

## **MAINSTREAMING SUSTAINABILITY AND LCA IN PRODUCT DATA UNDER STANDARD ISO 10303 AND PLM**

De las Heras García de Vinuesa, Ana; Marcos Bárcena, Mariano; Aguayo González,  
Francisco; Córdoba Roldán, Antonio  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla

The increasing technological complexity and the incorporation of sustainability to the processes of design and development of products appearing on a large number of highly competitive industries, requires the introduction of a set of design and manufacturing techniques based on intensive use of computer technology, as well as the use of systematic methods of harvesting, processing and transmission of information relating to product / process. These methods follow standards of data transfer through ISO 10303 protocols and their implementation in each sector. That is why, it becomes a necessity to integrate information from studies of sustainability and LCA in these standards as well as the impact on application protocols (APs) and their management in the PLM company.

**Keywords:** ISO 10303; STEP; Sustainability; ACV; PLM

## **INCORPORACION DE LA SOSTENIBILIDAD Y ACV EN DATOS DE PRODUCTO BAJO ESTÁNDAR ISO 10303 Y PLM**

El incremento de complejidad tecnológica junto a la incorporación de la sostenibilidad a los procesos de diseño y desarrollo de productos que aparece en un gran número de industrias altamente competitivas, exige la introducción de un conjunto de técnicas de diseño y fabricación basado en el uso intensivo de la tecnología informática, así como la utilización de métodos sistemáticos de captura, elaboración y transmisión de la información referida al producto / proceso. Estos métodos siguen unos estándares de transferencia de datos a través de la ISO 10303 y sus protocolos de aplicación en cada sector. Es por ello, que deviene una necesidad de integrar la información proveniente de los estudios de sostenibilidad y ACV en dichos estándares así como la repercusión en los protocolos de aplicación (APs) y su gestión en el PLM de la empresa.

**Palabras clave:** ISO 10303; STEP; Sostenibilidad; ACV; PLM

## 1. Introducción

La presente comunicación pretende profundizar en uno de los aspectos principales del modelo propuesto como *Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad* que desarrolla actualmente Grupo de Investigación en Diseño Industrial e Ingeniería del Producto y la Innovación (TEP-022) de la Universidad de Sevilla junto con el Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnología de Materiales y Fabricación (TEP-027) de la Universidad de Cádiz. Se trata, por tanto, de una continuación en trabajo, desarrollo y conclusiones en el contexto de este modelo propuesto.

Dicho modelo se centra en el desarrollo de un entorno de trabajo donde modelar la sostenibilidad integrada de productos y procesos de fabricación teniendo como base la información arrojada por el análisis del ciclo de vida desde un enfoque compuesto por el marco de la triple E donde se identifican los impactos de los tres ejes de la sostenibilidad (De las Heras, 2015).

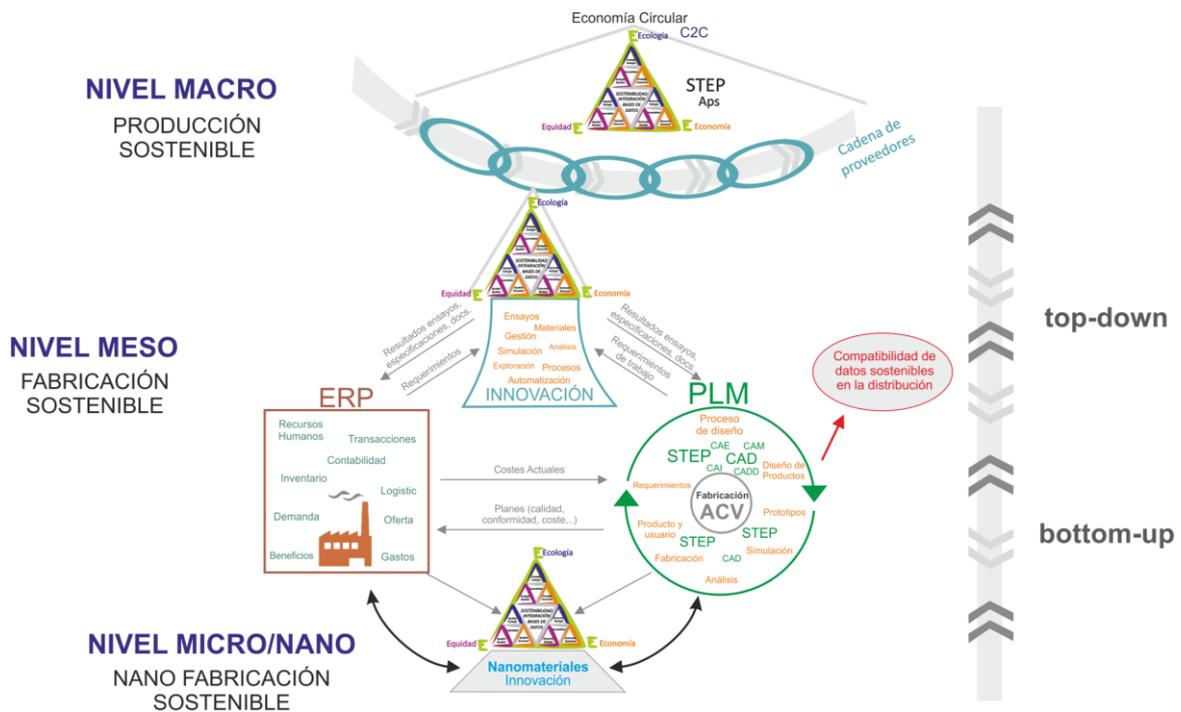
Se trata de un modelo que integra toda la cadena de proveedores y todo el proceso de diseño y fabricación del producto, es decir, el ciclo de vida del producto (desde su concepción hasta su eliminación). Se habla de tres niveles diferentes: Macro, Messo y Micro/Nano donde se desarrollan estrategias de sostenibilidad y de integración de las tres dimensiones de la sostenibilidad con las características específicas de éstos (Aguayo, 2012).

