

## EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D

J. R. Llata, E.G. Sarabia, C. Torre-Ferrero, R. Sancibrian  
Universidad de Cantabria (España)

llataj@unican.es, esther.gonzalezs@unican.es; torrec@unican.es; sancibr@unican.es

### Resumen

*El presente trabajo se centra en la utilización de Tecnologías-3D, y más concretamente de sistemas de gestión de ciclo de vida del producto (sistemas PLM) de tipo industrial, como plataformas de enseñanza virtual colaborativa para la formación en Automática de estudiantes de las titulaciones universitarias de grado y/o máster con contenidos en automática y, especialmente, para las titulaciones relacionadas con la ingeniería industrial. Se muestra como los modernos sistemas PLM no solo permiten desarrollar competencias vinculadas al trabajo en grupo colaborativo y concurrente, si no que, además, permiten diseñar experiencias prácticas formativas vinculadas con los contenidos propios de las asignaturas de ingeniería de sistemas y automática, al tiempo que se está formando al alumno un entorno cada vez más empleado en ingeniería y que es pieza clave en la Industria del Futuro (IoF) o Industria 4.0 (I4.0).*

**Palabras Clave:** Tecnologías-3D, Ingeniería de Sistemas y Automática, Industria del Futuro, Industria 4.0, Sistemas PLM.

### 1 INTRODUCCIÓN

Como es bien conocido, en el momento actual las industrias están sometidas a exigencias vinculadas a un mercado globalizado y esto afecta directamente a una mayor competencia en precio, a mayor exigencia en la calidad del producto, al desarrollo de nuevos productos ajustados a la demanda del cliente, a la globalización del diseño, la participación de numerosos suministradores deslocalizados, a la necesidad de ingeniería concurrente, etc.

Para hacer frente a todos estos requisitos las industrias necesitan aplicar un conjunto de nuevas tecnologías y es en este momento [14] [17] [18] [19] [23] cuando su implantación está dando lugar a una rápida y profunda transformación. Esta evolución, relacionada con la innovación en el campo de las tecnologías digitales y la inteligencia artificial, se

considera como la "cuarta revolución industrial" y se denomina indistintamente como "Industria 4.0" (I4.0) o como "Industria del Futuro" (IoF) en Europa.

La implantación de la IoF/I4.0 requiere la utilización combinada de un conjunto de tecnologías/técnicas entre las que cabe citar con especial relevancia las *Tecnologías-3D (T-3D)* y las técnicas y tecnologías vinculadas con el *Área de Conocimiento de Ingeniería de Sistemas y Automática (TT-ISA)*, así como las tecnologías relacionadas con las TICs, si bien el presente trabajo se centrará únicamente sobre las dos primeras.

Es importante resaltar el hecho de que hasta hace muy poco tiempo, las T-3D y las TT-ISA utilizaban entornos de diseño y simulación especializados muy diferentes, que hacían difícil la interacción entre profesionales y académicos de diferentes áreas de conocimiento y no facilitaban el trabajo colaborativo ni el desarrollo de ingeniería concurrente. De esta forma, era complejo obtener un diseño integrado del producto y su correspondiente proceso de fabricación y de servicio.

Sin embargo, en la actualidad, están surgiendo modernas herramientas software de gestión de ciclo de vida del producto (PLM) que permiten integrar ambas tecnologías sobre una misma plataforma.



Figura 1: Ejemplo de utilización de Tecnologías-3D para diseño de procesos de fabricación robotizados presentado en DELMIA®

Un claro ejemplo de esto son los modernos sistemas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM). La figura 1 muestra un ejemplo de como las T-3D permiten diseñar procesos de fabricación robotizados, programando y verificando las programación de forma off-line.

Además, y atendiendo ahora a la formación universitaria, la utilización de plataformas PLM presenta, entre otras muchas, la ventaja de que, además de poder ser utilizadas para diseñar experiencias prácticas formativas vinculadas con los contenidos propios de las asignaturas de automática, en especial de aquellas relacionadas con los sistemas ciberfísicos, al utilizarlas se está formando al alumno en la utilización de un entorno colaborativo cada vez más empleado en ingeniería y que es pieza clave en lo que se denomina como Industria del Futuro (IoF) o Industria 4.0 (I4.0).

Siguiendo esta idea, este trabajo presenta dos casos de estudio en los que se muestra cómo las T-3D y las TT-ISA pueden ser utilizadas conjuntamente para proporcionar una mejor experiencia del aprendizaje de la Automática a los estudiantes, potenciando sus competencias digitales en las T-3D (entorno CAD / CAM / CAE / PLM), trabajo colaborativo e ingeniería concurrente, así como en las tecnologías y competencias relacionadas IoF/I4.0 [13] y, de esta forma, aumentando su perspectiva de empleabilidad e impulsando el interés futuro de los estudiantes sobre estos estudios.

