

01-051

SUSTAINABLE PLM ARCHITECTURE FOR ENGINEERING PROJECTS

Huertas Vera, María del Carmen ¹; Peralta Álvarez, María Estela ¹; Marcos Bárcena, Mariano ²; Aguayo González, Francisco ¹; Córdoba Roldán, Antonio ¹; González-Regalado Montero, Eduardo ¹

¹ Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, ² Universidad de Cádiz

Organisations must carry out the management of sustainability in their projects in the best efficient way. This situation incorporates a great complexity to the life cycle project and increases the volume of information. For this aspects, PLM system (Product Lifecycle Management) are an appropriate choice of design and development process for sustainable projects and a possible solution to reduce the complexity of managing information. Currently PLM system make available all necessary information to the different departments and stakeholders of organisations. But if we analyse the real solutions in detail (both commercial and model which have been developed in the scientific community) there is any tool to manage the sustainability in a comprehensive and efficient way. For this situation in this paper a PLM architecture for sustainability is developed to carry out sustainable engineering projects under strategies of data management. This PLM Architecture can help companies to identify requirements, organise, distribute and manage all relevant information, thought the perspective of the triple-Bottom line (economic, ecological and social).

Keywords: *Sustainability; PLM systems (product lifecycle management); PLM architecture; PDM (product data management); Triple Bottom Line; sustainable projects*

ARQUITECTURA DE PLM SOSTENIBLES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

Las organizaciones deben llevar a cabo una correcta gestión de la sostenibilidad en sus proyectos. Esta situación incorpora una gran complejidad a su ciclo de vida y un aumento en el volumen de información relativa al proyecto. Por lo que los sistemas PLM (o gestión del ciclo de vida del producto) son una opción adecuada de diseño y desarrollo de proyectos sostenibles y una posible solución en la reducción de la complejidad de gestión de la información. Actualmente los gestores PLM desarrollados ponen a disposición de los diferentes departamentos e interesados (stakeholders) de las organizaciones, toda la información del producto o proyecto en cualquier fase de su ciclo de vida, aunque si analizamos las soluciones en detalle (tanto comerciales como planteadas en la comunidad científica) no existe una herramienta que gestione la sostenibilidad de forma integral y eficiente. Por esta situación en el presente trabajo se identifica y formula una arquitectura de PLM sostenible para la gestión de proyectos en ingeniería, bajo estrategias de gestión de datos que permitan a las empresas identificar los requerimientos de información relevantes para la sostenibilidad del sistema, estableciendo la integración de la información desde la perspectiva de la triple-E (económica, ecológica y social).

Palabras clave: *Sostenibilidad; sistemas PLM (gestión del ciclo de vida del producto); arquitectura PLM; PDM (gestión de los datos del producto); Triple Bottom Line; Proyectos sostenibles*

Correspondencia: M^a Carmen Huertas Vera mcarmenh89@gmail.com

1. Introducción

Las industrias de fabricación actualmente están incorporando tecnologías de frontera como soluciones de diseño, fabricación y tecnologías de soporte. Esta situación conlleva para su control eficiente, un conjunto de procesos de gestión de la información que mueven un gran volumen de datos que las empresas deben gestionar (calidad, prevención, Responsabilidad Social Corporativa, costes, tiempos, materiales, recursos humanos, etc.). En este sentido, el uso de las tecnologías TIC para soportar el diseño y fabricación no son una excepción, siendo los sistemas PLM (Product Lifecycle Management) uno de los pilares en los que se sustenta la gestión de los datos del producto y procesos de fabricación. Pero desde el comienzo de la revolución industrial, las industrias manufactureras han sido las principales responsables de los impactos sobre el medio ambiente, situación que ha provocado una gran presión gubernamental y social sobre las organizaciones a través de regulaciones y leyes ambientales tanto a nivel nacional como internacional. Todo lo anterior determina la necesidad y oportunidad de llevar a cabo el presente trabajo abordando la gestión de la información operacional y sostenible en la gestión de proyectos, a partir de la estructuración de una nueva arquitectura para sistemas PLM sostenibles. Para ello se expone en las siguientes páginas el estudio del estado del arte de los sistemas PLM sostenibles y el desarrollo de una solución de diseño y gestión bajo la orientación PLM que permita incorporar criterios de sostenibilidad en proyectos, productos y procesos de fabricación como herramienta de evaluación y gestión de la sostenibilidad integral 3E.

2. Product Lifecycle Management: sistemas PLM para el desarrollo sostenible

La gestión del ciclo de vida del producto (Stark, 2011), en adelante PLM, es un concepto sistemático y controlado para la gestión, el desarrollo y el control de la información relacionada con un producto. Consiste en la gestión, de la manera más eficaz, de los productos de la empresa a través de todo su ciclo de vida (CV): diseño, fabricación, logística, uso y fin de vida útil. El objetivo de PLM es aumentar la eficiencia y eficacia operativa de la empresa (tiempos, costes, recursos humanos, calidad, etc.) maximizando el valor de la cartera de productos y su proyección a todos los interesados. Actualmente PLM es utilizado por todos los sectores que en el CV de sus productos tengan que controlar un gran volumen de información: desde ingeniería aeronáutica, desarrollo informático hasta industria farmacéutica o actividades financieras. Y se aplica indistintamente a cualquier tipo de producto seleccionando el conjunto de funciones requeridas que resultan adaptables, es decir, un sistema PLM es dinámico y puede satisfacer entre otras, las siguientes necesidades (Stark, 2011; Pérez, 2011).

