, fabricación o ensamblaje, distribución, venta, postventa y retiro, que gobierna todo el avance de la propiedad intelectual generada, desde los bocetos a la gestión de las incidencias surgidas durante el uso o servicio del producto.

- **ERP:** *Enterprise Resource Planning* o planificación de recursos empresariales para referirse a los SSII que se asisten primordialmente durante la fabricación o ensamblaje del producto y que atienden a todas las particularidades (mediante registros) que se suceden durante ese período de vida del producto. Habitualmente el PLM y el ERP que una empresa haya implementado conviven no sin ciertas dificultades en mantener una visión homogénea sobre la heterogeneidad que se sucede.
- **BoM:** *Bill of Materials* o lista de materiales (LdM) o componentes, para referirse a la exhaustiva lista, jerarquizada o no, en la que se desglosa un producto. Puede contemplar todas las posibles y potenciales variantes consideradas por parte del área responsable.
- **ATO/CTO/ETO:** *Assembled/Configured/Engineered to Order* o ensamblado/configurado/diseñado mediante pedido para referirse a la particularidad de cómo se procede a ejecutar la orden de producción tras la recepción de un pedido concreto de un cliente. Siempre partiendo de una definición preexistente del producto, se puede proceder: (a) directamente, cuando el producto se caracteriza como ATO, (b) a partir de selección de opciones compatibles que previamente se habían dispuesto como configurables entre sí mediante una catalogación CTO, (c) hasta la máxima adaptación que permitiría un producto calificable como ETO.

Por último, introduciremos unas acepciones más, referidas a los objetos u objetivos que deben cubrirse mediante las actividades que se realizan durante el ciclo de vida:

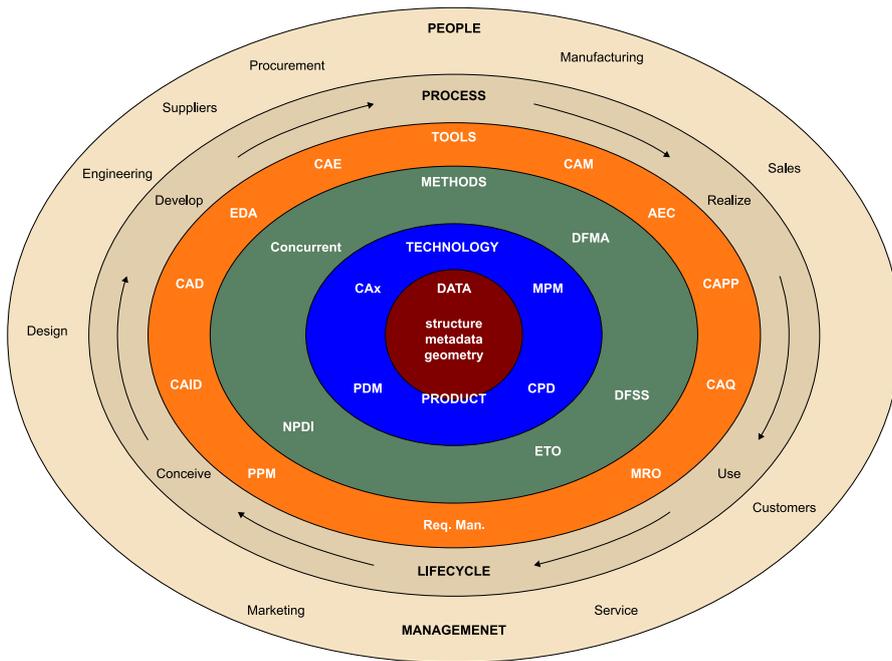
- **Producto:** Es la definición resultante del proceso de desarrollo, presentada con exactitud y precisión exhaustiva, que contiene todos los detalles para determinar que se incluye y cumple para que el resto de la organización lo haga realidad (compras, aprovisionamiento, fabricación, etc.) y lo lleve a cabo (distribución, venta, entrega y servicio postventa).
- **Serviproducto:** Es el servicio que se presta a un cliente en base a las prestaciones indisociables que un producto puede proporcionar. Habitualmente se ofrece en combinación con alguna App o servicio web, alojado en la nube, en base a la información de uso que el producto va comunicando.
- **Diseño:** A diferencia de la acepción/traducción anglosajona, donde *design* se refiere al total de las actividades que contemplan la detallada definición del producto, en español nos referimos a las actividades orientadas a establecer los aspectos estilísticos del producto, y también a fijar el conjunto de requisitos que el producto por desarrollar deberá contemplar y cumplir una vez finalizado el desarrollo.
- **Desarrollo:** Es el conjunto de actividades que se realizan para detallar la forma, la función y el encaje entre todos los componentes (partes o piezas) que acabarán componiendo el producto. También se incluye aquí el establecimiento de qué opciones de configuración serán posibles y cuál es la relación de compatibilidad entre ellas, para establecer las distintas variantes de producto. Por ello, habitualmente, se refiere al desarrollo al 150 %,

para indicar la especificación resultante que contempla todas las posibilidades y al 100 % para una configuración válida y concreta del producto.

- **Validación y verificación:** Se refiere al conjunto de actividades interrelacionadas cuyo propósito principal es validar el desarrollo mediante la detección de fallos de diseño/desarrollo y verificar que el conjunto de requisitos solicitados ha sido cumplimentado y satisfecho, cuantificando el riesgo incluido y aceptando un «pasa/no pasa».
- **Lanzamiento:** Es la fecha, a veces denominada SOP (*Start of Production*), con la que concluye el desarrollo principal, el montaje de prototipos y su validación para iniciar la producción seriada, en el caso de lotes de fabricación. Si el producto es singular, igualmente debe contemplarse esta fecha, ya que habitualmente comporta un aspecto fiscal de finalización de la inversión monetaria que supuso el desarrollo.
- **Proyecto:** Es el conjunto de acciones, actividades y tareas por realizar (o realizadas) por un conjunto de personas que consumirán (o habrán consumido) una serie de recursos. Lo más relevante aquí es la dimensión X (o temporal) que se asocia con el preciso uso en el que los recursos deberán activarse para concluir su desempeño mediante un entregable. Cada vez más este entregable es un documento digitalizado que da muestra de evidencia del avance.
- **Planificación:** Es la programación temporal que se habrá establecido para detallar temporalmente el desempeño y desarrollo de un proyecto. Habitualmente no suele incluir las etapas tempranas de conceptualización.
- **Gestación:** Es el transcurso, temporal y de entregables realizados, desde la embrionaria conceptualización, incluyendo una somera planificación, hasta los ajustes finales incluidos en el lanzamiento a producción del producto.

Habitualmente, durante la gestación de un producto, se lo equipara a un proyecto mediante su denominación, ya que se suele identificar el producto por desarrollar con el código de proyecto que se le asignó para su desarrollo.

Figura 2. PLM ©



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Product_lifecycle_management.png

2. Prestaciones de un PLM

Consideraremos que podemos estructurar las prestaciones identificables de un PLM tomando el mismo criterio que nos serviría para establecer las que serían sus fases de adopción en el proceso de implantación que una organización decidiera llevar a cabo.

En ese supuesto, pasaríamos de la necesaria adopción inicial de un TDM, a implantar un PDM donde incrementaríamos las prestaciones de gestión, colaboración y reutilización como fases previas a la completa implantación de un PLM, que cubriera todo el largo ciclo de vida del producto.

Esta amplísima visión sobre la cobertura de un PLM tiene más de aspiración que de verdadera realización, pues al reto de implantarlo se une la disparidad de empresas. Tenemos aquellas cuya trayectoria desarrollando productos que luego deben industrializar es larga; también aquellas en las que los niveles de exigencia por parte de organismos externos de verificación y/o homologación es extrema; y aquellas de corta trayectoria (como las *startups*) que no acumulan suficiente conocimiento como para requerir un PLM. Esto comporta que el conjunto de las empresas disponga de una lista de SSII que, de forma más implícita que explícita, cubre el ciclo de vida mediante un **enfoque PLM**, aunque no tengan una arquitectura de procesos y sistema completo e integrado como el que aquí planteamos.

Por ello, vamos a ver los distintos niveles de agrupación de prestaciones que, a su vez, consideraríamos niveles de madurez para la consecución de una situación final, aunque más bien deberíamos de decir «aspiracional», en la implantación y adopción de un SI de PLM.