## 1.1 INDUSTRIA DEL FUTURO

La IoF/I4.0 busca generar un modelo de fabricación con gran capacidad de adaptación y flexibilidad, con alta eficiencia, orientada al cliente y todo esto sin perder de vista la mejora en la ergonomía en los puestos de trabajo, la seguridad de las personas, el medio ambiente, etc.

Se puede decir que la IoF/I4.0 está basada en seis pilares básicos. Automatizada: Búsqueda de la mayor automatización posible en base a PLCs, Robot Industriales de diversos tipos y configuraciones que incorporan sensores que permiten interactuar de forma más inteligente con el entorno y con las diversas máquinas herramienta con las que trabajan de forma coordinada durante el proceso de fabricación. Flexible: Los sistemas de producción son capaces de adaptarse a nuevos productos, cantidades y plazos (JIT: Just-in-Time) según necesidades del cliente. Inteligente: Dotación de cierto nivel de inteligencia artificial en los diferentes recursos de fabricación (máquinas-herramienta, útiles, robots, elementos logísticos, etc.) de forma que sean capaces de tomar determinadas decisiones en función de las

condiciones cambiantes del entorno. Sostenible: Minimización de la contaminación, ahorro de energía y materiales. Conectada: Tanto los recursos como las personas están conectadas con los centros de producción, diseño y gestión, independientemente de la distancia a la que se encuentren. Colaborativa: Por un lado, utilización de plataformas colaborativas por parte de las personas para potenciar a colaboración al máximo nivel y entre todos los agentes involucrados en el ciclo de vida del producto y, por otro lado, espacios de colaboración entre personas y máquinas para el desarrollo de tareas conjuntas, manteniendo total seguridad para las personas, bienes y equipos.

La implantación de la IoF/I4.0 establece la posibilidad de utilización combinada de un conjunto de tecnologías que podemos englobar en las siguientes grandes áreas. Por un lado están las vinculadas con las tecnologías de la información y comunicación (TICs), tales como, Internet de las Cosas (IoT), Computación en la Nube (cloud Computing), BigData, Data-Mining, etc. Por otro lado, y con carácter disruptivo, están las TT-ISA, tales como la robótica industrial, robótica colaborativa, los sistemas de control avanzado, los útiles y utillajes inteligentes, la automatización completa (Full-Automation), los sistemas ciberfísicos, la mecatrónica, la inteligencia artificial y las técnicas de control inteligente, los sensores inteligentes, la puesta en marcha virtual (virtual commissioning), modelado y simulación de sistemas, la visión por computador, la incorporación de hardware en el lazo de control virtual (hardware in the loop), etc. Finalmente, y cara a la transformación digital de la empresa, las T-3D tienen enorme importancia, tanto durante todo el ciclo de vida de los nuevos productos de alto valor añadido e innovadores, como en el diseño del proceso de fabricación, máxime cuando en la actualidad para un mismo producto deben coordinarse y colaborar de forma conjunta y concurrente numerosas áreas de conocimiento de ingeniería, suministradores de componentes, equipos, materiales, maquinaria, utillajes, etc. Es obligado señalar en este punto que además de las tecnologías señaladas existen otras muy importantes (informática, nuevos materiales, nuevas fuentes de energía, química, etc.).

## 1.2 TECNOLOGÍAS-3D

Una parte importante de IoF/I4.0 recae sobre las T-3D, esto es las tecnologías que se ocupan de la ingeniería virtual, es decir, de la tecnología que utiliza computadores para la simulación física y geométrica de sistemas reales. Ver Figura 1. Hoy en día, estas T-3D son esenciales para el diseño de ingeniería, desarrollo de procesos y fabricación y algunos de sus componentes son los siguientes.

El software de diseño asistido por ordenador (CAD) surgió a principios de 1980 y permitió al diseñador crear modelos geométricos tridimensionales muy realistas de productos. Este software permite también asignar propiedades específicas, tales como el tipo de materiales, a las partes tridimensionales y, por lo tanto, establecer sus propiedades físicas. Estas propiedades físicas son utilizadas posteriormente por otras herramientas 3D en el proceso de simulación dinámica.

La Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) y la Fabricación Asistida por Ordenador (CAM) también forman parte de las T-3D. Aparecieron en la misma década, sin embargo, intentaron simular el comportamiento físico del producto y no sólo las características geométricas.

