

## El uso de la simulación dinámica para promover las competencias transversales en asignaturas de ingeniería mecánica

J.L. Suñer Martínez<sup>a</sup>, J. Carballeira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 València. [josuner@mcm.upv.es](mailto:josuner@mcm.upv.es); [jacarmo@mcm.upv.es](mailto:jacarmo@mcm.upv.es)

### *Abstract*

In higher education, the development and assessment of generic competences is fully integrated. This paper shows the experience in the Department of Mechanical and Materials Engineering (DIMM) of the Polytechnic University of Valencia (UPV) on the use of Dynamic Simulation of Multibody Systems (DSMS) as an environment in which to put into practice and increase the development of generic competences in the last years and Final Degree Projects, using the DSMS both directly and in combination with other subjects typical of mechanical engineering, such as Machine Design, Robotics or other engineering.

**Keywords:** Generic competences, Mechanical engineering, Dynamic simulation, Final degree project.

### *Resumen*

En los estudios superiores está plenamente integrado el desarrollo y evaluación de competencias transversales. En esta ponencia se muestra la experiencia en el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (DIMM) de la Universitat Politècnica de València (UPV) del uso de la Simulación Dinámica de Sistemas Multicuerpo (SDSM) como entorno en el que poner en práctica y aumentar el dominio de competencias transversales en últimos cursos y Trabajos Fin de Grado, utilizando la SDSM tanto de manera aislada como combinada con otras materias propias de la ingeniería mecánica o de otras ingenierías.

**Palabras clave:** Competencias Transversales, Ingeniería Mecánica, Simulación Dinámica, Trabajos Fin de Grado.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El desarrollo y evaluación de competencias transversales en los estudios universitarios de carácter científico-técnico es un tema relevante en la innovación educativa en los últimos años, por su importancia en los nuevos planes de estudio surgidos en el seno del Espacio Europeo de Educación Superior, y su valoración positiva por parte de las empresas. El empleo de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para fomentar las competencias

transversales es interesante ya que permiten crear simulaciones de la realidad en las que los estudiantes tienen que poner en juego estas competencias (Cervera, 2010). En la referencia (Cano, 2018) se pueden encontrar diversos recursos TIC en diferentes ámbitos de conocimiento para trabajarlas.

En el ámbito de la ingeniería mecánica, se pueden encontrar propuestas para el desarrollo de estas competencias aprovechando la naturaleza compleja de las actividades relacionadas con el diseño mecánico (Caicedo, 2020). Estas propuestas se pueden emplear incluso en grupos numerosos de estudiantes (Suñer, 2021). El uso de herramientas numéricas de simulación dinámica plantea además múltiples oportunidades para el desarrollo de estas competencias en la misma línea de lo comentado anteriormente. El empleo de simulaciones permite disponer de un entorno en el que aprender haciendo, lo que mejora la experiencia de los estudiantes. Las tareas que surgen para poner este entorno en marcha y el análisis de los resultados obtenidos, así como la forma en la que se organiza este trabajo en el aula, generan múltiples oportunidades para trabajar diferentes competencias transversales.

En la referencia (Aziz, 2011) se describe una experiencia con simulaciones combinadas en Working Model y Mathcad para trabajar pensamiento crítico, entre otras competencias, mediante una aproximación de aprendizaje basado en problemas. En la referencia (Redkar, 2012) se muestra una experiencia en la que este entorno permitió mejorar la comunicación efectiva entre los diferentes participantes de un curso sobre Dinámica de Vehículos que tenían diferentes niveles de formación inicial, mediante el empleo de ADAMS/Car y una aproximación de aprendizaje basado en proyectos. En la referencia (Bravo, 2014) se presenta una herramienta basada en Matlab para la enseñanza de mecánica clásica y se destaca que se genera un ambiente favorable para el desarrollo de varias competencias transversales por la complejidad de la tarea.

Este trabajo presenta una recopilación de actividades propuestas y experiencias en el ámbito de la ingeniería mecánica para el desarrollo de competencias transversales. En este caso con el denominador común del empleo de herramientas numéricas para la simulación dinámica, en concreto, el uso de las aplicaciones de ADAMS/View y ADAMS/Car en varias asignaturas, así como en la elaboración de Trabajos de Fin de Título (Grado o Máster).