2.1. La gestión documental

La primera fase en la implantación de un PLM se refiere a su prestación intrínseca, vinculada a los documentos CAX, que se producen en la etapa de gestación de un producto. Cuando un grupo de personas, en el ámbito de la ingeniería, deben empezar a trabajar conjuntamente formando un equipo asignado y dedicado a la realización de la especificación detallada de un producto, se hacen con una serie de aplicaciones específicas. Habitualmente esta labor se inicia con el diseño con aplicaciones CAS que ayudan a disponer, tempranamente, de una definición esquemática —mediante esbozos 2D y de requisitos expresados textualmente—, de una definición embrionaria del producto, es decir, de un anteproyecto.

Posteriormente se van materializando y especificando (digitalmente) los detalles, mediante las aplicaciones CAD, generando así los archivos/ficheros que contienen esa definición. El resultado final de esta etapa, sería la definición (digital) en 3D del producto.

Tradicionalmente, tras las fases anteriores, se efectuaban las pruebas (físicas) de verificación mediante ensayos de prueba. Esto era así, eminentemente, cuando la definición no era ni digital, ni existía una representación 3D. Conforme esta situación fue cambiando, y se dispuso de modelos 3D a partir de los cuales se podía generar una malla suficientemente representativa del modelo, se fueron introduciendo aplicaciones CAE, con las que se efectuaban unos cálculos iniciales (de resistencia) estructural.

La precisión y fiabilidad que estos cálculos fueron proveyendo, junto con la ampliación de la tipología de cálculos (de fluidos, de compatibilidad electromagnética, etc.), fomentaron que la profusión de documentos/archivos/ficheros generados aumentara, con la consecuente complicación para disponer de una verdadera, por completa y exhaustiva, visibilidad sobre cuáles eran las relaciones y vinculaciones entre cada una de las diferentes versiones e iteraciones de cada uno de los documentos.

El PLM, aunque tiene una aspiración de cubrir todo el ciclo de vida del producto, centra sus esfuerzos en cubrir los aspectos claves que se producen al inicio, durante la conceptualización del producto.

2.2. Piezas frente a documentos

Uno de los primeros asuntos que cabe considerar, ante la implantación de un PLM, es la clara distinción entre los conceptos de pieza o componente (o *part*, en inglés) de documento o archivo o fichero, pues es habitual que se confundan y se suponga que ambos son lo mismo o que representan lo mismo. Y, aunque a veces pudiera suceder, en la mayoría de las ocasiones tienen significados distintos.

La actividad de la ingeniería de diseño tiene como objetivo, entre otros, acabar brindando una detallada y exhaustiva definición del producto por realizar. Luego deberá de fabricarse, o ensamblarse, y distribuirse y/o mantenerse. Pero todas estas consecutivas responsabilidades beben de una fuente (de información) común, que sería el PLM, en el caso de que hubiera un único SI que lo fuera.

En cualquier caso, o realidad de SSII en la empresa, independientemente de ello, deben fijarse, nominarse, y representarse cada una de las partes en las que se descompone el producto que, posteriormente, se realizaran como piezas del conjunto que conformará el producto final real (en contraposición a digital).

Esto ya sucedía cuando la representación, que al tiempo era especificación de detalle, se efectuaba mediante planos de papel, o vinilo, en vistas 2D. En aquella época la representación gráfica primaba y las indicaciones referenciales se adjuntaban mediante el clásico cajetín al margen (figura 3).

Figura 3. Cajetín

3	EJE EXTREMO CILINDRICO		B-10	2	ISO R715:1969	SAE 1010	23		
2	CUBIERTA		C-7	2	DIBUJO N° 143.567.20	ACS	17 NCh209		
1	CAJA		A-1	1	DIBUJO N° 143.502.01	ACS	51 NCh209		
N°	DESCRIPCION		COORD.	CANT.	REFERENCIA	MATERIAL	kg OBS.		
MODIFICACION	N°	1234	1245			REEMPLAZA A DIBUJO N°	143.567.02		
	FECHA	92.07.19	92.07.20			REEMPLAZADO POR DIB. N°			
	FIRMA	G.S. 1	A. 2						
ACABADO SUPERFICIAL Ra en μ mm		SOLDADURA SIMBOLOS		TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMETRICAS NO INDICADAS		TRATAMIENTOS TERMIC.y/o SUPERF.			
N9, (N7, N5)		NCh 1334		NCh 1630-mK		NCh 2203			
	DIBUJO	REVISO	APROBO	FORMATO	UNIDAD DI- MENSIONAL	ESCALA			
FECHA	92.07.02	92.07.09	92.07.12	A 3	mm	1:5			
NOMBRE/FIRMA	G.GATICA S.	F.CABROL G.	L.HERRERA V.						
RITTA S.A.				CONJUNTO REDUCTOR				HOJA	INDICE MOD.
								N°	N° 143.567.10
							② 5		
							③ 6		

Figura 9 - Ejemplo de la figura 8 completado

Fuente: <https://www.mvblog.cl/2012/04/08/dibujo-tecnico-formato-de-marco-de-rotulacion-vineta/>

Adicionalmente, durante el proceso de liberación y congelación a una fecha determinada de la pieza, se debían realizar una serie de trámites de gestión que comportaba adjuntar un expediente con documentos, en papel, que protocolizaban el registro de la pieza, en el departamento responsable de gestionar la documentación oficial del producto. Era al que, luego, el resto de departamentos se dirigían para disponer de la documentación oficialmente liberada. Durante esta transición se vivenció algo muy interesante: un término como «original» indicaba que el documento original es/era el que, físicamente, se encontraba en la ubicación donde los planos se archivaban. Era un lugar de acceso restringido y su soporte físico se realizaba en vinilo para, precisamente, preservarlo mejor.

Por lo tanto, «original» era el documento que se encontraba almacenado en el origen. Con la transformación a la digitalización, la palabra «original» permaneció, pero su significado se trasladó a un servidor (en el sentido de ordenador especializado) donde se guardaba el documento digital que contenía la detallada descripción. En cambio, la fecha como determinante de indicación del progreso o evolución cayó en favor de un número o indicación de orden, que suele denominarse como revisión. Lo digital propiciaba algo que antes era improbable que ocurriese: que en un mismo día se liberasen dos o más planos.

La aparición del modelado mediante aplicaciones digitales comportó no solamente el paso de la representación 2-dimensional a la 3D, sino que, además, todas las referencias, administrativas y técnicas, también se digitalizaron. Este fenómeno comportó que algunas prácticas ejercidas durante el desarrollo se transformaran y otras surgieran como consecuencia.

Por ejemplo, la aparición de los archivos electrónicos equiparó, inicialmente, el plano papel a un documento, pero la progresiva sofisticación que las aplicaciones de modelado introdujeron permitió que el número de documentos que se fuesen generando de una pieza o conjunto aumentara exponencialmente. Ello comportó que las diversas iteraciones, fueran modificaciones temporales u oficialmente definitivas, también tuvieran que almacenarse sin un equivalente previo. De ahí surgieron términos, y sus correspondientes significados, como por ejemplo, revisión o versión y/o iteración, que buscaban representar de una forma inequívoca un estado de avance del desarrollo, incluso estableciéndose una jerarquía en los términos. Así pues, la revisión o versión es ahora una versión de documento que contiene un estado liberado (*released*) del contenido y, en cambio, una iteración es un grado de avance, que se refleja en el documento y que debe ser identificado, pero que no tiene por qué comportar una liberación y su posterior comunicación.

La transformación digital de las empresas hace tiempo que se inició con la incorporación de las herramientas digitales como soporte a la definición del producto.

Fue todo un reto para la gestión de la ingeniería pues, de hecho, lo que acabó sucediendo fue que muchas tareas administrativas, que requerían de la firma de la persona responsable, acabasen incrementando la dedicación, no productiva, de estas a tareas de gestión, en menoscabo de las actividades de ingeniería propiamente dicha. En cualquier caso, comportó que se tuvieran que establecer unos protocolos y mecanismos muy estrictos para que la paulatina automatización pudiera ir soportándolo y propiciando que la diferenciación entre pieza y documento aumentase.

Por todo lo anterior, la primera consideración —y prestación— que podemos hacer de un sistema PLM es que es un **gestor documental especializado, o enfocado, a las particularidades de la ingeniería**, debido al hecho de que los documentos que el sistema debe manejar no son de base textual sino gráfica y esa particularidad obliga a que un PLM ha de saber «leer» en el interior de esa tipología de documentos y extraer informaciones relevantes desde la perspectiva de la gestión. Es decir, la gestión de la metainformación (la información en los SSII que se refiere a la propia o intrínseca información, gráfica en este caso) deviene lo relevante, desde la consideración de qué se está almacenando y qué representa (o representará).