Bajo la triple E de la sostenibilidad, que es donde se arraiga la base del modelo, comienza el nivel Macro, que, partiendo del producto en general, se tiene en cuenta la transferencias de materiales y/o archivos en la distribución del producto siempre bajo el amparo de la normativa de transferencia y normalización STEP (AENOR, 2002). Para ello, se tienen en cuenta las APs (Application Protocols) específicas de cada proceso productivo. En ese nivel se habla de Producción Sostenible. En este punto se arraiga el eje central de los avances en investigación actuales del proyecto.

Si se continua el análisis del siguiente nivel (messo), siempre bajo la triple E (Peralta, 2011), se agrega en este punto la integración del sistema integrado de ERP-PLM (Enterprise Resource Planning - Product Life Cycle Management) (Tamaki, 2015) sostenible donde el ACV, los sistemas CAD y la normalización de las bases de datos (y su compatibilidad) hacen que se cree en la empresa un solo núcleo sostenible, integrado por diferentes actores pero siempre normalizado y compatible. En este nivel, se habla de Fabricación Sostenible.

Como último nivel, Micro/Nano, se apuntan a las investigaciones y utilización de nanomateriales que afecten a la fabricación del producto. En el nivel anterior, se hacía hincapié en la Innovación que, será en este nivel donde existe un potencial mayor, pero como durante todo el modelo se habla de una filosofía Top-Down y Bottom-Up donde la información y la transferencia de datos es un canal en ambas direcciones, el núcleo central de Innovación Sostenible afecta a todos los niveles ya que será la empresa gracias a su gestión y análisis la que extraiga y distribuya dichas propuestas.

Figura 1: Contexto del Modelo



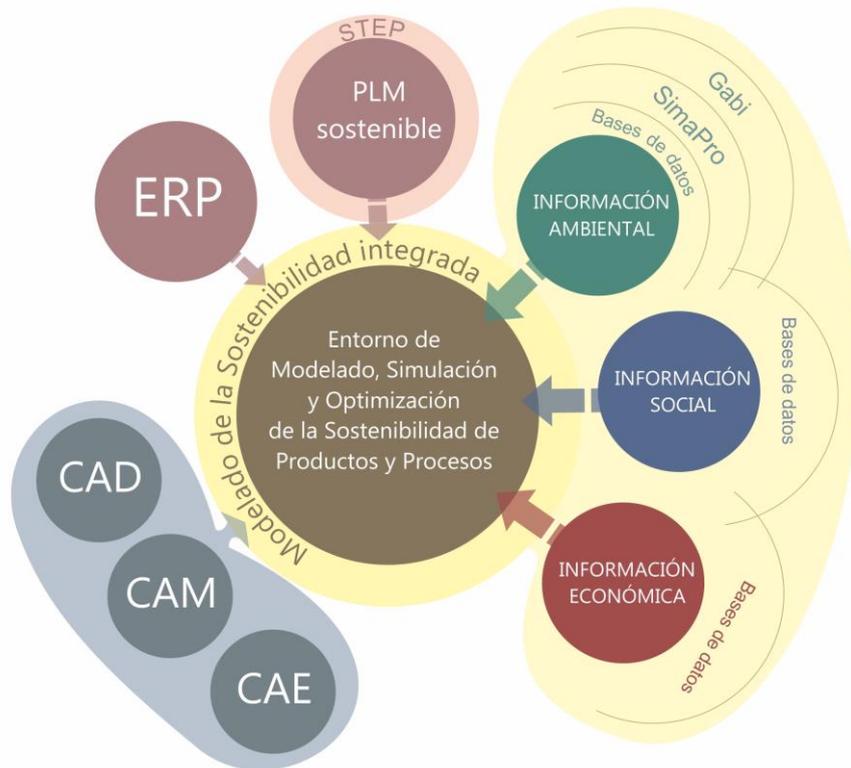
Nota: Elaboración propia.