## METODOLOGÍA

En la asignatura Dinámica de Sistema Multicuerpo de 4º curso del Grado en Ingeniería Mecánica (GIM) se utiliza el programa ADAMS/View en el desarrollo de las prácticas de la asignatura. Una de las partes del programa de prácticas consiste en la realización de un modelo y simulación de un mecanismo a elección del equipo formado por dos estudiantes. Esos modelos pueden estar centrados en mecanismos propiamente dichos o formar parte de otros sistemas y requerir la incorporación de otras aplicaciones del programa, como ADAMS/Machinery.

Del mismo modo, en los últimos años se ha consolidado en el DIMM de la UPV una línea de TFGs basados en la SDSM y en la utilización del programa ADAMS/View y, en su caso, su aplicación específica para automóviles, ADAMS/Car. Estos TFGs están dirigidos a estudiantes interesados en progresar en esta rama de la ingeniería mecánica y permiten, según el trabajo,

conectar con otras disciplinas, tanto de la Ingeniería Mecánica como de otras ingenierías, como la Eléctrica, la Hidráulica, Automovilística o la de Obras Públicas.

En ambos casos los estudiantes ponen en práctica y trabajan competencias transversales, como:

- Comprensión e Integración, al profundizar en el modelado de sistemas multicuerpo y combinarse con otras materias propias del GIM o, incluso, con de otras ramas de la ingeniería que no son la mecánica.
- Análisis y Resolución de Problemas, al afrontar el modelado de un sistema, muchas veces partiendo de cero, y requerir el diagnóstico de las dificultades que tiene un trabajo de esta clase y cómo superarlas.
- Aplicación y Pensamiento Práctico, al utilizar una herramienta como la SDSM cuyos programas permiten la creación de técnicas de trabajo que, junto a otros elementos propios ya incorporados, solucionan muchos pasos en el desarrollo del modelo y permiten llegar a resultados de manera rápida y efectiva.
- Diseño y Proyecto, de manera más evidente en la realización de Trabajos Final de Grado. La SDSM no es el entorno habitual de estos trabajos, pero el estudiante debe configurar y exponer su trabajo ajustándose a lo que es un proyecto de ingeniería.
- Aprendizaje Permanente, al profundizar en la SDSM y en otras áreas de la ingeniería, el estudiante debe aumentar sus conocimientos y habilidades, muchas veces de manera autónoma.
- Instrumental Específica, al utilizar una herramienta especializada como un programa de MSDM.

Todas estas competencias transversales establecidas en el proyecto institucional sobre actualmente vigente en la UPV. No se hace énfasis en competencias más instrumentales, como Planificación y Gestión del Tiempo o Comunicación Efectiva, ya que son inherentes al desarrollo de estas actividades de forma general y su trabajo y desarrollo no deben verse influidos por el hecho de utilizar la SDSM o no.

Se han dividido los tipos de trabajo en cuatro grandes grupos, según el sistema a modelar, ya que cada caso particular permite trabajar las competencias de manera diferente y con niveles distintos. Esto grupos son: simulación dinámica de sistemas mecánicos, de vehículos automóviles, de robots industriales y de maquinaria de obras públicas. En cada una de ellas se expondrán sus particularidades en el trabajo de competencias transversales, más allá de la forma general descrita anteriormente.

#### *Simulación dinámica de sistemas mecánicos*

El programa de simulación dinámica de sistemas multicuerpo ADAMS/View incorporó en su momento un conjunto de herramientas para la simulación y análisis de elementos de máquinas, llamado ADAMS/Machinery, en el cual se proporciona aplicaciones específicas para el modelado de trenes de engranajes ordinarios y epicicloidales, transmisiones por correas, por cadenas, por cables, cojinetes, motores eléctricos y levas. Esto permite realizar trabajos que combinen la SDSM con los conocimientos adquiridos en las asignaturas tecnológicas como Diseño de Máquinas o Tecnología de Máquinas, aumentar el realismo de las simulaciones y la precisión en los resultados obtenidos, ya que, además, se pueden comprobar los resultados obtenidos en la simulación con los de los métodos de cálculo de las asignaturas tecnológicas.

Por otro lado, las posibilidades de programación de las acciones (fuerzas y pares de fuerzas) permiten la simulación de sistemas como bombas hidráulicas y estudiar la influencia de estas acciones en la parte mecánica y resistente del sistema.