Y, como ya hemos apuntado, la labor de gestación de un producto no es una actividad que se realice de forma autónoma, sino que requiere que distintas personas, con roles y/o dominios disciplinarios distintos, colaboren y, en la mayoría de las ocasiones, hallándose dispersos por distintos edificios y/o ubicaciones. Por lo tanto, el SI del PLM debe ser capaz de albergar esas particularidades del argot específico de cada subdisciplina para que cada individuo sepa identificar y referenciar, entre la colectividad y la disparidad, qué objetos (sus documentos y su metainformación) pertenecen a qué otros colectivos.

Es relevante indicar aquí que el reto de implantar (y comprender exhaustivamente) un PLM parte del propósito de aunar, de una forma homogénea, una heterogénea y dispar forma de representar algo que no existe, pues lo estamos gestando, y que se suele contraponer al resto de actividades, procesos y responsabilidades que conviven en una empresa, sobre todo aquellas operativas y administrativas. Por ello, habitualmente se pretende comparar a la puesta en marcha de un SI para la gestión empresarial (habitualmente nominado con el acrónimo de ERP o *Enterprise Resource Planning*) que tuvo, y tiene, el propósito de armonizar todo un conjunto de actividades y procesos dispares que se gestionan en las empresas, pero que es más fácil, pues son actividades que se refieren a realidades tangibles y más fácilmente identificables.

Veremos, en el siguiente apartado, como este aspecto de la gestión de la gestación se contraponen a la gestión de las operaciones y su reflejo administrativo, pues es en la gestión de las piezas donde sucede el solape, o transición, de la definición a la realización. Aun cuando ese reflejo de la realidad, en los ERP, también está digitalizada con los consecuentes conflictos entre la realidad tangible y la realidad digitalizada reflejada.

Como conclusión del apartado podríamos aseverar que esta fase de implantación de un PLM podemos nombrarla como TDM, tal y como definimos al inicio.

El apoyo de la necesaria colaboración entre las personas que participan durante la fase de gestación de un producto es uno de los fines principales de un PLM.

2.3. La gestión de componentes (o BoM)

La principal responsabilidad del área de ingeniería se corresponde con la información final que detalla en forma de lista o conjunto de piezas o partes (*part*, en inglés) de las que se va componer el producto. No solo gráficamente, con el modelado 3D, sino también de todos los componentes, se hayan o no dibujado. Es decir, entregar un listado detallado y exhaustivo, jerarquizado en grupos principales y subconjuntos, de cada uno de los componentes, junto con sus repeticiones, si las hubiera, de los que se compone/estructura el pro-

ducto final. Esta lista jerarquizada sería el final del proceso de gestación y se consideraría el principal entregable de la actividad o responsabilidad del área de ingeniería.

Desde una perspectiva de cadena de valor empresarial, la inversión monetaria y temporal que se ha abocado a la ingeniería tiene el propósito de proveer al área operativa (como sería una fábrica, en el caso de una empresa de producto) de la «lista de la compra» de los materiales o componentes que deben adquirirse para producir los bienes esperados. Por lo tanto, disponer de una inequívoca lista de materiales era, y es, el principal objetivo. Tradicionalmente, antes de la intensificación de las tareas de ingeniería, a esta lista de compra se la denominaba lista de materiales, pero con la gran influencia de las lenguas sajonas, se fue acuñando la denominación *Bill of Materials*, en inglés (o BoM). Por ese motivo, el siguiente gradiente de complejidad (también en la implantación) de un SI para un PLM es el abordaje de cómo se intercambiará y/o transferirá esa BoM desde el ámbito de la gestación (y su gestión en el PLM) a la administrativa y operacional (y su reflejo en la gestión del ERP). Tradicionalmente esta actividad se realizaba manualmente, es decir, en un papel que documentaba la liberación (*releasing*), pero, además, esa realidad reflejaba otra cuya incidencia actual es mayor.

En los principios de la implantación de la ingeniería como un área de responsabilidad particular en la empresa, la cantidad de diferentes proyectos que un área de ingeniería podía cubrir era, eminentemente, pequeña. Uno o dos proyectos complejos a lo sumo para una realidad social y económica en la que la cantidad de productos nuevos que se generaban eran pocos y con la aspiración de que, durante el tiempo que permaneciesen invariantes y vigentes, fuera el mayor posible. Eran tiempos «lentos», donde la calidad primaba sobre todas las cosas.

Posteriormente, con la presión de ganar cuota de mercado, se intensificó la presión sobre el área de ingeniería para producir más modelos, muchas veces con la apariencia de nuevos, aunque, intrínsecamente, eran remodelaciones (*facelift* o lavados de cara) externas dado que internamente permanecían inalterados. Se inició, hacia mediados de los 90, una urgencia por ser innovadores principalmente en el producto.

Todo este fenómeno convino en una nueva realidad para la ingeniería que reclamaba más por menos. Es decir, más productos en menos tiempo (aunque no siempre con menos ingenieros), lo que supuso todo un reto y un estrés que aumentaron la presión por adoptar las tecnologías digitales en todas las fases, tanto las del diseño, como las de desarrollo y, también, en las pruebas de evaluación o test, tanto en la autoría como en la gestión. Se producían más documentos que nunca, con mayor diversidad, con mayor disparidad. La presión por entregar aumentó hasta tal nivel que empezaron a solaparse actividades que, anteriormente, eran diferenciadas. Se empezaron a implantar técnicas de ingeniería simultánea, donde no solo distintas disciplinas del diseño conver-

gían, sino que también las áreas de ingeniería de los procesos de fabricación adelantaban su conocimiento sobre el producto y sus particularidades, antes de que el producto estuviera completamente liberado (*released*). Supuso todo un desafío, aunque fue posible, ya que, al disponer del modelo en formato digital, su compartición era factible, a un coste de transferencia asequible. El precio de los ordenadores y el coste del almacenamiento y transmisión de los documentos no dejaban de disminuir, por lo que hacía factible que la ingeniería simultánea se apoyase en el despliegue de las herramientas digitales como verdadero soporte. Pero, como contrapartida, reclamó disminuir la flexibilidad que hasta el momento imperaba e hizo que la sistematización en el desarrollo se implantara, y obligara, mediante los SSII.

Por ello, la adopción de un PLM como SI de soporte al proceso de gestación alcanzó su cénit a principios del siglo XXI en las grandes corporaciones de productos industriales, desde el sector aeronáutico y ferroviario al sector de automoción, por no olvidar todas aquellas empresas que, además, se enfocaban al ámbito de la defensa, con los niveles de exigencia extremos que dicho ámbito reclamaba y sigue reclamando.

Fue en ese momento cuando se empezó a realizar el verdadero sentido de la «L» de un PLM, es decir, de dar cobertura a todo el ciclo de vida del producto, desde la conceptualización hasta su retiro o desmantelamiento. Hoy, con el advenimiento de la economía sostenible o circular, lo señalaríamos más bien como *cradle to grave engineering* (C2G). Es decir, en las fases tempranas del diseño deben de contemplarse aspectos que después, durante la etapa de servicio, serán críticos.

La información que se recopila en un PLM sobre un producto, debería tener vigencia y relevancia a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, no solo durante la etapa de gestación.

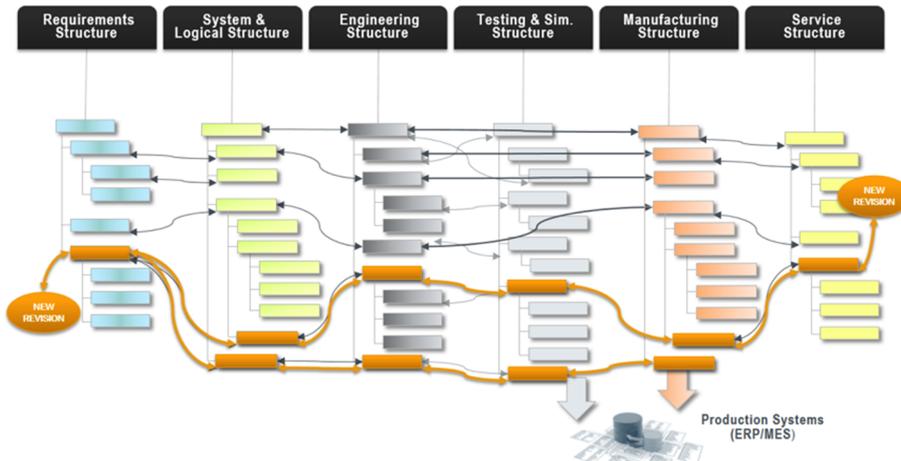
Este enfoque de anticipar todas las situaciones o escenarios ante los cuales el producto se verá sometido, se ve acrecentado por las tecnologías de la IoT (*Internet of Things* o Internet de las Cosas) y el creciente fenómeno de la servicialización, como el exponente económico, que un número creciente de empresas está adoptando como modelo de negocio. La servicialización del producto como exponente de la empresa obliga, y con mayor intensidad, a que la ingeniería no solo contemple el proceso de gestación sino también, y de forma ineludible, el proceso de servicio. Es un asunto que revisaremos al final del capítulo.