Por otra parte, es importante destacar que el trabajo colaborativo en diferentes campos de la ingeniería es esencial para el desarrollo de nuevos productos competitivos y de valor agregado. De hecho, hoy en día los equipos multidisciplinarios deben trabajar juntos para diseñar y crear nuevos productos y usualmente utilizan el software de ingeniería asistida por computadora (CAE) como una herramienta para lograr sus metas en el diseño. El software CAE es un elemento clave de diseño porque permite a los ingenieros simular y probar diseños en diferentes campos (mecánicos, termodinámicos, dinámica de fluidos, diseños eléctricos y electrónicos, sistemas de control, etc.). En los últimos 20 años las empresas que desarrollan el software CAE no consideraron la interacción entre los diferentes campos de ingeniería en sus productos. Esto significa que los ingenieros que trabajan en diferentes campos, pero quizás en el mismo producto, tuvieron problemas para interactuar entre ellos. Sin embargo, esta cuestión ha cambiado sustancialmente en la última década y las nuevas herramientas CAD están diseñadas para mejorar la interacción entre todos los miembros involucrados en el proceso de diseño y fabricación.

La gestión de datos de producto (PDM) surgió como la necesidad de proporcionar un acceso fácil y seguro a los datos creados durante el desarrollo del producto. El software de PDM utiliza bases de datos como repositorio para diferentes tipos de documentos que tienen como objetivo organizar, mantener y generar información disponible para todos los actores del diseño [4]. PDM se centró en el dominio de ingeniería, pero fracasó en otras actividades relacionadas con negocios tales como marketing, ventas, etc.

Los sistemas PLM (Product Lifecycle Management) surgieron a principios de los años 2000 y se propusieron como una herramienta para intercambiar información y trabajar juntos en el ciclo de vida

completo del producto [1] [25]. Los objetivos del PLM tratan de cubrir todas las etapas del desarrollo del producto integrando los procesos y las personas que participan en el proyecto [22]. Por lo tanto, el enfoque PLM intenta integrar todas las herramientas de software involucradas en el desarrollo del producto durante el ciclo de vida del producto. Toma en cuenta también la necesidad de una colaboración multidisciplinaria, independientemente de la ubicación geográfica de las empresas y partes interesadas que participan en los proyectos [26] [27]. De hecho, la evaluación del producto o procesos a desarrollar requiere que los datos sean accesibles a cualquier persona en la cadena de valor, desde las etapas iniciales del diseño hasta el producto final o su retirada del mercado. Este procedimiento de ingeniería colaborativa permite a los ingenieros llevar a cabo tareas de superposición en paralelo, haciendo posible reducir el tiempo y el coste asociados a los diseños y mejorar la calidad de los productos [25]. Con el fin de abordar esta cuestión PLM permite la gestión de la innovación colaborativa y es una herramienta crucial para el desarrollo de productos competitivos en la industria moderna [24]. PLM también incorpora ingeniería virtual, pero va más allá del mero aspecto de ingeniería del desarrollo de productos. PLM trata de gestionar toda la información del producto en todas las etapas del ciclo de vida [6] [11]. Las principales ventajas que ofrece este enfoque son que ayuda a ofrecer productos y procesos más innovadores en un tiempo más corto. Esto significa que acorta el tiempo al mercado, que es un tema muy importante en un mundo global y competitivo. Además, establece una relación más amplia y colaborativa con todos los elementos de la cadena de valor, como clientes, proveedores y socios comerciales [12].

### 1.3 INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

La ingeniería de sistemas [9] [15] [20] es una metodología interdisciplinaria que permite la realización de sistemas complejos. Se centra en definir las necesidades del cliente y la funcionalidad requerida a principios del ciclo de desarrollo, documentando los requisitos y procediendo con el proceso de síntesis del diseño. Continúa con la validación del sistema considerando la declaración completa del problema que abarca las operaciones, el rendimiento, la prueba, la fabricación, el costo y la programación, la capacitación y el soporte y la eliminación. Integra todas las disciplinas y especialmente grupos en el esfuerzo de equipo formando un proceso de desarrollo estructurado que procede desde el concepto hasta la producción y operación. Además, la ingeniería de sistemas considera las necesidades empresariales y técnicas de los clientes con el objetivo de proporcionar un

producto de calidad que satisfaga las necesidades del usuario.

Por otro lado, la disciplina de control automático tiene como objetivo facilitar y mejorar el desarrollo de diferentes actividades a las personas, colaborando con ellas o reemplazándolas en la toma de decisiones y la implementación. De manera formal el control automático es la disciplina que intenta reemplazar al operador humano en sus tareas físicas o mentales por artificios artificiales.

Este trabajo se presentan dos sencillos casos de estudio, vinculados al control automático de sistemas dinámicos, y se implementa en una plataforma colaborativa PLM de tipo industrial (Dassault Systemes 3D-Experience®).