*Fig. 1. Modelo de un grupo reductor de un ascensor, de transmisión de cadena en bicicleta y de bomba hidráulica de pistones con motor eléctrico.*

### *Simulación dinámica de vehículos automóviles*

ADAMS/Car se basa en plantillas que contienen la topología de diferentes partes de un vehículo automóvil (suspensiones, dirección, motor, chasis-carrocería...), subsistemas creados a partir de las plantillas específicos para cada vehículo concreto y ensamblajes de subsistemas en un conjunto que simula el vehículo completo. Es entonces cuando el modelo puede ser analizado en múltiples situaciones que describirán su comportamiento dinámico. Los estudiantes pueden encontrarse con topologías en sistemas concretos del vehículo a modelar que no se encuentran en las que vienen con el programa por defecto. Esto supone un esfuerzo adicional para el estudiante, ya que debe crear la plantilla y el subsistema correspondiente y lograr que funcione en la simulación del vehículo. Por su alcance, la realización de este tipo de trabajos por parte del estudiantado queda restringida a los Trabajos Fin de Grado.

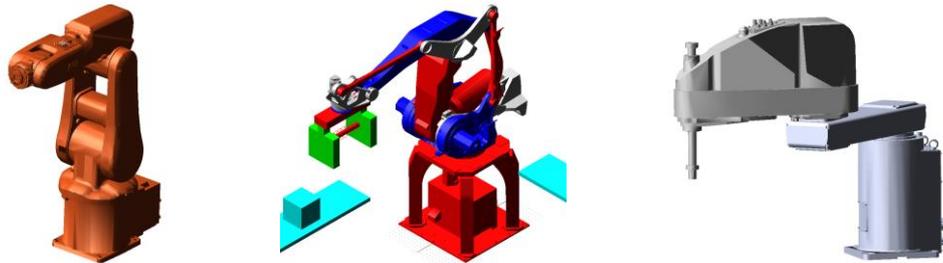


*Fig. 2. Modelo de un Jeep Willys y de un Volkswagen Golf MK1*

### *Simulación dinámica de robots industriales*

En las asignaturas de Teoría de Máquinas y Mecanismos se suele tratar el análisis, tanto cinemático como dinámico, de mecanismos, preferentemente planos y con 1 grado de libertad. En cursos superiores el estudiante puede introducirse en el estudio de los robots por diferentes vías, como a través de la ingeniería de control, electrónica o mecánica. En este último campo, la mecánica de robots permite su estudio como sistemas multicuerpo, con cadenas cinemáticas espaciales, abiertas o cerradas y con varios grados de libertad. Este estudio permite hacer desarrollos de planificación de trayectorias y movimientos, en donde la SDSM es especialmente importante.

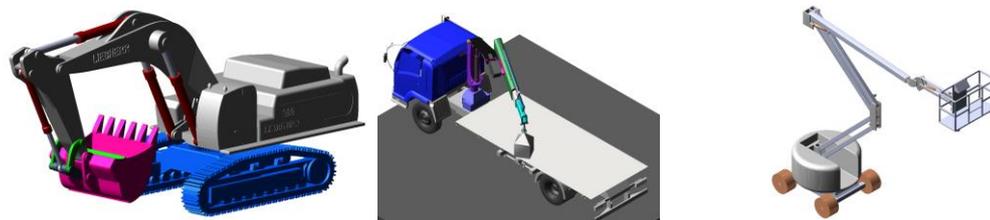
Desde este punto de partida, se han realizado TFGs de modelado y simulación dinámica de robots industriales, en los cuales se combinan el modelado de un robot con ADAMS/View con la obtención de un modelo numérico con un programa de cálculo (Matlab, MathCad, Excel...) utilizando diferentes formulaciones de la Mecánica (Newton-Euler, Lagrange...). Con esto se consigue obtener dos modelos del mismo robot, de manera que se tiene una comprobación de resultados de los dos modelos.