De hecho, algunos ponentes empiezan a afirmar que **IoT es igual a PLM** (Bar-kai, Joe, 2017; PLM Portal, 2015), es decir, la implantación de un SI que dé cobertura al IoT de la empresa pasa, indefectiblemente, por dotarse de un PLM que brinde (a lo largo de todo el ciclo de vida) toda la información específica-

tiva y administrativa del producto, para que pueda combinarse convenientemente con la información operativa de cada una de las instancias del producto «en campo» o en casa del cliente.

En cualquier caso, lo relevante y trascendente, para un PLM, tras la gestión documental, será la gestión de las distintas BoM. En la figura 4 podemos ver las distintas formas, o agrupaciones, que puede ir adoptando la BoM de un mismo producto, a lo largo de su tiempo de vigencia.

Figura 4. Las distintas versiones de la BoM



Fuente: PTC, BoM Management

En la figura 4 vemos que existe una jerarquía. Es importante destacar que esta lista jerárquica es de piezas y no de documentos. A pesar de ello, suele haber una cierta correlación y, a grandes rasgos, la descomposición de componentes que forman parte del producto tiene una estructura similar a la jerarquía de documentos que definiría, gráficamente, el producto completo y final. También es importante señalar aquí que esa descomposición no es de tareas. Como ya avanzamos, el conjunto de actividades que conjuga un producto, y que denominamos proyecto, se descompone e interrelaciona de forma análoga, pero no igual, a como lo hace la estructura de producto. Cada fabricante establece unos momentos significativos durante la gestación de su producto, mediante unos hitos relevantes de control, en su plan de proyecto y los nombra de forma identificativa. Tomando como base los hitos que pueden observarse en la figura 4 vemos que para cada instantánea dispondremos de una lista BoM diferente y creciente.

Como es consustancial a un desarrollo, vamos a ir aumentando progresivamente el número total de componentes que especifican el producto y, otras veces, volviendo hacia atrás en lo progresado, es decir, partiendo de versiones anteriores para desarrollar nuevas versiones. En definitiva, la formalización de la técnica básica de «prueba y error» que reflejaremos en los protocolos de cambio que veremos más adelante.

Por lo tanto, en la gestación necesitaremos ir identificando:

- Las piezas que forman parte del producto.
- El grado de avance, con su versión e iteración.
- A qué agrupación, o hito de proyecto, se asocia esa pareja pieza/versión con el resto, para establecer cuál es la descomposición total del producto.

Esta evolución de las listas BoM implica que para cada metodología de desarrollo dispondremos, retrospectivamente, de distintas BoM. A pesar de que en la figura 4 aparezcan muchas más, en esencia podemos resumir que las relevantes son:

- La BoM de requisitos (o rBoM).
- La BoM de ingeniería (o eBoM).
- La BoM, que se inició originalmente, de fabricación (*manufacturing* o mBoM).
- La BoM que refleja las configuraciones comerciales (*commercial* o cBoM).
- La sBoM de servicio, que refleja las piezas recambiables (o *service*).

Todas estas listas BoM se deben mantener al mismo tiempo y para ello un SI de PLM se hace imprescindible, pues para productos que se descomponen en muchas piezas hay que gestionarlas todas; no tanto al principio de la gestación, pero sí que se observa esa necesidad al final de desarrollo. No hay una regla o consenso sobre el número de piezas a partir de las cuales se haga exigible, pues depende mucho de la idiosincrasia de la empresa, pero podemos poner como indicación que un producto que se descomponga en más de 2.000 piezas ya sería susceptible el uso de un PLM, teniendo en cuenta que un coche rondaría las 30.000 (Toyota, s.f.).

Para un fabricante es clave tener un control exhaustivo y fehaciente de las piezas en las que se descompone su producto y de cómo esta lista de control se va alterando a lo largo del tiempo.

Recapitulando, nos encontramos que como mínimo hemos de gestionar, a lo largo del tiempo, tres dimensiones de listas diferentes, evolucionables y jerarquizadas, para representar todos los matices del producto junto con su proyecto de llevarlo a término, con su realización y servicialización, si procede. A modo de resumen, podemos establecer que dispondremos de:

- La lista de documentos, para especificar las limitaciones mediante los documentos CAx.
- La lista de piezas que especifica qué piezas componen el producto, tengan o no representación gráfica.
- La lista de hitos temporales en la que iremos agrupando y nominando las anteriores listas de piezas.

Toda esta gestión de listas no puede llevarse a cabo sin el soporte de un PLM. Cuanto más complejo y versionable es el producto, más relevancia toma la dimensión de la complejidad —o dimensión *Y*—, y cuanto más singular es el producto, más relevancia toma la dimensión temporal —o dimensión *X*—, si tomamos como referencia la figura 4.

Teniendo en cuenta que todo este esfuerzo de gestión tiene el propósito de servir de especificación y referencia al resto de departamentos de la empresa, con la implantación de un PLM vamos a conseguir disponer de una única fuente de la verdad sobre la evolución del producto, en la que se recopilará toda la información de los cambios que se han producido sobre alguna de las variantes que el producto experimentó, aunque alguna de ellas nunca progresara y no llegase a «nacer» como producto realizado.

Adicionalmente, a la visión tradicional del producto como algo físico, tenemos que incorporar nuevos componentes al producto que obedecen a unas lógicas distintas de las habituales. La paulatina incorporación del software como parte del producto, sobre todo refiriéndonos al que va insertado (o incrustado, o también erróneamente denominado embebido, del anglosajón *embed*) en los componentes microelectrónicos del producto. Estos componentes también realizan funciones u ofrecen prestaciones como partes indisolubles del producto.

Como podemos ver en la figura 5, el desarrollo del software (SW) ofrece una lógica evolutiva ligeramente distinta a la del hardware (HW) aunque siguen procesos similares, como cualquier otra ingeniería.

Figura 5. La integración continua



Fuente: Elaboración propia, Carlos Cosials

Este es un ejemplo más de la conjunción de disciplinas que ya se inició con la ingeniería simultánea y que ahora irrumpe de pleno en la gestación de productos, de tal forma que incluso trastoca la propia concepción o metodología de la gestación.

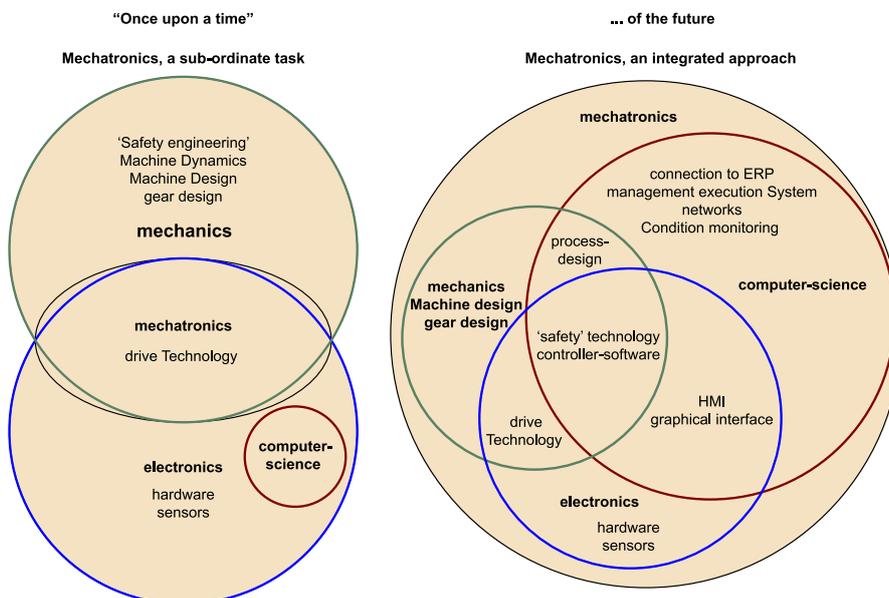
Para el caso del desarrollo del software (SW), las áreas de ingeniería de los fabricantes fueron creando departamentos de desarrollo específicos. Inicialmente estaban segregados porque se trataba de una tecnología que se agregó poste-

riormente al desarrollo, pero paulatinamente se han ido incorporando hasta el extremo de que, a día de hoy, podemos considerar que la posición se ha invertido y el SW es el componente principal que define el carisma de un producto.