El objetivo principal del presente trabajo se incardina en el análisis de la normativa ISO 10303 que regula el intercambio de datos entre diferentes agentes dentro de un sistema de PLM en cualquier empresa del sector industrial. Con el análisis de la estructura de la norma y los protocolos de intercambio asociados a ella, se pretende la profundización de las diversas orientaciones de la investigación del proyecto. Sin dejar de lado el objetivo último de éste que propone que la información de la sostenibilidad del producto se encuentre siempre activa y al alcance de cualquier agente interviniente en el proyecto. Debido a la extensa estructura y dimensión del proceso de diseño, desarrollo y fabricación de un producto, se analizarán los niveles de desarrollo de estándar dividiendo en nivel de producto y nivel de protocolo de aplicación a un sector concreto.

## 2. Marco de trabajo

El proceso de diseño y desarrollo de productos se lleva a cabo a través de softwares de diseño CAD/CAE/CAM. En dicho proceso existe un intercambio regulado por la normativa ISO 10303, concretamente con las AP203, 214, 224, 240 y 238 que componen el área de aplicación de protocolos de transferencia de datos en todo el proceso de diseño y manufactura de piezas, respaldado por la gestión de un sistema PLM (ingeniería concurrente) (Ye, Zhang 2013) por lo que, la unión de todos los componentes se observa la interacción entre ellos y el punto de partida para un planteamiento preliminar de modelo.

**Figura 2: Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad.**



Nota: Elaboración propia.

En cualquier escenario industrial, la mayoría de los productos son conjuntos compuestos por piezas o subconjuntos producidos por diferentes empresas. Dichas empresas tienen la necesidad de intercambiar mucha información en diferentes formatos. En ocasiones, los softwares que se utilizan no son los mismos e incluso hay problemas de incompatibilidades en los formatos de codificación de éstos.

Dada la necesidad de unos estándares que resuelvan el problema de transferencia de datos, la norma ISO 13030 tiene el objetivo de proveer un mecanismo que sea capaz de describir la información de un producto a través de su ciclo de vida, independientemente de cualquier sistema en particular (Le Duigou, 2012). La naturaleza de esta norma la convierte en la adecuada, no solo para un intercambio neutral de archivos, sino que también se convierte en un pilar donde se sitúa el proceso de implementar y compartir bases de datos de productos y ficheros entre diversos agentes.

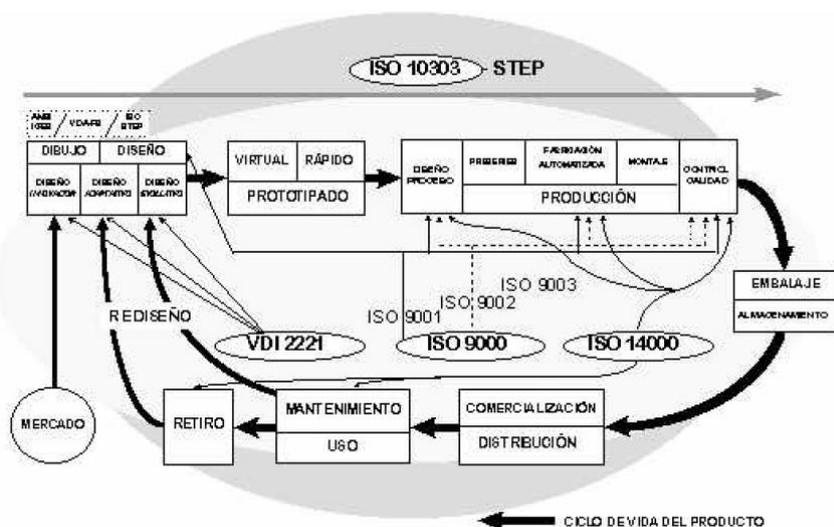
STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) es la propuesta que sigue la norma ISO 13030. Se trata de un estándar para el intercambio de datos de modelo del producto donde su protocolo AP224 supone aquel orientado a la fabricación del producto. Dicho estándar internacional, que permite la descripción y representación de información de productos industriales, es utilizado con el fin general de intercambiar esa información generada acerca de un producto a lo largo de su ciclo de vida, es decir, durante su diseño, fabricación, uso, mantenimiento y eliminación, controlando tanto el propio proceso de fabricación como la pieza final. El ciclo de vida del producto se entiende, también, desde que surge la necesidad de que el producto sea creado hasta su clausura, incluyendo sus etapas intermedias, como pueden ser el diseño de productos complementarios, diseño de procesos, fabricación y mantenimiento, así como un número de ciclos de rediseño, modificación...etc.