*Fig. 3. Modelo de un robot ABB IRB 120, de un Fanuc M-410iB/700 y de un Scara Epson G20 851-S.*

### *Simulación dinámica de maquinaria de obras públicas*

Gran parte de las máquinas de obras públicas son, básicamente, cadenas cinemáticas abiertas de varios grados de libertad, pero que contienen muchas subcadenas cerradas y planas, lo que permite complementar el modelado con ADAMS/View con un modelado analítico de la máquina, con ecuaciones de lazo para la parte cinemática y ecuaciones de Newton para la dinámica. Esta parte es análoga a la descrita para los robots industriales y se realiza con un programa de cálculo numérico.



*Fig. 4. Modelo de una retroexcavadora LIEBHERR R 980 SME, de una grúa hidráulica para camión y de una plataforma elevadora móvil Genie Z-51/30J-RT*

## RESULTADOS

Los resultados tienen carácter cuantitativo, ya que la valoración en los trabajos de las competencias transversales se hace para cada trabajo en concreto, de acuerdo a las rúbricas existentes. Aun así, se puede indicar las características del trabajo de estas competencias en la SDSM.

- **Comprensión e Integración:** combina conocimientos de SDSM con otros como Diseño de Máquinas, Ingeniería Hidráulica, Eléctrica, Dinámica Vehicular, estudio de los sistemas multicuerpo con los propios de los vehículos automóviles, Mecánica de Robots.
- **Análisis y Resolución de Problemas:** se crean, por ejemplo, plantillas originales en ADAMS/Car y modelos analíticos de robots industriales y máquinas de obras públicas.

- Aplicación y Pensamiento Práctico: se potencia en el dominio de técnicas propias de los módulos de elementos de máquinas y de automóviles y en la resolución de problemas de generación de trayectorias y movimientos en robots y maquinaria de obras públicas.
- Aprendizaje Permanente: el aprendizaje de módulos avanzados del programa, como ADAMS/Car o ADAMS/Machinery, y de programaciones avanzadas se hace de manera autónoma. En su caso, se incrementa el conocimiento de automóviles, robots y maquinaria de obras públicas
- Instrumental Específica, ya que se aumenta en el dominio de la herramienta de simulación dinámica general y, en su caso, de dinámica vehicular.

## CONCLUSIONES

La Simulación Dinámica de Sistemas Multicuerpo es una técnica especializada dentro de la Ingeniería Mecánica, pero también es un entorno adecuado para el desarrollo de trabajos académicos y de fin de grado y para el desarrollo y mejora de competencias transversales.

La valoración de las competencias transversales en los trabajos académicos se hace con la rúbrica correspondiente por parte del profesorado de la asignatura. De acuerdo a lo que esté establecido en la guía docente, se puede tomar estos trabajos como punto de control en las competencias señaladas en esta ponencia.

En los Trabajos de Fin de Grado de la UPV se efectúa una valoración de todas las competencias transversales del programa institucional, tanto por parte del tutor como del tribunal evaluador. Los trabajos con SDSM, tal y como se ha mostrado en la ponencia, permiten hacer una evaluación adecuada de las competencias indicadas.

## REFERENCIAS

- Aziz, E. S. (2011). Teaching and learning enhancement in undergraduate machine dynamics. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(2), 244-255.
- Bravo, D. A., & Rengifo, C. F. (2014). Herramienta para la enseñanza de las ecuaciones de Lagrange basada en la simulación de sistemas dinámicos. *Revista mexicana de física E*, 60(2), 111-115.
- Caicedo, J. M. G. (2020). Los proyectos de diseño mecánico como herramienta para el desarrollo de competencias transversales en los ingenieros. *Revista Educación en Ingeniería*, 15(30), 60-73.
- Cano, E., Fabregat, J. y Oliver, F. J. (2018). *Competencias genéricas en la universidad*. Barcelona: LMI. (Colección Transmedia XXI)
- Cervera, M. G., Cela-Ranilla, J. M., & Barado, S. I. (2010). Las simulaciones en entornos TIC como herramienta para la formación en competencias transversales de los estudiantes universitarios. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 11(1), 352-370.
- Redkar, S. (2012). Teaching Advanced Vehicle Dynamics Using a Project Based Learning (PBL) Approach. *Journal of STEM Education: Innovations & Research*, 13(3).
- Suñer Martínez, J. L., y Carballeira Morado, J. (2018). Diseño de una actividad para el desarrollo y evaluación de competencias transversales en el ámbito de la Teoría de Máquinas y Mecanismos. *Actas del XXVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, 696-707. ISBN: 978-84-17445-02-7.