La incorporación del SW dio lugar a una nueva disciplina, entendida como la gestión de la integración de las diferentes disciplinas. En su momento, hace una década, se acuñó el término de *mecatrónica*, por la fusión de la mecánica y la electrónica, en los productos resultantes. Esta perspectiva, que podemos observar en la figura 6, tenía la relevancia, desde la ingeniería, de ceder el control del comportamiento de la máquina a la electrónica y permitiendo que la complejidad de los mecanismo quedara suscrito a componentes mecánicos más sencillos o como mínimo más modulares, que permitiera, a su vez, inicialmente el reaprovechamiento del diseño, más las posteriores actividades de compra y ensamblaje.

Este enfoque mecatrónico del producto fomentó unos incipientes diseños modulares del producto, ya que se buscaba que el gobierno completo de la máquina pudiera descomponerse en funcionalidades identificables y, además, propició la explosión y expansión de las configuraciones potenciales y finales en las que una versión del producto podía devenir.

Figura 6. La mecatrónica



Fuente: ITQ GmbH

En consecuencia, el SW, que se incorpora a formar parte del producto siendo el componente que se adhiere o inserta a la electrónica de control y monitorización, sigue también sus propias reglas evolutivas, con cierta independencia de la parte HW que le sirve de soporte y actuación.

En esta situación, lo que ha ido sucediendo es que las prácticas habituales en el desarrollo del SW nunca contemplaron, de forma inherente, que su disciplina acabase gestionando máquinas, sino que la tradición en el desarrollo de

los SI, como bien dice su nombre, se había ido perfeccionando hacia el manejo de la información y su correcto tratamiento. Pero ahora resulta que la información es poder de actuación y de comportamiento. Podemos encontrar un ejemplo patente actual en los coches autónomos y su conducción autopilotada. La consecución de ese producto y la prestación de su servicio se han conseguido a base de la integración de las distintas disciplinas. He ahí, pues, el reto de diseñar y producir ese tipo de producto y su consecuente servicio de una forma totalmente previsible e industrializable.

La incorporación del SW comporta terminología y prácticas propias. Aunque sigue descomponiéndose en partes y la aproximación modular es igualmente posible, su altísima capacidad de ser alterado le permite al SW y al código fuente unos ciclos muchísimo más cortos y, en consecuencia, produce que su acomodación a las servidumbres del HW generen cierto desencaje o dificultad para ser gestionados. Este reto se hace patente en la gestión del área de ingeniería e incrementa la necesidad de disponer de un SI de PLM que, a su vez, incorpore la gestión integral del SW integrada con el resto de componentes HW, que en algunos ámbitos se denomina el ALM, o *Application Lifecycle Management*.

Como podemos ver en la figura 7, cada nodo «master» representaría una iteración/versión de un conjunto de ficheros de código fuente, en azul, que representan y reproducen, en tiempo de ejecución, el funcionamiento de cada uno de las prestaciones incorporadas.

Figura 7. La gestión del SW



Fuente: <https://stackoverflow.com/questions/39382431/git-equivalents-to-codeline-and-baseline>

La mecatrónica es una metodología multidisciplinar que se aplica de lleno en la gestación de los productos inteligentes.

Todo este fenómeno de aumentar las prestaciones obedece a una dinámica mayor donde las empresas están mutando de *brand centric* a *customer centric* debido a la sobreoferta de productos en general y a los cortos ciclos de adopción

por parte de las nuevas generaciones de consumidores. Esta transformación está siendo impulsada por la disponibilidad de herramientas digitales en cada uno de los ámbitos que se orquestan en el diseño: las empresas, con sus SSII; las personas, con sus *smartphones* ubicuos; y, ahora, las máquinas, con el *IoT*. Todo lo potencialmente digitalizable y transferible es digitalizado, y trastoca las relaciones: en la empresa, en cómo las personas trabajan y colaboran; con los clientes, en cómo se interacciona y conversa con ellos; y con los productos diseñados, en cómo se conoce su verdadero uso y comportamiento, mucho más allá del acotado dominio del laboratorio donde el producto se sometió a las pruebas de evaluación que confirmaban el cumplimiento de los requisitos preestablecidos.

Ahora impera un enfoque *customer centric* donde el usuario acepta, por el influjo del SW y las ubicuas Apps alojadas en sus *smartphones*, que algunas funcionalidades no estén del todo completas o, dicho de otra manera, el usuario, más que cliente, tiene la expectativa de un devenir de nuevas prestaciones que se van añadiendo a las anteriores, con lo que se incrementa la percepción del valor de una forma paulatina.

Es un reto relativamente fácil de sostener cuando el producto es eminentemente SW, pero es difícilmente conseguible, y asumible, cuando el producto es exclusivamente HW. Y aún más: es difícil de gobernar, a lo largo de su gestación, cuando es un serviproducto, es decir, una virtuosa combinación de HW y SW que se apoya en una plataforma SW anexa y cuyo global entregado facilita la servicialización como *modus operandi* de la empresa y su correspondiente modelo de negocio.

En resumen, en este apartado hemos visto que la gestión de la gestación de un producto se basa en la precisa gestión de sus listas de componentes y que esta no finaliza con la salida del producto de las instalaciones del fabricante, sino que continua mientras el producto está en uso.

2.4. Gestión de cambios

Una de las prestaciones acumuladas que nos encontramos en un PLM y que acostumbra a ser uno de los mayores puntos de fricción en las organizaciones que lo adoptan es la instauración de un mecanismo formal, estricto y sistemático, de refrendar la gestión de los cambios que se suceden evidentemente a lo largo del desarrollo y también a lo largo de la vida útil del producto. La referencia a la evidencia de los cambios en la gestación no siempre se entiende y, muchas veces, se confunde el rigor con el que debe gestionarse el cambio intrínseco en la ingeniería, con la inflexibilidad al cambio o rigidez. A lo largo de cualquier proceso de desarrollo es «natural» que surjan conflictos entre distintas partes del producto.

De hecho, el reto inherente a la ingeniería es ir evolucionando en la especificación y detalle, e ir encontrándose con las dificultades en suplir las prestaciones esperadas e indicadas en el pliego de requisitos. Por esta razón, el cambio, sea por progreso en el detalle o por el conflicto en el que entran distintas partes, acaba aconteciendo. No se ha de eludir, se ha de gestionar y de forma rigurosa. Por ello, la gestión de los cambios es una prestación intrínseca a un PLM.

Otro aspecto no baladí es que la gestión de cambios representa un conflicto que hay que dirimir y tratar adecuada y convenientemente; un conflicto que se sucede entre las personas que participan en el desarrollo y que deben negociar cuál es la compensación que debe fijarse en la resolución del conflicto.

A modo de ejemplo, una persona del área de electricidad requerirá de un agujero en la chapa para poder llevar su cable desde el punto de consumo hasta el elemento electrónico de control. El responsable de ese componente de chapa no habrá contemplado el agujero, pues no lo necesita para su exigencia de rigidez, y seguramente de inicio será reticente a introducirlo, mientras no reciba una exigencia. El resultado final de diseño y su representación en la chapa y el recorrido del cable que acabe aplicándose será la muestra del consenso conjunto que se habrá alcanzado.

Este simple ejemplo es una muestra mínima de los cientos de miles de conflictos que resultan en el desarrollo y que, a grandes escalas, son inabordables de forma manual, entendiendo esto como el hecho de realizarlo sin el soporte de un SI que refleje y formalice esta forma de proceder. Es decir, la política establecida como reflejo de la cultura de la empresa de cómo se gestionan los cambios es clave en el despliegue de un PLM.

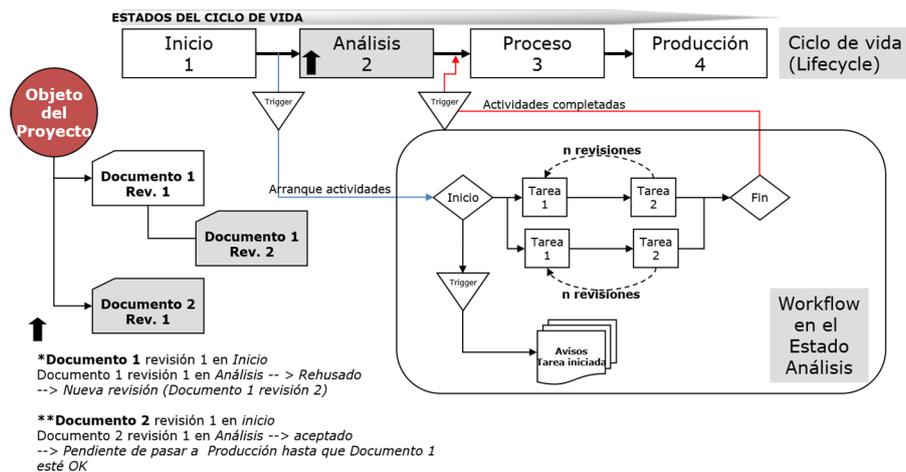
En general existen distintas acepciones y denominaciones sobre cómo suelen denominarse los cambios de ingeniería, pero la más habitual suele ser peticiones o notificaciones. A partir de esta «denuncia» se deberían desencadenar toda una serie de pasos, preestablecidos, de cómo y quién debe ser informado de la solicitud. Esta petición debe ser analizada y sometida a un proceso de triaje para determinar si debe procederse a realizar algún cambio, reflejarlo y que la nueva resolución devenga en una nueva versión/iteración de los componentes que deba ser autorizada y oficializada mediante su correspondiente protocolización documental.