#### **1.4 ENTORNO DE APRENDIZAJE COLABORATIVO E INNOVACION EN LA ENSEÑANZA MEDIANTE T-3D**

En el enfoque de aprendizaje tradicional la información es transmitida oralmente, con el apoyo de libros de texto específicos y el instructor es la principal fuente de conocimiento. Esta metodología de aprendizaje podría considerarse obsoleta porque la mayor parte de la información es, hoy en día, accesible para los estudiantes a través de internet y porque se demuestra que ha reducido el impacto en el aprendizaje efectivo [28]. Por estas razones es necesario cambiar las metodologías de aprendizaje, de forma que se enseñe a los alumnos a buscar, tratar y utilizar adecuadamente la información en ingeniería. En este escenario, el papel de los estudiantes no debe seguir siendo pasivo y tienen que tomar parte activa en el proceso de aprendizaje.

Un papel activo ofrece varias ventajas [21]. Por ejemplo, los estudiantes reconocen variaciones de conceptos previos cuando el contexto cambia, tienen que tomar decisiones basadas en conocimientos previos para resolver problemas de ingeniería afectados por incertidumbres, descubren nuevos canales tecnológicos para obtener información, desarrollan creatividad y capacidad de innovación, etc.

Entonces, es esencial utilizar una metodología de aprendizaje colaborativo para fomentar un papel activo de los estudiantes. Los enfoques de Aprendizaje Activo (AL) y Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL) han sido establecidos como herramientas importantes para promover compromisos activos de los estudiantes y los instructores en el proceso de aprendizaje [2] [7] [8] [10]. Además, las herramientas colaborativas basadas en web han surgido como un mecanismo adecuado para hacer efectivo el trabajo de aprendizaje,

aumentando la colaboración entre estudiantes, instructores e incluso asociados externos [3].

Por lo tanto, para aplicar una metodología colaborativa es conveniente utilizar una plataforma educativa colaborativa. De esta manera es posible facilitar la comunicación entre estudiantes e instructores. Sin embargo, podría ser mucho más interesante usar una plataforma colaborativa PLM industrial para esta interacción. De hecho, las plataformas PLM están diseñadas para obtener y compartir el conocimiento completo sobre la evolución del diseño de ingeniería y el producto final. En otras palabras, utilizando plataformas educativas colaborativas, los estudiantes tienen acceso a la documentación del curso y pueden generar una cartera con las actividades desarrolladas durante el semestre. Los instructores tienen acceso a los resultados del trabajo de los estudiantes, siguiendo sus actividades, les hacen sugerencias y evalúan su trabajo. Sin embargo, las plataformas educativas sólo muestran el resultado del trabajo de los estudiantes, pero no el rendimiento y cómo se ha realizado este trabajo. Esto se debe a que no hay aplicaciones de ingeniería incorporadas en la estructura de la plataforma. Por lo tanto, CAD/CAE/CAM son herramientas externas que deben ser utilizadas por los estudiantes, pero su uso está fuera de control para los instructores. Por esta razón, los instructores necesitan información adicional para evaluar completamente el trabajo de los estudiantes [16], mientras que toda esta información ya está incluida en el PLM.

Así, cabe considerar a las nuevas plataformas PLM industriales como plataformas educativas colaborativas virtuales donde los estudiantes pueden aprender, compartir, e intercambiar toda la información sobre sus diseños (por ejemplo, pruebas, modelos, resultados, etc.) en las diferentes disciplinas de ingeniería. Bajo este escenario, las facultades de ingeniería tienen que cambiar su forma de trabajar con los estudiantes e introducir actividades de enseñanza colaborativa utilizando plataformas del tipo PLM. Esto significa que las disciplinas de ingeniería de enseñanza no pueden ser consideradas más aisladas y la interacción debe incluirse en los grados de ingeniería. Este hecho permite el uso de plataformas PLM colaborativas y fomenta la interacción entre los estudiantes que trabajan en diferentes disciplinas.

## **2 CASOS DE ESTUDIO**

Los dos casos de estudio presentados a continuación han sido diseñados para exponer las posibilidades de aplicación de las T-3D en el desarrollo de sistemas de control básico para sistemas ciberfísicos (CPS).

En ambos casos se ha utilizado parte de la metodología V-cycle [9] [15] [20] [5], basada en las siguientes etapas: Establecimiento de requisitos esenciales para el cliente y para el funcionamiento del sistema. Definición funcional: Definición de la funcionalidad del sistema, es decir, lo que el sistema debe hacer antes de definir cómo hacerlo. Definición de la arquitectura lógica: Define la solución lógica para la definición funcional del sistema, es decir, define cómo realizar las funciones necesarias utilizando partes, interfaces, señales, equipos, algoritmos, etc. Diseño Físico: Es el mecanismo o la solución física para el sistema ciberfísico. Integración: Integró los comportamientos lógicos en real o digital. Verificación: Comprobación de las especificaciones de funcionamiento

En estos ejemplos, la plataforma PLM colaborativa industrial (Dassault Systèmes 3DEXperience®) [5] se utiliza para compartir toda la información y todas las etapas de diseño entre estudiantes e instructores. Esta plataforma incluye varios mecanismos para facilitar la comunicación entre estudiantes e instructores (aplicaciones de mensajería instantánea, lectores de páginas web, noticias, wikis, preguntas, cuadros de mando, etc.) como 3DSwYm®, las clásicas herramientas CAD/CAM/CAE para diseño de piezas, montaje, elaboración, diseño de mecanismos, simulación FEM, mecanizado, etc., así como herramientas para el diseño funcional y lógico, modelado de comportamiento dinámico, programación de robots, simulación de robots, etc.