En un nivel de **planificación y gestión de cartera o proyecto**, se encarga de la *gestión de cartera de manera estructurada, de las etapas del CV del producto, proyecto o sistema y retroalimentación adecuada con los interesados (clientes, ingenieros, cadena de suministro, etc.)* En un nivel relativo a la **gestión de las actividades** a llevar a cabo dentro de cada etapa del CV de los productos, PLM se encarga de (1) *gestionar los procesos relacionados con el producto de una forma integrada en cada una de las etapas del ciclo*, (2) *almacenar, organizar, jerarquizar, controlar, distribuir y asegurar en tiempo, forma y seguridad, la información relativa a las tareas, actividades o procesos de la etapa correspondiente del ciclo*, (3) *mantener la integridad y actualización de la información y maximizar su disponibilidad* y (4) *almacenar, gestionar y proteger los datos*. Por último, teniendo en cuenta un **nivel operativo** dentro de actividades del CV, PLM permite (1) *gestionar los documentos del proyecto, producto y sistema y su actualización según los cambios requeridos en cada tarea*, (2) *compartir datos de forma controlada y directa*, (3) *ejecutar procesos y flujos de trabajo*, (4) *permitir la visualización de datos y documentos* e (5) *integrar la información de ingeniería con otros sistemas y procesos informáticos de la organización*.

2.1. Evolución de los sistemas PLM: hacia la gestión de la sostenibilidad

Todas las funciones que han sido descritas en los párrafos precedentes han ido enriqueciendo los sistemas PLM a lo largo de las últimas décadas, gracias a la evolución tecnológica de las empresas y las necesidades de gestión a medida que la complejidad de datos y volumen de información aumentaba. Esta evolución está caracterizada por tres cambios estructurales en las arquitecturas PLM que se representan en la figura 1.



A finales de los años 80 surge EDM (Gestión de Datos de Ingeniería) y posteriormente PDM (Gestión de los Datos del Producto) como soluciones para satisfacer la necesidad de poseer un sistema que permitiese el seguimiento de los crecientes volúmenes de archivos de diseño generados mediante los sistemas CAD en las industrias de fabricación. PDM permitió estandarizar productos, almacenar y controlar los archivos de documentos, mantener la lista de materiales actualizada, controlar las versiones de los elementos del producto y verificar los documentos de revisión. Esta funcionalidad facilitó el acceso rápido a elementos estándar y archivos para su reutilización al tiempo que redujo el riesgo de utilizar versiones de diseño incorrectas y fomentó la reutilización de la información del producto existente (Stark, 2011). Posteriormente (PTC, y coincidiendo con el crecimiento tecnológico, el desarrollo social y la expansión de los mercados industriales, surgió la necesidad de gestionar paralelamente el volumen de datos implicados en la planificación de recursos empresariales (ERP, que cumple las funciones de gestión del calendario de producción, de inventario, aprovisionamiento, logística e información contable y financiera) y aquellos pertenecientes a todas las fases del CV del producto (PLM, con la gestión de requerimientos del producto, configuración, diseño de detalle, procesos de fabricación, gestión de cambios, entre otros).

Con el tiempo surge la intención de unificación global, a partir de la creación de un sistema que pudiera almacenar y gestionar dentro de una solución unificada, cualquier tipo de información dentro del CV; PLM ofrece en tres unidades funcionales independientes *un almacén de archivos, una base de metadatos y la propia aplicación o interfaz de usuario* que actúa como enlace y facilita las diferentes conexiones entre todas las etapas del CV del producto o proyecto. Este sistema unificado de PLM está dividido en cuatro grandes gestores o subsistemas: **ERP** o *Planificación de los recursos empresariales*, **SCM** o *Gestión de la cadena de suministro*, **CRM** o *Administración basada en la relación con los clientes* y **HCM** o *gestión de los recursos humanos* (CIMData 2012; Peralta, 2011). Esta última evolución es conceptualizada en este trabajo como **PLM INTEGRADO**, que permitirá la colaboración de ingeniería y donde la sostenibilidad debe tener cabida en cada una de las actividades implicadas.

Figura 2: PLM integrado



2.2. Sostenibilidad en los sistemas PLM para la gestión de proyectos, productos y sistemas

Para desarrollar con éxito proyectos, productos y sistemas sostenibles, las empresas deben implementar un marco de trabajo integrado en tres dimensiones: social, económica y ambiental. Esto implica que la industria tiene que modificar el enfoque económico tradicional que viene desarrollando desde la revolución industrial para incluir las dimensiones ambientales y sociales en beneficio del desarrollo sostenible, es decir, para minimizar los impactos generados durante décadas y recuperar el valor perdido a través de actividades más "sostenibles" que fomenten el respeto de la diversidad natural, la minimización del gasto de recursos y la creación de valor social (Elkington, 1997). Bajo esta perspectiva la sostenibilidad se aborda desde la estrategia enmarcada en el concepto triple E, Triple Bottom Line o 3E (economía, equidad y ecología). Este nuevo marco de trabajo para el potencia un fractal dinámico no lineal, eliminando las siguientes posiciones unidimensionales que dan lugar a la insostenibilidad de proyectos, productos y sistemas: (1) La perspectiva económica del negocio asociado a la rentabilidad del producto (capitalismo), sin considerar los aspectos ambientales y sociales, (2) visión de la equidad, prestando solo atención a los segmentos de mercado de grupos desfavorecidos y a la sostenibilidad cultural, sin considerar aspectos económicos ni medioambientales y (3) la vertiente ecológica de cuidado del medioambiente sin considerar aspectos sociales y económicos. La concepción individual de las tres dimensiones no permite un desarrollo integral de la sostenibilidad, es decir, el ajuste independiente de cada vertiente podría perjudicar a las otras dos dimensiones. Esta integración global provoca en las empresas un aumento de la complejidad en sus operaciones; primero en el nivel operativo y segundo en el aumento del volumen de datos a considerar en sus proyectos, que habrá que tener en cuenta de forma simultánea y en paralelo con cada etapa del CV para conocer los impactos generados e intentar minimizarlos, lo que implica nuevos procesos de gestión para la sostenibilidad. Es en este sentido donde los sistemas PLM facilitan el alcance de la sostenibilidad, permitiendo la integración de las nuevas concepciones que transformarán en sostenibles los objetivos convencionales de la empresa.