Habitualmente este comportamiento previsible y regulado se muestra en forma de un flujograma (o *workflow*), donde se preestablecen los diferentes estadios en los que se puede encontrar uno de los componentes sometidos al proceso de revisión. En estos flujogramas también se representa qué áreas (o personas) deberán estar informadas o serán requeridas para una participación explícita en el proceso de consenso que se haya iniciado tras una notificación.

De esta forma podemos ratificar desde una visión global y particular, a un tiempo, en qué situación del ciclo de vida nos encontramos y qué acciones se han efectuado hasta el momento para alcanzar la situación actual.

Como podemos ver en la figura 8, hay dos evoluciones a gestionar: la del avance del documento o pieza a la que se refiere el producto y la de la previsión de acciones por desencadenar, que hay que efectuar tras una notificación y que habrán sido de obligado cumplimiento para alcanzar el siguiente estadio en el previsto ciclo de vida.

Figura 8. Ciclo de vida y flujogramas



Fuente: Elaboración propia; Carlos Cosials

Este rigor en la trazabilidad de los cambios se convierte en una exigencia según en qué sectores que, adicionalmente, se rigen por normativas específicas. Por ejemplo, la exigencia del cumplimiento de la FDA (*Food and Drug Administration*) de EE. UU. para los dispositivos médicos, o las propias que actúan en los productos aeronáuticos y/o navales, por no dejar de indicar aquellas específicas para al ámbito militar.

En resumen, los cambios son consustanciales al desarrollo y no pueden dejar de gestionarse, pues son parte del proceso de gestación y, en una creciente mayoría, estos cambios deben de registrarse para posteriores trazabilidades.

En un PLM sobre todo fomentamos y damos cobertura a dos aspectos: uno, la reutilización y, otro y más importante, el soporte de la colaboración entre todos los participantes y las disciplinas y tecnologías que representan.

2.5. Gestión modular

Como ya hemos apuntado en el apartado de la gestión de componentes (o BoM), la paulatina incorporación de distintas tecnologías a la mecánica original ha ido configurando los productos como mecatrónicos, y ha inducido

un proceso de modularización. Con este enfoque, el producto resultante tiene una mayor versatilidad en las prestaciones brindadas, a la par que infiere que la arquitectura del producto se estructure como un conjunto de opciones aplicables, según los módulos activables, e interconectables entre sí y entre los distintos componentes.

Este reaprovechamiento de módulos, que inicialmente se busca en las etapas primeras del despliegue de un PLM con la reutilización y reaplicación de componentes (por ejemplo, la tornillería), se extiende posteriormente con la gestión modular o por subsistemas, en tanto se haya conceptualizado el total de la máquina (por ejemplo, el suministro y control de potencia) como un sistema que interrelaciona los distintos subsistemas o módulos.

Es importante señalar aquí que esta descomposición de alto nivel tiene, a su vez, dos miradas: la de ingeniería o de componentes válidos verificados y la comercial o de componentes recambiables autorizados. Ambas perspectivas deben convivir a lo largo del ciclo de vida del producto y deben gestionarse como dos realidades interrelacionadas que, al tiempo, pueden ir evolucionando con las distintas versiones de cada una de las gamas o líneas de producto.

Esta exigencia adicional a la ingeniería comporta que las etapas de conceptualización del sistema sean más relevantes, a la par que exigentes, pues obligan a plantear una visión total del conjunto (sistema) y sus partes (subsistemas o módulos) sin disponer del detalle que valida la completitud y exactitud habitualmente exigidas.

Esta necesidad de gestionar e identificar los distintos módulos nos obliga a introducir mecanismos de identificación y asignación que permitan reflejar la agrupación enfocada de todos los componentes multidisciplinares de la estructura del producto que, desde una perspectiva meramente estructural, se habrían agrupado siguiendo una lógica espacial o material.

Solo cabe añadir que estas nomenclaturas acostumbran a ser genéricas y se aplican, según sea el proyecto o línea de producto al que se estén refiriendo, para poder identificar las evoluciones del concepto base de aquellas especificaciones o ajustes que se hayan introducido en la variante concreta.

2.6. Gestión de opciones y variantes

Como hemos ido viendo, la presión comercial por ofrecer un abanico de productos amplio, con extensiones a distintas gamas o líneas de producto, introduce un alto nivel de exigencia en cuanto a los procesos, o protocolos, de documentación de las potenciales configuraciones de producto. Se ha cambiado el foco y ahora no es la aspiración fabricar millares de unidades iguales con

apenas desviaciones, sino a promover una venta masivamente personalizada, de tal forma que el cliente/usuario final tenga la percepción de disponer de un producto cuasi único.

Esta visión es muy interesante y atractiva comercialmente, pero no está exenta de riesgos, ya que se dispone de menos tiempo y menos evidencias para comprobar el comportamiento futuro de cada uno de los componentes y, menos aún, para el conjunto completo ensamblado. En el caso de los productos de consumo, como vehículos o electrodomésticos, que responden a una lógica ATO, la renovación de la gama es constante, pero se reduce la incertidumbre gracias a la reducción de las infinitas combinaciones potenciales fabricables, para disponer de un subconjunto de variantes verdaderamente disponibles.

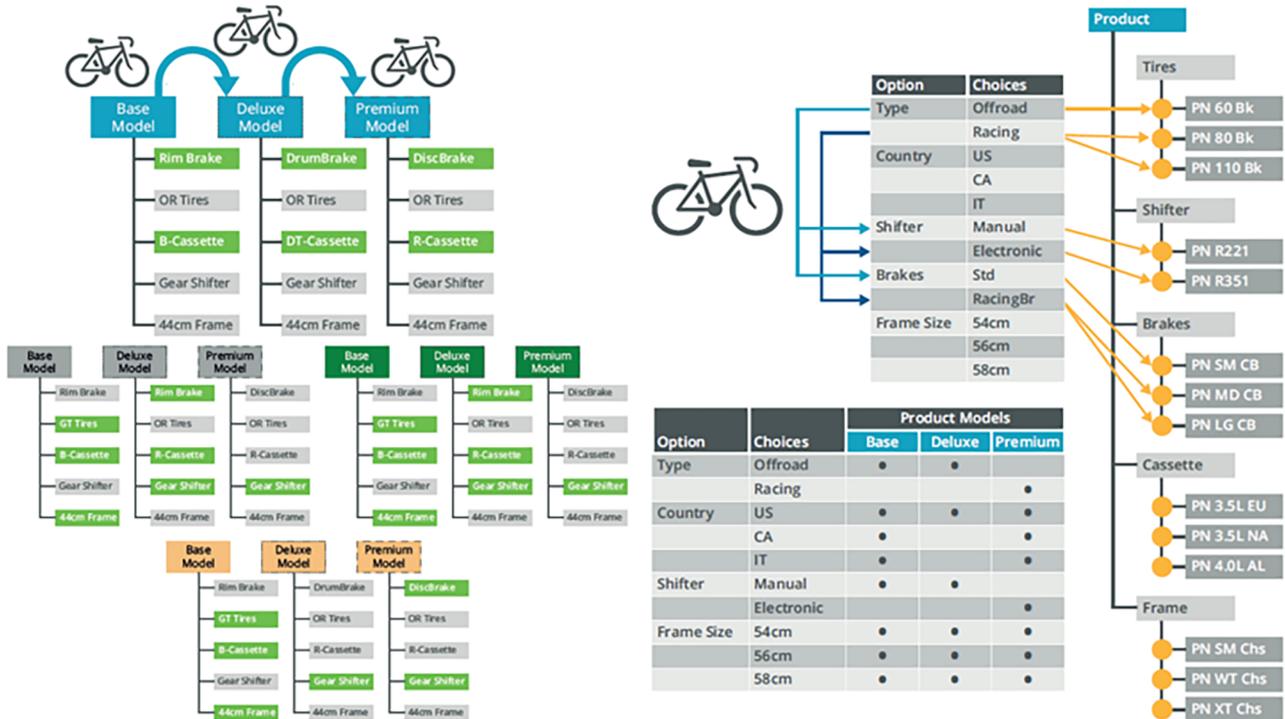
En base a los módulos predefinidos junto con la selección de las opciones aplicables preestablecidas, podemos obtener un largo conjunto de posibles variantes, de las cuales conoceremos todas las interrelaciones y donde habremos reducido o eliminado las interferencias indeseables, tanto desde el punto de vista de la ingeniería como del punto de vista comercial. Así pues, en productos CTO, las potenciales variantes resultantes, como válidas combinaciones de posibles opciones sobre los componentes preexistentes, sean piezas o módulos, son las únicas que deben poder llevarse a término. No todas las variantes serán realizadas *a posteriori* (ensambladas) pero para todas aquellas que sí, la combinación resultante será posible desde la verificación previa que desde ingeniería se habrá introducido en el PLM.