## 2.1 SISTEMA BÁSICO DE CONTROL

Tal y como se puede ver en la figura 2, el primer caso de estudio es un sistema básico de control en el que se pretende realizar una sencilla regulación de la posición de un mecanismo muy simple. Este mecanismo presenta un único grado de libertad, correspondiente a una articulación de tipo rotacional, un accionamiento básico mediante un motor de corriente continua y un reductor acoplados al eje de la articulación, así como un sencillo sensor de posición que realimenta la posición angular del mecanismo.

Antes de comenzar con la realización del propio caso de estudio, el estudiante debe ser formado en el propio funcionamiento de una plataforma colaborativa tipo PLM. Para ello, debe conocer como es el acceso, cuales son los diferentes roles (por ejemplo, lector, contribuidor, autor, leader, propietario, administrador, etc.) y cuáles son los permisos a los que tiene acceso cada rol, los diferentes tipos de comunidades de colaboración y las herramientas básicas para la comunicación entre los miembros de la comunidad, los tipos de contenidos, etc. También es fundamental que

conozca la descripción conceptual de los que es el ciclo de vida de un producto y, en general, de todos los contenidos desarrollados dentro de la plataforma, y de los diferentes estados en los que puede estar un contenido (por ejemplo: privado, en desarrollo, congelado, disponible, obsoleto, etc.), así como el procedimiento para generar las diferentes versiones de cada producto. Con este conocimiento los alumnos acceden a la plataforma y, una vez asignadas las tareas a realizar por cada estudiante y establecidos los requisitos y la funcionalidad del sistema a desarrollar, ejecutan las diferentes aplicaciones necesarias. De esta forma, se trabajará en el diseño geométrico de los componentes, en la asignación de materiales a los mismos, en el posicionamiento geométrico de cada componente, en la incorporación de las articulaciones necesarias y la generación del mecanismo, la obtención de la cinemática y dinámica del conjunto mecánico, en el modelado dinámico y cinemático del sistema, incluyendo actuadores, reductores, sensores, etc., en el desarrollo del algoritmo de control dinámico y del control cinemático si se desea incorporar, etc., observado los resultados obtenidos y comparándolos con las especificaciones y requerimientos fijados inicialmente, etc. En la figura 2 se puede ver la estructura mecánica básica y la estructura lógica del sistema de control dinámico, así como un ejemplo de la simulación dinámica realizado en la plataforma colaborativa.

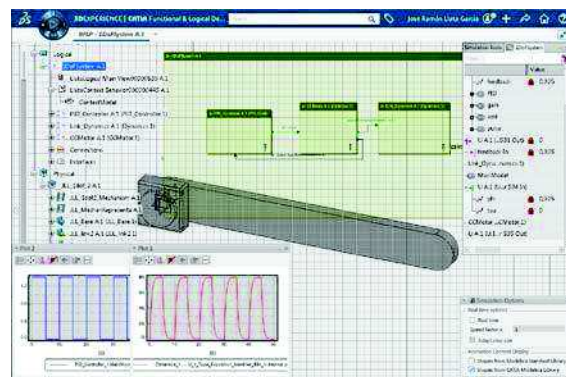


Figura 2: Ejemplo de utilización de T-3D en una aplicación básica de control de posición mediante la aplicación CATIA® Functional and Logical Design

## 2.2 DISEÑO BÁSICO DE ROBOT INDUSTRIAL

En este caso de estudio los estudiantes deber realizar el diseño básico de un robot industrial de seis grados de libertad en la plataforma PLM colaborativa industrial indicada previamente. Para ello, siguiendo la metodología del V-cycle, tomada del enfoque de ingeniería de sistemas, la etapa inicial es establecer el conjunto de requisitos para el sistema. En este caso, los requisitos están relacionados con la estructura

mecánica (grados de libertad, alcance, espacio de trabajo, arquitectura cinemática, etc.) y al comportamiento estático y dinámico (velocidades, aceleración, errores de posición en estado estacionario, etc.). Todos estos requisitos se incluyen en el sistema mediante el uso de la aplicación ENOVIA® Requirements [5], y se utilizarán durante los procesos de diseño y validación con el fin de comprobar la solución propuesta.