En la actualidad existen varias soluciones de arquitecturas PLM que comienzan a incorporar de forma puntual la gestión de la sostenibilidad, centradas sobretudo en la dimensión ambiental. Antes de plantear la solución de diseño para la arquitectura de PLM sostenible integral, se realiza un estudio de las diferentes soluciones desarrolladas y existentes. Este estudio se ha llevado a cabo a través de dos ámbitos: análisis de soluciones comerciales del mercado más utilizadas en la actualidad y análisis de los planteamientos de la comunidad científica referidos a la investigación y desarrollo de PLM y sostenibilidad.

Dentro del análisis de las soluciones comerciales (Calvo, 2010), es necesario distinguir los sistemas PLM según su origen y contexto de uso, situación que asienta su funcionalidad y modo de aplicación. Entre los sistemas PLM más importantes se encuentran los productos Enovia Smarteam y Enovia V6 (Dassault Systèmes), Teamcenter (Siemens PLM) y Windchill (PTC). Ofrecen una funcionalidad modular y pueden expandirse a medida que la empresa lo requiera. Por otra parte, los PLM desarrollados por los fabricantes de software de gestión ERP, ofrecen una visión del sistema de gestión empresarial integrado. Entre éstos se encuentran los productos SAP PLM, Oracle Agile PLM. Las funcionalidades principales que ofrecen los sistemas PLM comerciales están disponibles a través de la integración de diversas herramientas, incluyendo colaboración y simulación (para aplicaciones CAX – CAE/CAM/CAE), herramientas de gestión de la estructura del producto (para la gestión de los datos del producto), baúl de datos, gestión documental (para un seguro almacenaje y recuperación de la información de definición del producto) y herramientas de gestión de programa (para la planificación de los recursos y seguimiento del proyecto). En los últimos años las empresas especializadas, han ido incorporando algunas funcionalidades referidas a

la dimensión ambiental para la gestión de la sostenibilidad, como por ejemplo “perfil ecológico de producto, huella de carbono o eficiencia energética”.

En cuanto a las publicaciones analizadas, cabe destacar las aportaciones de Duque (2009), que desarrolla un marco de trabajo para la gestión de la sostenibilidad a través de PLM indicando que los datos del producto, la información y el intercambio de conocimientos, son la base del modelo de negocio necesario para cumplir con los requisitos de sostenibilidad llegando a gestionar un desarrollo más sostenible de los procesos y la información. También es necesario resaltar el modelo obtenido de Perspectives (2014) que desarrolla íntegramente los diferentes niveles de una empresa para una gestión ambiental integrada y se asignan los responsables ambientales para cada fase del CV y la jerarquía de las funciones que debe de realizar cada responsable. Por último cabe mencionar cada una de las aportaciones de SIEMENS y DASSAULT que recogen los modelos de sostenibilidad integrados en sus respectivos sistemas PLM (Theret, 2014; Rezayat, 2010)

A continuación se muestran las conclusiones de los resultados obtenidos en el estudio comparativo de funcionalidades y características. En la tabla 1, se recogen los requerimientos convencionales de PLM clasificados según las tres dimensiones de la sostenibilidad. Se incluyen de forma detallada los aspectos relativos al desarrollo sostenible que en los últimos años algunas soluciones PLM han incorporado dentro de la dimensión ambiental.

Tabla 1: Comparativa de las características de los sistemas PLM comerciales más importantes

Requerimientos		Siemens	PTC	Dassault	Oracle	Autodesk	SAP
ECONÓMICO	Gestión de conformidad	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	Análisis y elaboración de informes	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de requisitos	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión portfolio (productos, programas, proyectos)	SI	Limitado	Limitado	SI	Limitado	SI
	Gestión de los costes del producto	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Gestión de la calidad del producto	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de los Cambios y Modificaciones	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de procesos de mecatrónica	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	Gestión de la lista de materiales	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de procesos de ingeniería	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Visualización del CV	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	Integración con Sistemas ERP	Limitado	SI	SI	Limitado	Limitado	Limitado
	Gestión de los procesos de fabricación	Limitado	Limitado	SI	Limitado	Limitado	Limitado
	Gestión de procesos de simulación	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	Integración con sistemas de CAD	SI	NO	NO	Limitado	NO	SI
Gestión de los datos del producto	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
ECOLÓGICO	Gestión de materiales y sustancias	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	REACH, RoHS y Conflicto Minerales	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Normas para el cumplimiento ambiental	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de impactos del producto	SI	SI	NO	SI	NO	SI
	Gestión del flujo de trabajo y cambios	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Iniciativas DfE (Design for Environment)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Reciclabilidad	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Perfil ecológico del producto	SI	SI	SI	SI	NO	NO
	Huella ecológica	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Huella de carbono	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Consumo de energía	SI	NO	SI	SI	SI	SI
	Optimización de energía en procesos de fabricación	SI	SI	SI	SI	SI	SI
SOCIAL	Gestión del conocimiento empresarial	Limitado	SI	Limitado	SI	Limitado	SI
	Colaboración en comunidad	SI	SI	SI	SI	Limitado	SI
	Accesible desde la nube	SI	SI	Solo V6	NO	SI	SI

Los resultados del análisis permiten comprobar que la integración de la sostenibilidad en los sistemas PLM está en una etapa incipiente, lejos de alcanzar la integración del marco de

trabajo que propone la Triple Bottom Line. Por esta situación en el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos que enmarcarán el desarrollo de un modelo para la creación de arquitecturas PLM sostenibles a nivel empresarial:

- Para desarrollar con éxito productos y proyectos sostenibles, las empresas deben implementar un marco de sostenibilidad integral. Siendo los sistemas PLM una opción óptima para la gestión de la información y el alcance del objetivo sostenible.
- Tanto las soluciones comerciales como las publicaciones científicas referentes a PLM estudiadas no contemplan la sostenibilidad de forma integral (social, económica y ecológica), por lo que surge la necesidad de proponer un modelo que facilite el diseño de arquitecturas PLM sostenibles.