Respecto a las prestaciones para la gestión de opciones y sus variantes, los distintos PLM en el mercado ofrecen distintas estrategias de agrupación de las funciones para ejercer este diseño y control. *Grosso modo* podemos afirmar que existen: (a) una opción básica para establecer sencillas fórmulas de validez y (b) una segunda opción más completa donde poder elaborar complejas fórmulas de aplicación de opciones, disponiendo de un completo diccionario de términos, algunos de los cuales, además, pueden tomar valores entre rangos y/o estar restringidos a un conjunto predeterminado, para construir un completado entramado de opciones.

La presión comercial para disponer de más oferta de producto, aunque sea sobre una base común, es tan fuerte que la ingeniería se ve forzada a pensar en clave de muchos productos a un tiempo.

Como podemos ver en la figura 9, adoptar un enfoque apropiado para la gestión de opciones y variantes mediante un PLM puede ser de gran utilidad para poder ser exhaustivo pero flexible a la hora de configurar el producto, considerándolo más como una plataforma para la explosión de distintas realizaciones de productos dentro de una misma gama.

Figura 9. Comparativa en la gestión de opciones y variantes



Fuente: PTC. BoM Management

2.7. Gestión platamórfica

Y llegamos a este punto de la evolución de los sistemas de gestión, emparejados con la evolución de la oferta de los productos a los que da soporte a lo largo de todo su ciclo de vida, donde los límites del PLM empiezan a desdibujarse. Los PLM surgieron alrededor de los años 90 para dar cabida y solución a muchas de las prestaciones que hemos explicado hasta aquí. En aquella época eran un reto para la gestión, en que la innovación y la incitación a crear nuevos productos se imponían a la calidad, sin menoscabo de ella. Con la irrupción, primero de la Internet, después de la WWW, con el establecimiento de un mecanismo estandarizado de acceso a contenidos y, últimamente, con la penetrabilidad y ubicuidad que proporcionan las tecnologías de transmisión móvil, se está alterando significativamente el panorama de la oferta de productos para devenir serviproductos basados en una conceptualización sistémica platamórfica, referida tanto al producto físico como a la plataforma de servicio.

Por tanto, el reto para la ingeniería de producto pasó de ser el cumplimiento exhaustivo de una serie de exigencias, expresadas en forma de requisitos, a vislumbrar una serie de componentes modulares y acoplables entre sí, a los cuales toca añadir, ahora, las prestaciones «soft» que permite el SW insertado más la plataforma digital, alojada en la nube y accesible mediante servicios web.

A modo de ejemplo gráfico, observemos un «producto» recientemente lanzado al mercado como Viuho (www.viuho.com) e ilustrado en la figura 10, de la que destacamos sus tres principales componentes que conforman el total de su oferta:

- 1) El producto o dispositivo que da nombre a la plataforma/servicio completo.
- 2) La App que permite al usuario interactuar con el dispositivo más allá del único botón de emergencia que incorpora el producto.
- 3) La plataforma alojada en la nube y que dispone de un sitio web para acceder y canalizar las alarmas generadas desde el dispositivo.

Figura 10. La plataforma Viuho



Fuente: www.viuho.com

En este ejemplo observamos claramente como la conceptualización del producto ha sido ideada como sistema o serviproducto final. En este ejemplo vemos que el funcionamiento de cada una de las partes, o subsistemas, va a requerir de una sistemática que se refleje en un solo sistema de gestión de la ingeniería o PLM, donde, además de los componentes tangibles, o físicos, se contemple la de los componentes SW, tanto en el dispositivo, como en la App o el sitio web.

Las plataformas son el nuevo producto que las empresas deben fabricar.

2.8. Gestión del proyecto

Evidentemente, para el proceso de gestación de un serviproducto, debemos adoptar un enfoque de gestión de proyectos, pues se cumplen los principios básicos para referirnos a un proyecto: gestión dedicada durante un periodo de tiempo limitado más la asignación de una cantidad predeterminada de recursos gestionados económicamente (sean personales, materiales, licencias, etc.).

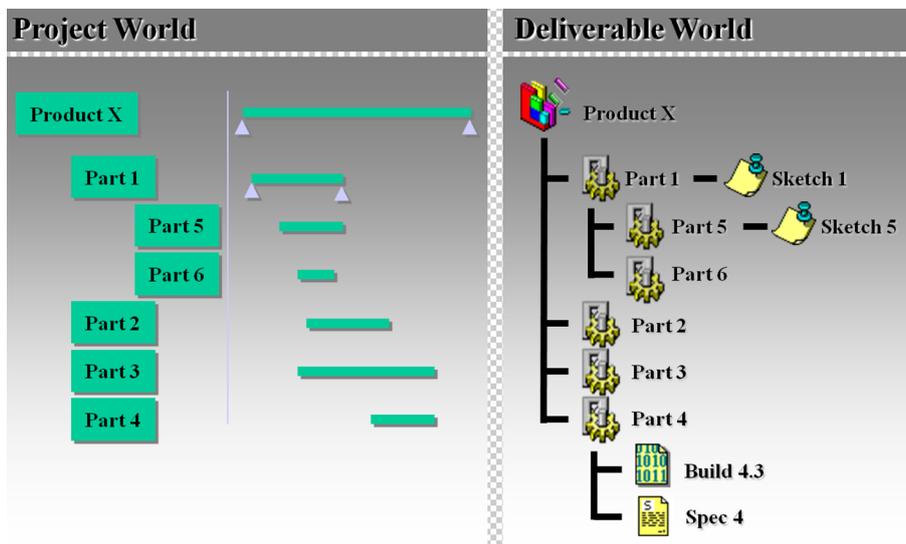
Desde el punto de vista de la dimensional temporal, el (servi)producto tiene un mínimo de dos fechas prefijadas: su arranque (o *kickoff*) y su salida (o SOP, *Start Of Production*). Hay más periodos en adelante, a lo largo del ciclo de vida del producto, pero ninguno suele estar tan prefijado como el anterior, ya que

suele tener transcendencia económica para la empresa, puesto que el coste asignado a ese periodo acostumbra a ser amortizable como inversión; por no indicar, además, repercusiones habituales por deducciones fiscales.

También hemos de indicar que, llegados a este apartado, podemos afirmar que la incorporación de la gestión del proyecto es una de las prestaciones que, aunque presentado en un apartado final, un PLM incorporaría; es una de las actividades que, consecuentemente, se aplica desde el principio de la gestación.

Tal vez esta gestión del proyecto no esté íntimamente vinculada dentro de las herramientas de un PLM, pero las dimensiones de tiempo y recursos sí que lo están. De hecho, muchas veces esa vinculación se ejerce de forma indirecta debido a la tensión que se produce entre ambas. Como podemos ver en la figura 11, existen dos mundos o dimensiones, con sus respectivas dependencias e interdependencias entre ambos.

Figura 11. Dimensiones temporal y de componentes



Fuente: Elaboración propia; Carlos Cosials

La dimensión temporal busca acotar y representar las relaciones entre las necesarias actividades que deben realizarse, según método o normativa exigible, para conseguir avanzar en el detalle de la especificación del (servi)producto. La dimensión «entregante» (*deliverable* en inglés) se refiere a las relaciones jerarquizadas que se van estableciendo entre las especificaciones que se van produciendo (y entregando) a lo largo de tiempo. Es importante denotar aquí que el concepto de producción, durante el proyecto se refiere a los diferentes documentos que se irían entregando, es decir publicando, bajo la gobernanza del PLM.