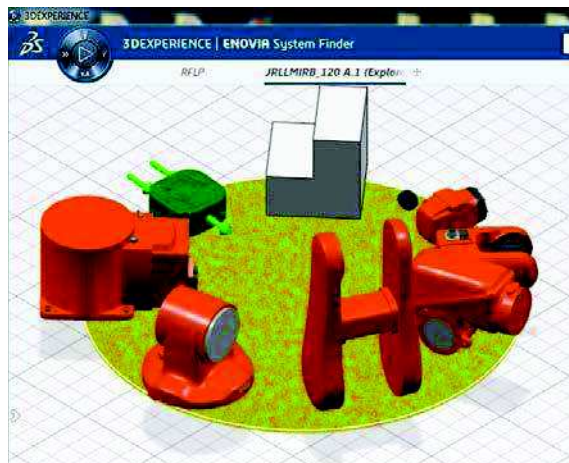


Figura 3: Diseño geométrico de los componentes mecánicos mediante CATIA® Part Design, y presentación en ENOVIA® system finder.

La segunda etapa es crear una descripción funcional del comportamiento deseado de todo el sistema. Esto se lleva a cabo con la aplicación CATIA® Functional and Logical Design [5]. En esta etapa se crean relaciones entre requerimientos y funciones. En la misma aplicación, se diseña una arquitectura lógica inicial para todos los sistemas.

La siguiente etapa es crear el sistema físico. En este caso, se han utilizado CATIA® Part Design para el diseño geométrico de los componentes mecánicos, CATIA® Assembly Design y CATIA® Mechanical Systems Design para el diseño del sistema físico mecánico [5]. Mediante el uso de estas aplicaciones es posible crear el modelo geométrico para todos los componentes y partes necesarios del sistema ciberfísico.

La figura 3 muestra la descripción geométrica de las piezas necesarias. Una vez que tengamos todas las piezas necesarias, es necesario ensamblar todos los componentes, incluyendo juntas, conexiones de ingeniería, señales de comando, materiales, etc. para obtener el mecanismo final. La figura 4 muestra el mecanismo final diseñado. Toda esta información física se utilizará en los siguientes pasos para obtener un modelo dinámico del mecanismo, no sin antes asignar las propiedades de los materiales en cada una de las piezas del sistema ciberfísico.

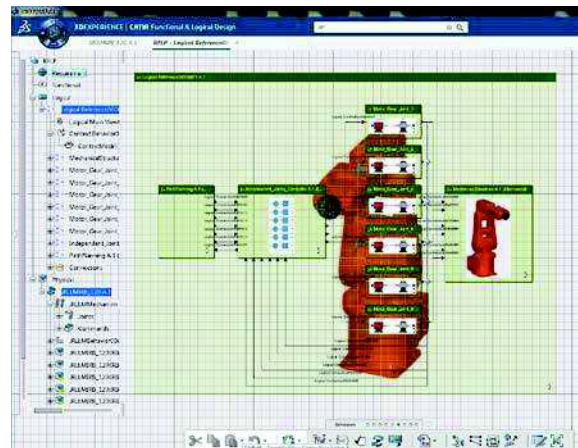


Figura 4: Diseño final del mecanismo y diseño lógico para el sistema de control, presentado en la aplicación CATIA® Functional and Logical Design.

En ese ejemplo no se ha incluido la descripción física de motores y reductores para simplificar la exposición.

Una vez que se ha diseñado una primera aproximación para el sistema físico, es posible profundizar en el diseño funcional y lógico. La figura 4 muestra el diseño lógico llevado a cabo para el robot industrial. En esta figura es posible observar la arquitectura de control diseñada con todas las conexiones lógicas, el bloque de control cinemático, el bloque de control dinámico, un bloque de actuador para cada junta y el bloque de mecanismo físico.

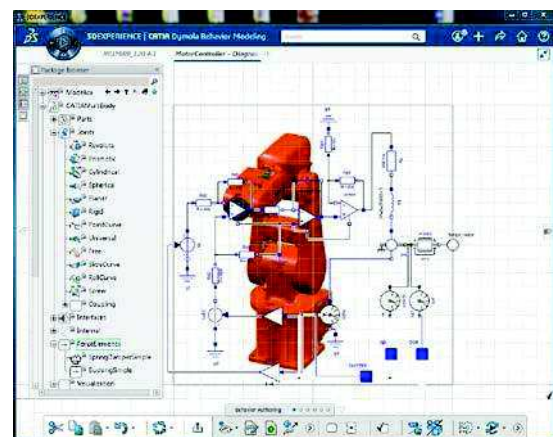


Figura 5: Modelización y diseño del sistema de control de una de las articulaciones, presentado en la aplicación CATIA® Behavior Modelling.