En todo este proceso es necesario un intercambio de datos en el equipo de diseño y, posteriormente, incluso con otros departamentos de la empresa: marketing, producción, comercial,...

Se considera el mejor formato neutral ya que traslada sólidos individuales y ensamblajes enteros, mientras mantiene la estructura del ensamblaje y el posicionamiento de los componentes dentro del ensamblaje, representados en un formato que puede ser reconocido por diferentes programas.

Se entiende, por lo tanto, que dicho ciclo puede entrañar muchos sistemas informáticos, incluyendo algunos que pueden estar ubicados en diferentes organizaciones o empresas que participen en su diseño o modificación. Las organizaciones deben ser capaces de representar su información sobre el producto en un soporte informático que pueda ser interpretado de forma común por todas las demás organizaciones para seguir siendo completado al intercambiarse entre los diferentes sistemas informáticos. Se crea formato neutral diseñado de tal manera que el modelo creado en un determinado paquete pueda ser leído fácilmente en cualquier otro sistema CAD, CAE y/o CAM.

**Figura 3: Gráfico de Normas que afectan al ciclo de vida del producto**



Debido a su amplitud, la norma ISO 10303 se organiza en bloques, todos ellos divididos a su vez en una serie de partes a las que se le asocia un número identificativo. Cada serie se agrupa también en distintas partes que, todas ellas juntas, forman la norma ISO 10303, siendo cada parte de la norma un capítulo independiente que puede ser usado, en cambio, por otro epígrafe de la norma. Existen 7 partes dentro de la estructura de la norma:

**Tabla 1. Estructura Norma ISO 10303**

<b>PARTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
PARTE 1: 1-9	INTRODUCCIÓN
PARTE 2: 11-19	DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS
PARTE 3: 21-29	FORMAS DE IMPLEMENTACIÓN
PARTE 4: 31-39	CONFORMIDAD PROBANDO METODOLOGÍA
PARTE 5: 41-49	RECURSOS GENÉRICOS INTEGRADOS
PARTE 6: 101-109	RECURSOS INTEGRADOS DE APLICACIÓN
201...	APLICACIÓN DE PROTOCOLOS

La parte con mayor peso es la referente a los denominados Protocolos de Aplicación o APs. Un AP es una especificación de una estructura de información para un área específica de aplicación y cada AP pertenece a un área de aplicación distinta. Dichas APs están agrupadas en tres áreas principales:

1. Diseño:

- Mecánica: APs: 201, 203, 204, 207, 209, 214, 235, 236
- Construcción: APs: 202, 225
- Conectividad orientada a la electricidad, electrónica y ventilación: APs: 210, 212, 227
- Aviones/Buques: APs: 215, 216, 218
- Otros: APs: 232, 233, 237

2. Fabricación: APs: 219, 223, 224, 238, 240

3. Soporte del Ciclo de Vida: APs: 239, 221

**Las AP203, 214, 224, 240 y 238 componen el área de aplicación de protocolos de intercambio de datos en todo el proceso de diseño y manufactura de piezas.** Si bien es necesario apuntar que en la manufactura, existen diferentes protocolos según el proceso de fabricación. La AP 223 es para piezas fundidas, la AP 229 para piezas forjadas,...

De los siguientes Protocolos, APs, se desarrollan con mayor detalle los siguientes que tienen una repercusión sobre áreas importantes en el ciclo de vida del producto.

### **AP203**

AP203 está destinada a la configuración controlada diseños 3D de piezas y conjuntos mecánicos. En este protocolo se habla de geometría de contorno exacto. Los siguientes campos son los que incluyen este protocolo:

- Productos que tienen partes tridimensionales mecánicas y ensamblajes.
- Datos de definición de productos y dato de control de configuración relacionados con la fase de diseño del producto.
- Propiedades de tolerancia dimensional de las piezas.
- Anotaciones textuales y notas aplicadas a la representación de las formas geométricas.
- Representación de colores, capas y grupos de capas dentro de la forma geométrica.