3. Formulación del modelo: Arquitectura PLM Sostenible para la gestión de proyectos

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo para el diseño de arquitecturas de PLM sostenibles, que incorpore tanto la gestión de proyectos, la gestión de la sostenibilidad y la gestión del CV junto a la definición de los agentes implicados para su alcance, de tal manera que permitan gestionar la sostenibilidad de una forma estructurada e integrada bajo el modelo de sostenibilidad de la triple E.

3.1. Estructura básica para arquitecturas PLM sostenibles

La arquitectura planteada para el modelo de PLM sostenible propuesto estará formada por cuatro capas estratificadas, donde la capa principal será el núcleo PLM o baúl PLM que estará caracterizado por ser el nexo o punto de unión para la gestión y el intercambio de información del sistema y donde será almacenada toda la información (es decir, la base de metadatos). Este núcleo proporcionará información al resto de las capas, las cuales están ordenadas por niveles de alcance: capa (1) fases del CV del producto (donde se gestionará la información relativa al diseño, fabricación, uso, fin de vida del producto), capa (2) gestión de la sostenibilidad (tiene acceso a todos los datos que se extraen del análisis sostenible del producto y desde la misma se controlará y modificará todo lo relativo al impacto ambiental, social, económica y creación de valor 3E) y capa (3) gestión del sistema global o gestión del proyecto (administra todo el PLM, puede acceder a toda la información y se encarga de la dirección del proyecto, es decir, alcance, tiempo, costes, recursos humanos, etc.).

Figura 3: Estructura de la arquitectura PLM sostenible

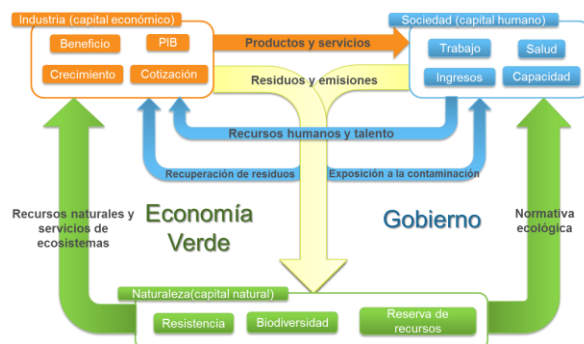


3.2. Flujo informacional para la gestión sostenible

Antes de dar solución al diseño de la estructura PLM de forma detallada, es necesario conocer todas las interacciones que se ponen de manifiesto entre las actividades de la industria (capital económico), las actividades de la sociedad (capital humano) y los elementos del ambiente (capital natural). La interacción entre las tres dimensiones provoca un flujo de información

complejo que será necesario administrar de forma eficiente, es decir, teniendo en cuenta el impacto generado por todas las entradas y salidas necesarias que utilizan los procesos del sistema para convertir la actividad empresarial en sostenible. A continuación se define el flujo informacional que será administrado y gestionado por la capa “gestión de la sostenibilidad” en la arquitectura PLM sostenible.

Figura 4: Interacción de los flujos de información en la gestión de la sostenibilidad



A su vez, todos los **proyectos** requieren de una dirección y gestión. Esta tarea también genera un flujo informacional con gran volumen de datos, que en este caso es identificado a partir del estándar en dirección de proyectos PMBOK y que será llevado a cabo por el “gestor del sistema”. En el apartado de modelado del presente trabajo se identifica de forma detallada el flujo de información.

3.3 Despliegue detallado de la propuesta de arquitectura PLM sostenible.

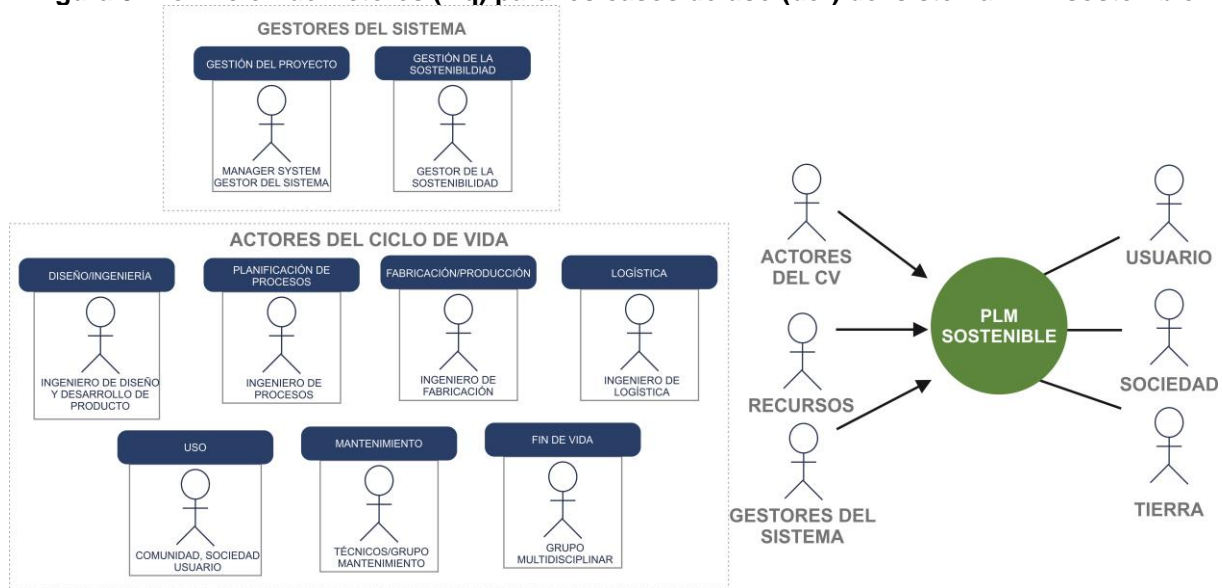
Para concretar el diseño de la arquitectura PLM sostenible se lleva a cabo un proceso de modelado. La representación del CV del producto junto al conjunto de actividades, flujos de información e interesados (Niemann, 2009) hace que sea posible tratar de manera explícita todos los procesos como parámetros de diseño, con el objetivo de identificar sus interdependencias desde una perspectiva sistemática y llevar a cabo una gestión eficiente. Para el modelado de procesos, existe un conjunto de lenguajes disponibles como son PSL, BPML, UML y OPM entre otros. En este caso se ha elegido UML, si bien en este trabajo no se presenta toda la metodología completa. Los siguientes apartados recogen una síntesis de la arquitectura PLM sostenible, definiendo los actores, los casos de uso y los diagramas de clases mostrando un ejemplo para la fase del CV de fabricación sostenible.