Una de las características más interesantes de la aplicación de T-3D a sistemas ciberfísicos es que a través de la definición geométrica tridimensional de los componentes mecánicos del sistema, de la asignación de material de cada componente, en base a la disposición geométrica establecida en el proceso de ensamblaje y en función de las conexiones de

ingeniería establecidas en las articulaciones, es posible obtener de forma automática las principales características de interés para la obtención del modelo dinámico, lo que facilita enormemente los procesos de ingeniería concurrente y de modificación de componentes. En la figura 5 es posible observar el diseño de un controlador electrónico interno para uno de los servomotores de corriente continua del robot.

Finalmente, cuando se ha diseñado todo el sistema, la etapa final de este ejemplo es simular el comportamiento dinámico y estático del robot para un conjunto de trayectorias deseadas y validar el rendimiento del equipo, de forma similar a como se puede ver en la figura 2, para el sistema de un único grado de libertad.

### 2.3 RESULTADOS

En los casos de estudio realizados y expuestos anteriormente, se muestra que es posible utilizar una plataforma PLM Industrial en lugar de una plataforma virtual colaborativa educativa para el diseño de sistemas ciberfísicos. También se ha observado que el estudiante es capaz de visualizar el proyecto de forma global, ya que puede observar los resultados obtenidos por las diferentes disciplinas de ingeniería utilizadas en el proceso de diseño (eléctricos, mecánicos, electrónicos, sistemas de control, etc.) aunque no pertenezcan a su especialidad. Por otro lado, los ejemplos muestran las ventajas de utilizar T-3D en aplicaciones de sistemas de control. Las T-3D expuestas aceleran el desarrollo y la comprensión de sistemas dinámicos complejos a través del modelado y la simulación. Proporcionan un entorno de grupo de trabajo integrado con representación digital compartida. También es posible llevar a cabo diseños de controladores dinámico basados en modelos. Es posible utilizar bibliotecas de dominio abierto para el modelado y la simulación rápidos para sistemas multi-físicos y de múltiples cuerpos. Permite desarrollar sistemas complejos que comprenden software de control integrado, mecánico, electrónico, hidráulico y neumático.

## 4 CONCLUSIONES

Hasta ahora, las T-3D y las TT-ISA pertenecían a entornos completamente diferentes y había dos comunidades académicas diferentes, con diferentes orígenes, trabajando casi separadamente una de la otra. Sin embargo, la IoF/I4.0 necesita profesionales que dominen las competencias de ambos entornos. Con este objetivo, el presente trabajo ha expuesto parte de las ventajas de utilizar la combinación de ambas tecnologías a la comunidad académica.

Así mismo, en este artículo se han explorado algunas de las posibilidades ofrecidas por las T-3D para resolver problemas relacionados la automática. Es importante resaltar que la aplicación combinada de T-3D y TT-ISA, no solo permiten dar al alumno de competencias para la industria moderna, sino que además abre grandes posibilidades desde el punto de vista formativo. Por ejemplo, para evaluar sobre modelos virtuales 3D diferentes estrategias de control para sistemas ciberfísicos, para la realización de laboratorios virtuales presenciales y/o remotos, para la obtención de gemelos virtuales de sistemas reales que pueden actuarse al tiempo, etc.

Por otro lado, este trabajo ha presentado algunas de las principales ventajas del uso de plataformas PLM industriales como plataformas colaborativas educacionales, observando que permite a los estudiantes observar y comprender todas las etapas de un proyecto industrial y colaborar en todas las disciplinas de ingeniería utilizadas en procesos de diseño (eléctrico, mecánico, electrónico, sistemas de control, etc.) y que, mediante el uso de plataformas PLM industriales, los estudiantes aprenden a utilizar las herramientas que necesitará en su vida profesional y, por lo tanto, están aumentando su perspectiva de empleabilidad.

Como conclusión final, cabe señalar el interés que puede tener para todos los grados relacionados con automática y con la ingeniería industrial, fomentar las actividades de innovación educativa centradas en la ingeniería de sistemas y las tecnologías digitales (en este documento sobre las Tecnologías-3D) con el fin de potenciar las competencias IoF/I4.0.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible con soporte económico de “La Fondation Dassault Systèmes”. Los autores agradecen a los miembros de 3DS Global Academy su inestimable apoyo.

### Referencias

- [1] Ameri, F.; Dutta, D. (2005). “Product lifecycle management: closing the knowledge loops,” *Computer Aided Design & Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 577-590.
- [2] Chao, C.Y.; Chen, Y.T.; Chuang, K.Y. (2015). “Exploring students’ learning attitude and achievement in flipped learning supported computer aided design curriculum: A study in high school engineering education,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 23, no.4, pp. 514-526.
- [3] Cheng, X.; Li, Y.; Sun, J.; Huang, J. (2016). “Application of a novel collaboration engineering method for learning design: A case