## AP214

Mientras que los protocolos de paso previo (como era la AP203) sólo podían intercambiar representaciones de contorno de exacto y geometría facetada, el protocolo AP214 tiene en cuenta los sólidos y superficies múltiples. Con sus capacidades de sintaxis de alto nivel y su orientación a objetos, lenguaje de modelado de datos, Express, pretende abordar todo el ciclo de vida del producto, desde el diseño hasta el mantenimiento, y de la comercialización a la fabricación.

ISO 10303-214:2003 especifica el uso de los recursos integrados necesarios para el ejercicio y requisitos de información para el intercambio de información entre las aplicaciones que dan soporte al desarrollo de los aspectos mecánicos de los vehículos de motor. Los siguientes campos son los que incluyen este protocolo:

- Artículos de los fabricantes de automóviles y sus proveedores. Estos productos incluyen piezas, ensamblajes de piezas, herramientas, conjuntos de herramientas y materias primas. Las partes consideradas incluyen los componentes de la carrocería del coche, de la cadena de tracción, del chasis y del interior. Las herramientas incluyen las específicas de los productos producidos y utilizados por diversas tecnologías de fabricación. Las materias primas incluyen los utilizados para producir las piezas o las herramientas.
- Los datos de definición de productos y datos de control de configuración para la gestión de un gran número de variantes de productos de automoción durante la fase de diseño.
- Identificación de las piezas realizadas físicamente o de herramientas, por ejemplo, para la construcción de prototipos.
- Identificación de las piezas estándar, basados en las normas internacionales, nacionales o industriales.
- Los datos que permiten identificar al proveedor de un producto y la información de los contratos correspondientes.
- los siguientes ocho tipos de representación de la forma de una pieza o de la herramienta:
  1. Representación 2D-alambre
  2. Representación 3D-alambre
  3. Representación superficie geoméricamente acotada
  4. Representación de la superficie topológica acotada
  5. Representación facetas límite
  6. Representación límite
  7. Representación de forma.
  8. Representación geometría sólida constructiva.
- Representación de la forma de piezas o herramientas que es una combinación de dos o más de estos ocho tipos de representación de forma.
- Dibujos en 2D (planos de diseño).

## AP224

La AP 224 es una especificación de datos del producto digital independiente del proveedor que incluye toda la información necesaria para fabricar y ensamblar una pieza mecanizada. Además de la geometría de la pieza información (dimensión y tolerancia), AP224 captura características de la pieza, material, superficie terminar y otra información de notación necesaria en la fabricación. Se trata de la posibilidad de un intercambio entre fabricantes sin problemas de especificaciones ni falta de información, es neutral.

### AP238

El estándar AP238 STEP-NC es el resultado de un esfuerzo internacional de diez años para reemplazar los códigos de intercambio existentes en normas anteriores en un lenguaje asociativo moderno que conecta los datos de diseño CAD utilizado para determinar los requisitos de mecanizado para una operación con los datos de proceso de CAM que resuelve esos requisitos. El principio fundamental es el de transformar la información en un formato estandarizado de toda la cadena de producción.

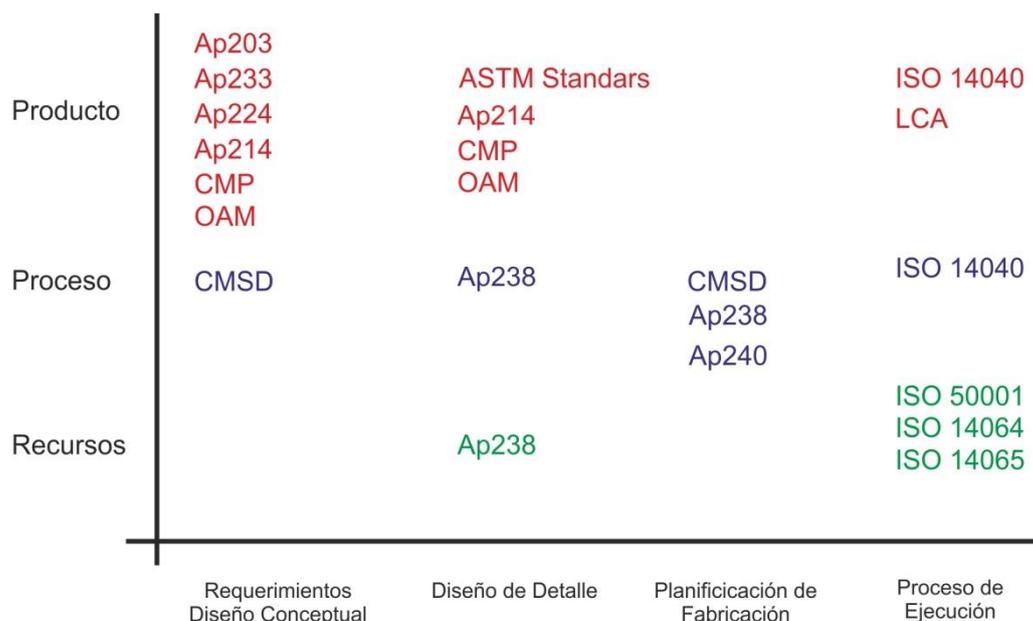
La AP238 utiliza las definiciones de STEP en la geometría y el reconocimiento de operaciones que permite una mejor explotación del modelo CAD para posteriormente, desarrollar las especificaciones del mecanizado.