3.3.1 Definición y modelado de actores, casos de uso y comportamiento del sistema

Para documentar el comportamiento del modelo PLM propuesto desde el punto de vista de cada uno de los usuarios e interesados que intervienen en él se define a continuación el conjunto de actores para los casos de uso que serán modelados con UML (Zhao, 2012). Los casos de uso (figura 6 parte derecha) determinan los requisitos funcionales del sistema, es decir, representan las funciones que un sistema puede ejecutar y qué actores (figura 6 parte izquierda) intervienen en él. Dentro de la definición de los actores destacan dos niveles de ejecución. En un nivel superior, se encuentran los procesos de gestión, donde interviene el director de proyectos (gestor del sistema) y el gestor de la sostenibilidad. En un nivel inferior y con relación directa y subordinada con los anteriores, se sitúan los actores del CV, especializados (expertos) según los requerimientos de la etapa característica. Por último, se

encuentran los actores receptores, beneficiarios o con interferencia del sistema (usuario, sociedad y tierra).

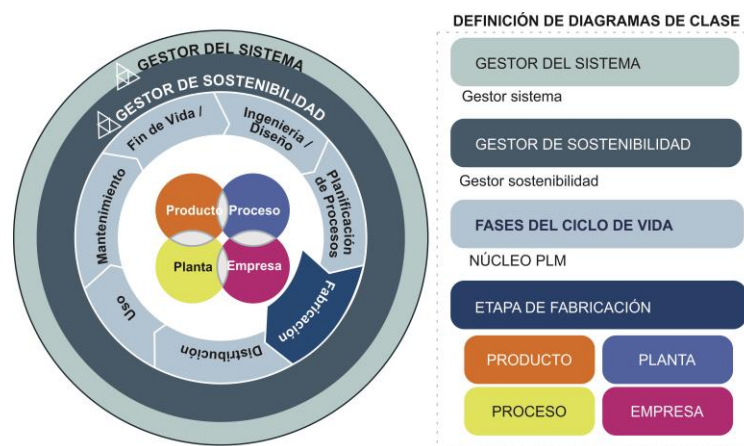
Figura 5: Definición de Actores (izq) para los casos de uso (der) del sistema PLM sostenible



La creación y definición de la nueva figura del gestor de sostenibilidad es de interés y motivada por la necesidad de contar con un experto en el ámbito de soluciones sostenibles; al igual que el director de proyectos actúa de forma eficiente para que los proyectos se inicien, se ejecuten y finalicen con éxito, el gestor de la sostenibilidad estará especializado en el ámbito de desarrollo sostenible y gestionará en esta área de conocimiento compleja, la integración de las soluciones del proyecto en el marco de trabajo de la Triple E.

Tomando como base la arquitectura de PLM propuesta, los casos de uso y los actores propuestos, se modelarán en los siguientes apartados los diagramas de clases definidos en la figura 6.

Figura 6: Arquitectura PLM sostenible

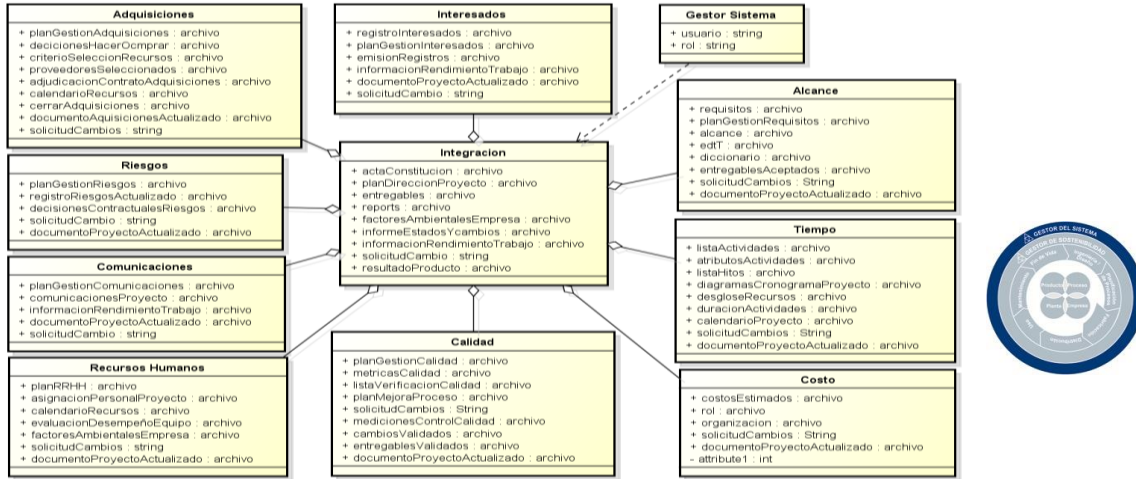


- **Modelado de “GESTOR DEL SISTEMA”**

El modelo de información del gestor del sistema contiene las clases subordinadas relativas a cada área de conocimiento de la gestión de proyectos. En este caso, se ha elegido el estándar recogido en la guía del PMBOK que integra un conjunto de procesos para gestionar el CV del proyecto. De forma directa, el gestor de proyecto controla el proceso a partir de la clase

subordinada “integración” y esta a su vez se relaciona con el resto de áreas de conocimiento: alcance, tiempo, costo, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados.