- study,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 47, no. 4, pp.803-818.
- [4] Cheung, W.M.; Branall, D.G.; Maropoulos, P.G.; Gao, J.X.; Aziz, H. (2006). “Organizational knowledge encapsulation and re-use in collaborative product development,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 7, pp. 736-750.
- [5] Dassault Systemes Academy on-line courses and on-line learning materials.
- [6] Donati, T.; Bricogni, M.; Eynard, B. (2011). “PLM platform: integrated support of the enterprise digital chain for Collaborative Product Development,” 7th International Conference on Product Lifecycle Management, Bremen, Germany.
- [7] Esche, S.K. (2002). “Project-based learning (PBL) in a course on mechanism and machine dynamics,” *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 1, pp. 201-204.
- [8] Igartua, J.I.; Errasti, N. Ganzarain, J. (2014). “Assessing industry-based problem-based learning with engineering students: lessons learned,” 8th International Technology, education and Development Conference, pp. 6761-6771, Spain.
- [9] INCOSE Systems Engineering Handbook, (2006). “A guide for system life cycle processes and activities”, INCOESE-TP-2003-002-03.
- [10] Jaeger, A.; Mayrhofer, W.; Kuhlant, P.; Matyas, K.; Sihm, W. (2013). “Total immersion: hands and headson training in a learning factory for comprehensive industrial engineering education,” *International Journal of Engineering Education*, vol. 29, no. 1, pp. 23-32.
- [11] Le-Duigon, J.; Bernard, A.; Perry, N. (2011). “Framework for PLM integration in SME networks,” *Computer-Aided Design and Applications*, vol. 8, no. 4, pp. 531-544.
- [12] Maranzana, N. Segonds, F.; Lesage, F.; Nelson, J. (2012). “Collaborative design tools: A comparison between free software and PLM solutions in engineering education,” *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, vol. 388, pp. 547-558.
- [13] Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España (2015). “La transformación Digital de la Industria Española”.
- [14] Mosterman, P.J.; Zander, J. (2016). “Industry 4.0 as a cyber-physical system study,” *Software and Systems Modeling*, vol. 15, no. 1, pp.17-29.
- [15] NASA. (2007). *Systems Engineering Handbook*, NASA/SP-2007-6105.
- [16] Nguyen, V.; Dang, H.H.; Do, N-K.; Tran, D-T. (2016). “Enhancing team collaboration through integrating social interactions in a web-based development environment,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 24, no. 4, pp. 529-545.
- [17] Oesterrich, T.D.; Teuteberg, F. (2016). “Understanding the implications of digitization and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry,” *Computers in Industry*, vol. 83, pp. 121-139.
- [18] Prause, M.; Weigand, J. (2016). “Industry 4.0 and object-oriented development: Incremental and architectural change,” *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 11, no. 2, pp. 104-110.
- [19] Sackey, S.M.; Bester, A. (2016). “Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a south African context” *South African Journal of Ind. Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 101-114.
- [20] Sage, A.P.; Rouse, W. B.; (1999). *Handbook of Systems Engineering and management*. Ed. John Wiley and Sons. ISBN 0-471-15405-9
- [21] Sancibrian, R.; Llata, J.R.; Sarabia, E.G.; Torre-Ferrero, C.; Blanco, J.M.; San-José, J.T. (2017). “Industry of the future: Implementation of collaborative CAE tools in industrial engineering degrees”, 11th International Technology, Education and Development Conference, Spain.
- [22] Schuh, G.; Rozenfeld, H.; Assmus, D.; Zancul, E. (2008). “Process oriented framework to support PLM next term implementation,” *Computer in Industry*, vol. 59, no.2, pp.210-218.
- [23] Shafiq, S.I.; Sanin, C.; Szczerbicki, E.; Toro, C. (2016). “Virtual engineering factory: Creating experience base for Industry 4.0,” *Cybernetic and Systems*, vol. 47, no. 1-2, pp. 32-47.
- [24] Stark, R.; Krause, F-L.; Kind, C.; Rothenburg, U.; Müller, P.; Hayka, H.; Stöckert, H. (2010). “Competing in engineering design. The role of virtual products creation,” *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 3, pp. 175-184.
- [25] Thimm, G.; Lee, S.G.; Ma, Y-S. (2006). “Towards unified modelling of product lifecycles,” *Computers in Industry*, vol. 57, pp. 331-341.
- [26] Wright, T.; Madey, G. (2009). “A survey of technologies for building collaborative virtual environments,” *International Journal of Virtual Reality*, vol. 8, pp. 53-66.
- [27] Yu, G.D.; Yang, Y.; Zhao, X.; Li, G. (2014). “Multi-objective rescheduling model for product collaborative design considering disturbance,” *International Journal of Simulation Modelling*, vol.13, no. 4, pp. 472-484.
- [28] Zellner, N.E.B.; McCavit, M. (2016). “Persistence of physics and engineering students via peer mentoring, active learning, and intentional advising,” *European Journal of Physics*, vol. 37, no. 6, pp. 1-9