### AP240

En la AP240 (Application Protocol for Process Plans for Machined Products) se especifican los planes de procesos de diseño, tanto en control numérico como en operaciones manuales que deben estar presentes en le mecanizado de las piezas.

La figura ilustra cómo las normas se agrupan en las diferentes fases del ciclo de vida, desde el diseño hasta la fabricación y la documentación de mantenimiento.

**Figura 4: Gráfico escenario APs en ciclo de vida del producto**



Nota: Elaboración propia.

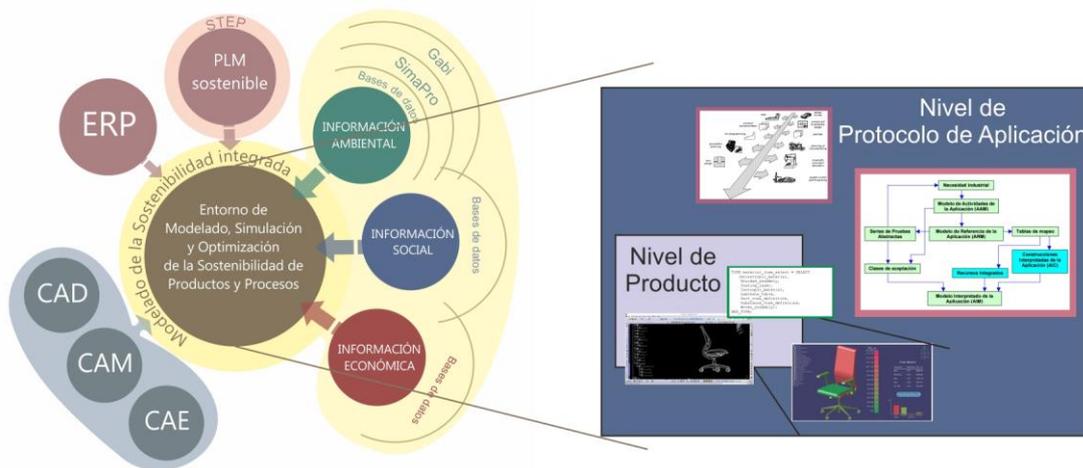
Hasta el momento no se incluyen en dichos protocolos estándares referidos a la sostenibilidad integrada en el intercambio de información. Los aspectos relacionados con la incidencia de los materiales, residuos, eficiencia energética o aspectos de creación de ciclos cerrados dentro de la manufactura sostenible no se aplican en estos protocolos por lo que supone un aspecto importante donde impulsar las oportunidades de investigación y diseño para la adecuación de un proceso de gestión de los datos del PDM (Product Data Management) de la empresa, donde se encuentran todos los archivos (utilicen protocolos de intercambio o no) donde es se plantea la necesidad de recoger todos los aspectos sostenibles posibles.

### 3. Niveles Metodológicos

Tras la información expuesta acerca de la organización de la ISO 10303, es necesario estructurar la necesidad que deviene de la creación del *Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad* y el intercambio de datos asociados a dicha sostenibilidad estructural.

Existen dos niveles diferenciados en los que poder trabajar con los estándares de intercambio de información en el ciclo de vida de productos completo. Estos niveles son: Nivel de Producto y Nivel de Sector Industrial. Cada uno de estos niveles está relacionado con una parte de la normativa ISO 10303: ficheros de intercambio STEP y Protocolos de Aplicación (APs), respectivamente. Se trata, por ello, de dos posibilidades de desarrollo metodológico para la inclusión de los datos de sostenibilidad de productos para la realización de un ACV incorporando la información necesaria a esta metodología junto con las bases de datos de los tres pilares de la sostenibilidad en un motor de cálculo común. En la figura 6 muestra el planteamiento de estos niveles.