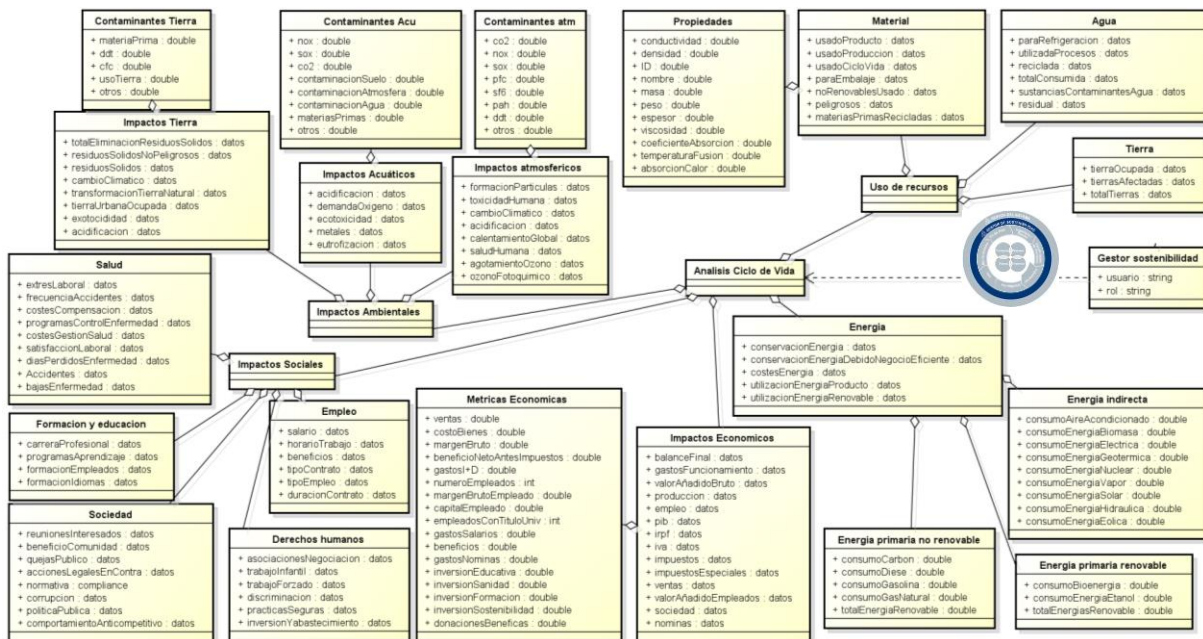
Figura 7: Diagrama de clases para gestor del sistema



• Modelado de “GESTOR DE LA SOSTENIBILIDAD”

El modelado del gestor de la sostenibilidad, al igual que el gestor de proyecto, interactúa de forma directa con un conjunto de clases subordinadas. Para ilustrar una de las actividades de gestión sostenible, se presenta en la figura 8 la clase subordinada ACV (análisis de ciclo de vida, que permitirá almacenar y controlar toda la información relativa a los impactos ambientales del proyecto y del producto). La clase ACV tendrá vinculadas un conjunto de subclases referidas al inventario de entradas y salidas del CV del producto o proyecto, que permitirá conocer a partir de los análisis correspondientes, el perfil ambiental para posibles actuaciones referidas a la mejora sostenible y la creación de valor.

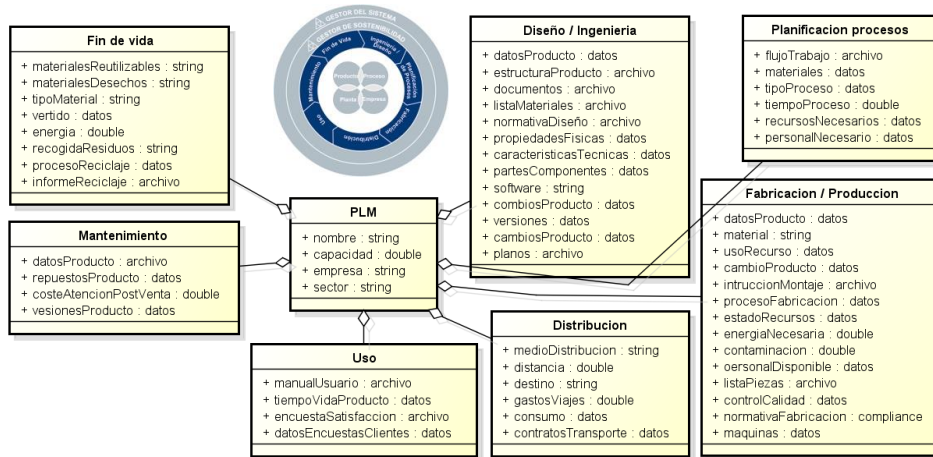
Figura 8: Diagrama de clases para gestor del sostenibilidad



• **Modelado de Núcleo “PLM”**

Los actores definidos en los casos de usos, pertenecen a las clases subordinadas relativas a cada etapa del CV del producto, es decir el núcleo de la arquitectura PLM. En la figura 9 se modela de forma general el núcleo PLM.