Además, estas dos dimensiones habitualmente suelen estar en una tensión premeditada, pues la persona asignada a la gestión el proyecto, para el control del paso del tiempo y el control de los recursos monetarios que se van abocando, no está en responsabilidad directa de la producción de las especificaciones

que se van documentado y, en cambio, va solicitando «explicaciones» a cada uno de los responsables especialistas en cada una de las disciplinas y/o tecnologías que configuran el producto y que se van definiendo.

Estas «explicaciones» es una forma abreviada de referirnos a la demanda de explicaciones que suelen exigir los gestores de proyectos a los responsables de tecnologías del avance de proyecto para que este se muestre y quede patente en la estructura de producto y su desglose en componentes, publicada en el PLM; en el sentido que esté accesible y sea visible, aplicando las pertinentes restricciones a las personas asignadas, ya que se espera que solo aquellas personas involucradas en el proyecto tengan acceso.

Estas dos dimensiones, habitualmente en tensión aunque con un mismo propósito, se reflejan en la organización personal, pues aparecen en forma de matriz. En el eje de las X, o dimensión temporal, se apilan los distintos gestores de proyectos que suelen reportar a una dirección de proyectos corporativa, y en el eje de las Y se suelen secuenciar las personas asignadas de cada una de las tecnologías en las que, disciplinariamente, desglosaríamos el producto, como podemos ver en la tabla 1.

Tabla 1. 12 Matriz de proyectos y tecnologías. Dirección de Tecnologías de Producto

		Estructural	Electrónica	Potencia	Comunicación	Señalización	Plataforma web
Dirección de Proyectos	Proyecto 1						
	Proyecto 2						
	Proyecto 3						
	Proyecto 4						
	Fuente: Elaboración propia.						

Esta tensión dimensional buscada por los gestores de la organización pretende que cada una de las direcciones procure cubrir, de la mejor manera y con adecuación a las normativas internas y/o externas, cada una de las dimensiones que ostentan: la economía frente a la calidad.

Evidentemente, esta tensión suele provocar que cada uno de los gestores busque utilizar su propia herramienta para gobernar cada una de las dimensiones y no acostumbra a existir mucho interés (por su repercusión económica) en disponer de una sola herramienta que gestione con eficacia, pero con precisión, ambas miradas. Los completos aplicativos gestores de proyectos pueden precisar y determinar el grado temporal de avance, los recursos utilizados hasta el momento y sus desviaciones respecto del plan, pero no gestionan bien la precisión que un PLM exige en el detalle de los componentes y sus representaciones 3D/2D.

Un PLM refleja con detalle preciso y exhaustivo cada una de las iteraciones y desglose de los documentos que se han ido produciendo y entregando y las relaciones explícitas que existen entre cada uno de los componentes y su reflejo documental.

En la ingeniería de productos y/o plataformas, el proyecto es el producto. Es decir, el resultado final de entregar una definición servicial del producto habrá sido ejecutar el proyecto de gestación conforme a las expectativas.

3. El *Digital Twin* como nuevo producto de ingeniería

Digital Twin es una denominación anglosajona que está empezando a acuñarse para referirse a la entidad, de carácter dual y personalidad digital, que aúna la representación sintética de un producto, previo a su existencia, junto con la presentación sintética de su realización, habitualmente ya dispuesta en servicio. En español, esa denominación se está refiriendo como gemelo o clon digital.

En esencia, estamos creando un vínculo íntimo entre la representación del modelo y las de sus concreciones físicas. Moviéndonos en el real mundo de lo digital, disponemos de dos planos de representación; uno de ellos lo asimilaríamos al modelo CAD del producto, mientras el otro sería la presentación de los valores de funcionamiento que una realización singular del producto estaría emitiendo.

Además, con el gemelo digital podemos establecer particulares interacciones con ambas representaciones. Con el ámbito de la definición, podemos ejercer simulaciones condicionadas, ahora sí, por la información de retorno que nos provee el gemelo que representa la instancia concreta de la máquina en servicio; mientras que con el gemelo en servicio podemos interrogarlo y, si es preciso, actualizarlo con nuevas versiones del software que incorpora.

Esta doble personalidad es posible gracias a la combinación de diversas tecnologías que están incorporando los productos, que adjetivaríamos como «inteligentes y conectados», por sus prestaciones actuales y que permite que sean auto-gobernables y tengan capacidad de comunicación ubicua. Ello les permite disponer de la conectividad con un servicio central remoto al que solicitar y/o informar del cambio de su comportamiento.

Todas estas prestaciones están siendo potenciadas por el advenimiento de la Internet de las Cosas (o *Internet of Things* o IoT). La Internet no es más que una modalidad de interconexión que permite aplanar el mundo y permite el acceso a cada uno de sus rincones (o nodos) de una forma estándar. Eso fue así en sus inicios, para interconectar instituciones a través de los ordenadores que las contenían, y ha llegado al extremo de que cualquier «cosa» está conectada, desde el más mínimo y sencillo dispositivo de aspersión de agua en un jardín que «informa» de la cantidad de agua regada, hasta el gigantesco Boeing 727, que genera gigas de información por cada uno de sus vuelos.

Lo relevante, en nuestro caso, es que esta pareja de realidades debe ser diseñada y esta doble responsabilidad cae sobre el área de ingeniería, ya que debe concebir y gestar el conjunto como un todo. Es decir, las cambiantes prestaciones que el producto podrá alterar incorporando otras prestaciones nuevas,

que corrijan pero que también mejoren las inicialmente instaladas, deben de formar parte del diseño del producto. Aunque desde el área de servicio de la empresa fabricante del producto puedan establecer las modalidades de servicio, estas serán posibles, reales y factibles en caso de que se hayan incorporado como tales en la concepción del producto.

De hecho, aquí re conectamos con lo indicado en la definición de serviproducto y que en apartados previos indicamos. El despliegue de los serviproductos comporta un replanteamiento completo del proceso de gestación de los productos y, por ende, de las prestaciones que el PLM debe de incorporar.

4. La Servicialización como nuevo modelo de prestación

De hecho, algunos fabricantes de SW de PLM están acuñando la idea de que los nuevos PLM son las plataformas IoT que las empresas están incorporando. Pues ahora sí, y más que nunca, hemos de tener una verdadera gestión del serviproducto, con todos sus subcomponentes, a lo largo de toda la vida de todos y cada uno de los subcomponentes que lo conforman.

Como vimos en la figura 10, lo que inicialmente hubiésemos denominado como *producto* Viuho, debemos denominarlo correctamente como *plataforma* Viuho, ya que tanto la conformación de los componentes (el dispositivo de emergencia, la App que reside en el *smartphone* del usuario final) como la página web que muestra el avance de la incidencia en el caso de que se hubiese dado, se nutren, a modo de trastienda, de un servicio web que interconecta a los tres componentes.

Adicionalmente, este modelo de funcionamiento responde a una aspiración de la empresa de ofrecer su servicio en modalidad de pago por uso o de suscripción, siendo una clara muestra de servicialización. Es decir, la empresa no es tanto, en esencia, un fabricante, sino una empresa de servicios que precisa de ensamblar un producto físico con unos componentes electrónicos que interactúan con unos productos digitales.

Precisamente este es el nuevo reto al que el área de ingeniería se ve sometido. No se trata tanto de concebir un diseño pensado para durar, en clave de calidad, como de establecer una arquitectura capaz de soportar las interacciones que se establecerán entre los distintos componentes y que se ofrecerán como un todo, en pago por uso.

Llegados a este punto final, se entenderá que la gestión del ciclo de vida del producto queda muy impactada por la conceptualización del modelo de negocio que deberá soportar el modelo de servicio (pre)establecido en base a las prestaciones del serviproducto gestado, incluyendo todas las disciplinas tecnológicas que se aúnan en la entrega que se esté proporcionando.

Como conclusión a esta unidad de PLM y con una amplia mirada puesta en la Industria 4.0, podemos decir que los serviproductos, compuestos de productos inteligentes y conectados a plataformas de servicio, son los que van a permitir que el despliegue se efectúe. Y se hará tanto en el interior de las empresas, en sus propios centros operativos, con la incorporación de elementos de producción —que serán, a su vez, serviproductos—, como en el despliegue de sus propios serviproductos en los centros operativos de sus clientes.

Por lo tanto, muchas más exigencias para la ingeniería de producto que deberán pensar y concebir en clave arquitectónica las plataformas del futuro.

Bibliografía

Barkai, Joe (2017). joebarkai.com/iot-is-plm/ [Fecha de consulta: 10 de junio de 2018].

PLM Portal (2015). www.plmportal.org/en/news-detail/ptc-iot-is-plm.html [Fecha de consulta: 10 de junio de 2018].