Figura 5. Niveles de intercambio de datos bajo la ISO 10303



Nota: Elaboración propia.

Durante el modelado de una pieza, nivel de producto (primer nivel), se introduce información general que es trasladada al fichero STEP en el intercambio. Se aporta información de los materiales, geometría, tolerancias (que afecta al ensamblaje) y acabados superficiales. En la siguiente imagen puede verse la recuperación de un fichero STEP de la caracterización que ofrece de un material en una pieza de una manivela realizada en fibra de carbono reciclado. En este ejemplo se puede deducir que las características de este material son más extensas en cuanto a su carga sostenible de las que se vuelcan en el fichero. Dicha información sensible a ser posteriormente tratada en por los motores de cálculo para un ACV (Análisis del Ciclo de Vida) podría ser la referida a cargas ambientales del producto, cantidad de CO2 en su extracción o manipulación, datos energéticos de éste, comportamiento ambiental en su composición reciclada,...

**Figura 6. Ejemplo datos caracterización material fichero STEP**

```
TYPE material_item_select = SELECT
  (Anisotropic_material,
   Braided_assembly,
   Coating_layer,
   Isotropic_material,
   Laminate_table,
   Part_view_definition,
   Substance_view_definition,
   Woven_assembly);
END_TYPE;
```

Nota: Fuente Information structure for manufacturing sustainability assessment: step for LCA (Zhao, 2013).

Es por ello que en este primer nivel, debe existir el acceso a los datos de material (desde las propiedades al escenario de fin de vida) en la primera etapa del diseño. Significa desarrollar un almacenamiento de datos específico para las propiedades del material (dependiendo del proceso de obtención del material: material virgen, reciclado, remanufacturado,...) (Perry & Uys 2010).

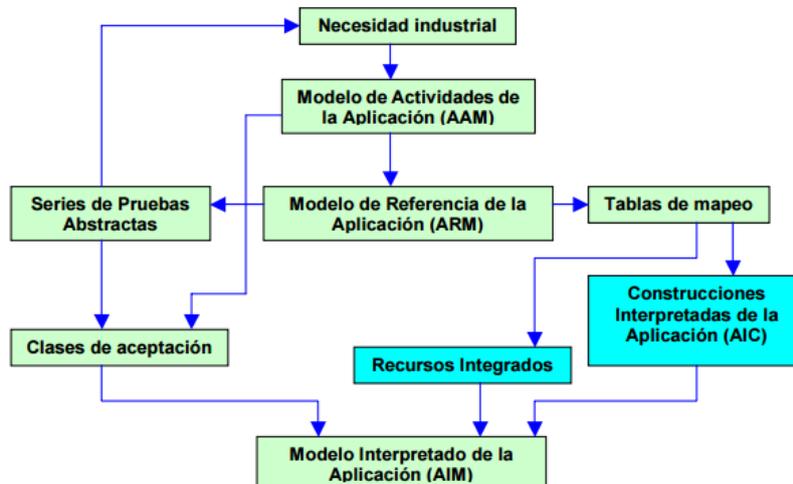
En cuanto al segundo nivel, los protocolos de aplicación, la información sensible a ser recuperada e incorporada a los motores de cálculo sería aquella referida a todos los procesos que influyen en un sector concreto, desde los procesos de fabricación, tipo de maquinaria, transporte,...

Los Protocolos de Aplicación, la serie 200 de la Norma ISO 10303, definen requerimientos de una aplicación de datos de un producto en relación con una necesidad concreta de un sector (en nuestro caso sería la transferencia de datos sostenibles de producto), no sólo describiendo cómo se usan esos datos para describir el producto, sino también cómo los datos son usados en el modelo. Estos debe contrastarse con la naturaleza genérica e independiente de la aplicación de un archivo STEP, por ejemplo, para definir las representaciones estándares de la geometría aplicable a cualquier sector industrial de la parte 42. Un protocolo de Aplicación definirá, por ejemplo, cómo estas representaciones se usan para intercambiar la forma diseñada de una pieza en concreto y su posterior tratamiento de datos (Del Rio, 2005).