Figura 9: Diagrama de clases para del CV del producto, clase PLM

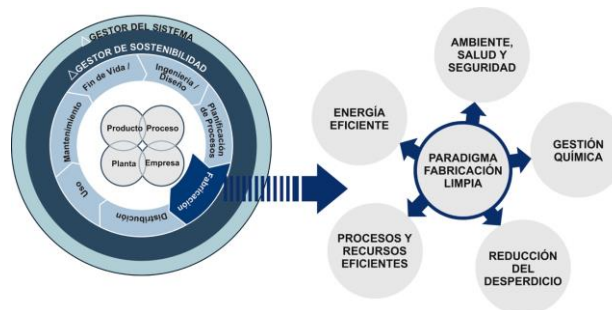


Cada una de las fases del CV se descompone a su vez en subclases más específicas que recogerán los datos e información relevante en cada una. A modo de ejemplo, se ilustra a continuación el modelado de la etapa de fabricación.

• **Modelado de las etapas del ciclo de vida del producto. Especificación para la etapa de fabricación según el paradigma de Clean Production**

Como el objetivo de la arquitectura PLM propuesta es incluir la sostenibilidad integrada del sistema para definir cada una de las fases, será necesario escoger la base de conocimiento sostenible acorde a cada una. En el caso de la etapa de fabricación, se opta por uno de los paradigmas más relevantes que asientan las bases de actuación de la fabricación sostenible: Cleaner production. Para la definición de esta clase se toman los principios del paradigma, ilustrados en la figura 10. Estos principios serán seleccionados para la estructuración de las diferentes subclases de las que esté compuesta la etapa de fabricación, en este caso: producto, proceso, planta y empresa.

Figura 10: Principios de Clean Production para el despliegue de la etapa de fabricación



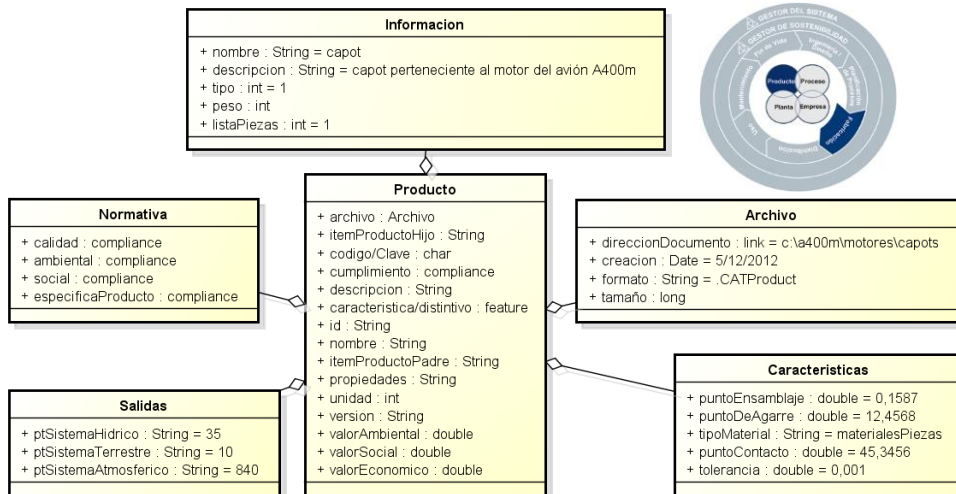
A partir del paradigma “Cleaner Production” se identifica el conjunto de datos a tener en cuenta en el modelado de la etapa de fabricación. La figura 11 recoge los criterios que permitirán el control sostenible de la etapa desde el marco de la Triple Bottom Line.

Figura 12: Criterios e indicadores de sostenibilidad para la etapa de Fabricación (Limpia)



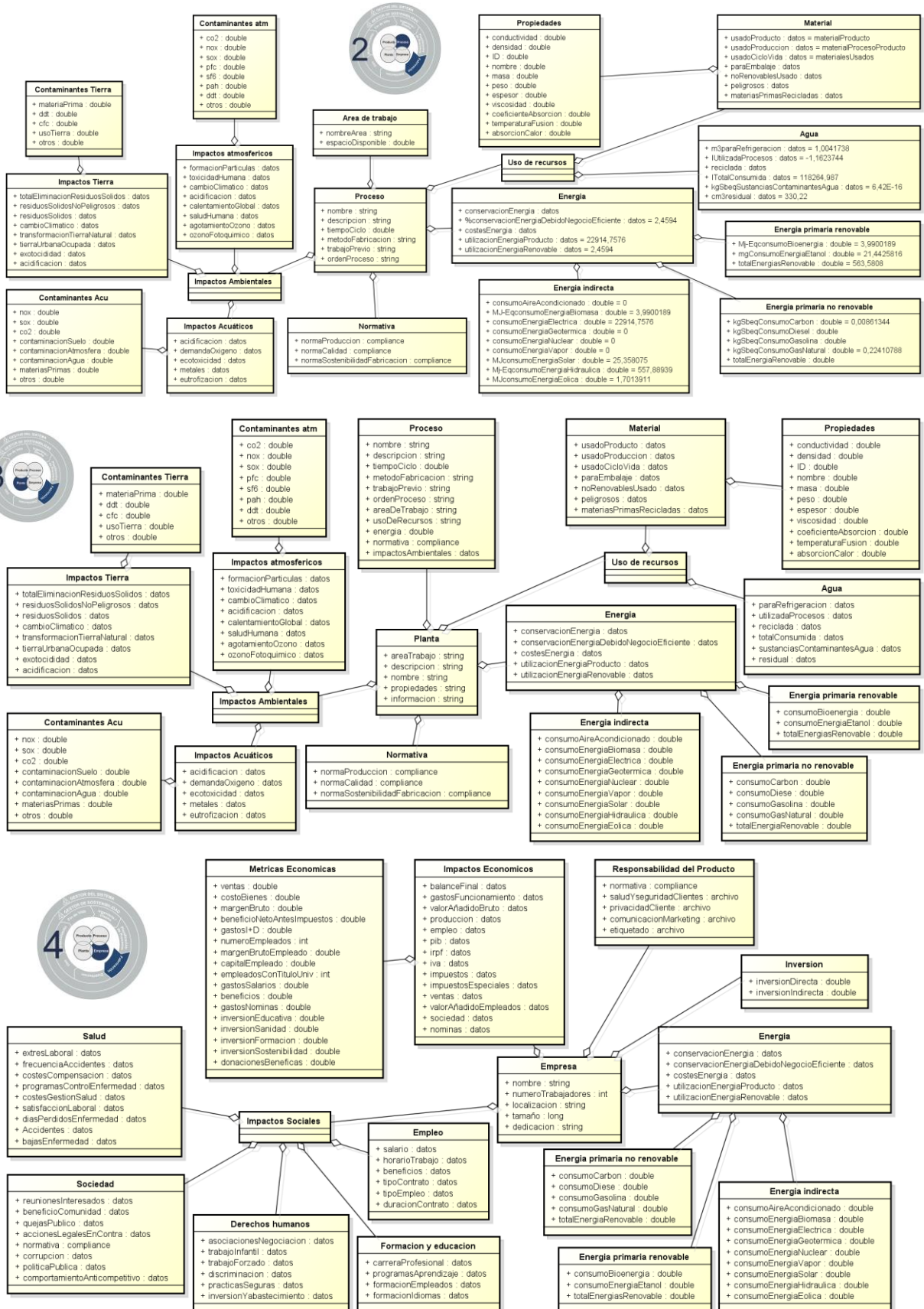
Para modelar la etapa de fabricación e ilustrar cómo se incorporan las características sostenibles del paradigma Clean Production en la arquitectura PLM y su comportamiento dentro del sistema PLM sostenible propuesto, se realizan los diagramas de clases de (1) producto, (2) planta, (3) proceso y (4) empresa mostrados en las figuras 12 y 13. Cabe destacar que el gestor del sistema y gestor de sostenibilidad controlarán cada una de las tareas que desde sus roles tengan asignadas en esta etapa (vinculadas en los diagramas).