La complejidad reside en que para la creación de un Protocolo de Aplicación, ISO recomienda seguir tres pasos:

1. Desarrollo de un Modelo de Actividades de la Aplicación (AAM): El objetivo es describir los procesos, flujos de información y requerimientos funcionales de la aplicación.
2. Desarrollo de un Modelo de Referencia de la Aplicación (ARM): Este modelo provee de un análisis detallado de los requerimientos de la aplicación industrial. En este modelo se incluyen las relaciones entre objetos y las Series de Pruebas Abstractas (series para validad y verificar que el estándar final cumple con las necesidades). Este modelo se escribe en modelos de datos EXPRESS (ISO 10303-11)
3. Desarrollo de un Modelo Interpretado de la Aplicación (AIM): Representa y contempla toda la información que es posible transferir. Se ayuda de otros modelos independientes aplicables a todas los APs.

Figura 7: Esquema de Realización de un Protocolo de Aplicación.



Nota: Fuente Intercambio de Modelos Solidos Entre Distintos Sistemas de CAD Mediante el Formato Neutro Step (Del Rio, 2005)

#### 4. Conclusiones

Tras el estudio realizado de la situación de la normativa ISO 10303, su estructura y los diferentes niveles de actuación para la incorporación de los datos de sostenibilidad para su posterior tratamiento en la aplicación de la metodología de ACV, surge la necesidad de una mayor profundización en el nivel adecuado para la continuación de la investigación donde organizar una metodología de trabajo que aúne las necesidades ambientales con las de intercambio de datos en el proceso de diseño y desarrollo de productos.

Si bien, la creación de un Protocolo de Aplicación conlleva un proceso metodológico complejo, supone un paso hacia delante en el procedimiento de actuación para el diseño y desarrollo de productos bajo un entorno sostenible. Esto supone la resolución de conflictos ambientales futuros por el tratamiento de datos sensibles en etapas tempranas del proceso de fabricación de productos con información ambiental bajo la triple E.

Debido a que es en las primeras etapas del proceso de diseño, desarrollo y fabricación de productos donde existe una interacción del intercambio de datos significativa para la toma de decisiones sostenibles en sus tres pilares, se plantea la posibilidad de investigación en el nivel de producto. La futura puesta en común y procesamiento de datos con las bases de datos de los softwares de ACV con su naturaleza a nivel de producto, hace que suponga la opción elegida para los siguientes desarrollos.

Por otro lado, se hace necesario plantear acciones relacionadas con un nivel superior (protocolos de aplicación) ya que supondrá el desarrollo a nivel de sector industrial de unas guías de trabajo e intercambio de datos para mejorar y avanzar el concepto de ingeniería concurrente adoptando la sostenibilidad como parte estructural del diseño y fabricación de productos.

Es por ello, que la línea de investigación se orientará en la consecución y el diseño de la estructura a nivel de producto así como en el análisis profundo de la adecuación de los datos para su tratamiento por los motores de cálculo que arrojen la información de ACV en

el *Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad* con mayor claridad y sencillez posible.

## 5. Bibliografía

- AENOR. (2002) *Sistemas de automatización industrial e integración. Representación de datos de producto e intercambio*. ISO 10303-210:2002. España.
- Aguayo, F., De las Heras García de Vinuesa, A. & Lama Ruíz, J.R. (2012). Modelo de sostenibilidad global para el diseño y desarrollo de productos en la cadena del valor. *16º International congress on project engineering*, Valencia.
- De las Heras, A. et al. (2015). Estado del arte del ACV sostenible de los productos bajo la perspectiva STEP. *19th International Congress on Project Management and Engineering*. Granada, Julio 2015.
- Del Rio Cidoncha, M.G. et al. (2005). Intercambio de Modelos Solidos Entre Distintos Sistemas de CAD Mediante el Formato Neutro Step. *Anales de Ingeniería Gráfica*, 17. 43-48
- Le Duigou, J. et al. (2012) Generic PLM system for SMEs: application to an equipment manufacturer. *International Journal of Product Lifecycle Management* 6:1, 51-64.
- 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*. Vol.86-2, 199-211.
- Perry, N. & Uys, W. (2010) Knowledge integration based on road mapping and conceptual framework approach to ease innovation management. *IJCAT*, 37(3-4). 165-181.
- Ye, X. & Zhang, X. (2013). *PLM for multiple lifecycle product*. Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo.
- Tamaki, K., Park, Y. & Goto, S. (2015) A professional training programme design for global manufacturing strategy: investigations and action project group activities through industry-university cooperation. *International Journal of Business Information Systems* 18:4, 451-468.
- Zhao, Y. et al. (2013) Information structure for manufacturing sustainability assessment: step for LCA. *6th International Conference on Life Cycle Management*, Aug 2013, Sweden. Life Cycle Management, Session Sustainable production, 2013