Figura 13: Diagrama de clases del proceso de fabricación: (1) producto



Analizando la figura 13, dentro del diagrama de clases de producto existirán las clases subordinadas *archivo*, *características*, *información general*, *normativa* y *salidas*, todas relacionan la información necesaria del producto, sus características (como el punto de ensamblaje, el punto de contacto, tolerancia, etc.) los datos del archivo, normativa, calidad y con especial interés la subclase “Salidas” en la cual tendrá principal actuación el gestor de la sostenibilidad para el control de los impactos económicos, ambientales y sociales del producto. Del mismo modo se podrían analizar los diagramas de proceso, planta y empresa.

Figura 14: Diagrama de clases del proceso de fabricación: (2) proceso, (3) planta, (4) empresa



7. Conclusiones

En la actualidad, las industrias tienen la necesidad de incorporar en los productos y proyectos criterios de sostenibilidad. Como consecuencia, PLM representa un enfoque muy importante para lograr flujos más sostenibles de trabajo en todo el CV de los productos (extracción de material, fabricación, uso y fin de vida). Siendo PLM una infraestructura TIC capaz de soportar los datos del producto, la información y el intercambio de conocimientos, puede ser la base del modelo de negocio necesario para cumplir con los requisitos de sostenibilidad dentro del marco de trabajo de la Triple Bottom Line. PLM sostenible permite a las empresas tener, no solo toda la información de todo el CV del producto almacenada en una misma base de datos, sino además evaluar y gestionar los productos y fases del CV del mismo mediante criterios de sostenibilidad integral, permitiendo así por ejemplo, utilizar metodologías y herramientas para el rediseño y minimización de impactos, como el análisis del CV del producto o facilitar el proceso de cumplimiento de las normativas ambientales, sociales u ocupacionales, contando con todos los datos relativos a cada fase del CV.

8. Bibliografía y recursos

- Calvo, X. (2010). *Gestión del CV del producto (PLM). Una herramienta estratégica para el desarrollo y lanzamiento de productos competitivos*.
- CIMdata (2012). *2012 Market analysis report series*. Obtenido el 22 de octubre de 2014 de CIMdata: <http://www.cimdata.com/en/research/plm-market-analysis-report-series>
- Duque, N., Garetti, M., & Terzi, S. (2009). Product lifecycle management approach for sustainability. *Proceedings of the 19th CIRP Design Conference*. 147-154. Obtenido de <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/3762>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Caspone.
- Niemann, J., Tichkiewitch, S., & Westkämper, E. (2009). *Design of sustainable product life cycles*. Springer.
- Peralta, M.E., Aguayo, F., & Lama, J.R. (2011). Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C. *DYNA Ingeniería e Industria*. 86(2), 199-211. doi 10.6036/3873
- Pérez, D., & Fernández, C. (2011). *Herramientas de apoyo a la gestión del CV del producto, guía divulgativa*. Obtenido el 12 de noviembre de 2014, de Fundación PRODINTEC, fábrica de futuro
- Rezayat, M. (2010, Abril). Bill of sustainability (BOS). Enabling lifecycle-thinking at decision time. ProStep iViP Symposium.
- Stark, J. (2011). *Product lifecycle management 21st century paradigm for product realisation* (2º ed.). Geneva. Springer.
- Sustainable Enterprise Backbone with Green PLM (n.d.). Obtenido el 10 de noviembre de 2014 desde <http://perspectives.3ds.com/design/sustainable-enterprise-backbone-with-green-plm/>
- Theret, J.P., & Zwolinski, P. (2011). Integrating CAD, PLM and LCA: a new architecture & integration proposal
- Zhao, W. B., Park, Y. P., Lee, H. Y., Jun, C. M., & Noh, S. D. (2012). Design and implementation of a PLM system for sustainable manufacturing. *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises*. 388, 202-212. doi 10.1007/978-3-642-35758-9_18

