



Evolución de los estudios de Ingeniería Mecánica ante la incorporación de fablabs universitarios

Andres Sanz-Garcia¹, Carmen Blanco-Herrera², Armando González-Muñoz³, Jorge Herrera Santos⁴

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Salamanca, ansanz@usal.es

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Salamanca, cbh@usal.es

³ Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Salamanca, armandopeska@usal.es

⁴ Departamento de Física Aplicada, Universidad de Salamanca, jorgehsm@usal.es

La tasa de abandono escolar de los estudiantes de ingeniería es un problema preocupante en España en la actualidad. Numerosos estudios describen la motivación intrínseca como un factor muy significativo en su abandono. En últimos cursos se observa que los estudiantes en ingenierías pierden la motivación por aprender conceptos avanzados. Los expertos recomiendan que las universidades ofrezcan nuevas asignaturas para enseñar estos conceptos más motivadoras usando metodologías dinámicas, con temarios próximos a su futura labor profesional e involucrando a los estudiantes.

El objetivo principal de este trabajo es establecer el nivel de motivación en los estudiantes de ingeniería mecánica de la E.T.S.I.I. de Béjar en la Universidad de Salamanca que participaron en la asignatura optativa "Impresión 3D y Prototipado Rápido (I3D)" orientada a incrementar la motivación en los estudiantes. La asignatura es multidisciplinar, abarcando a tres ramas industriales, de 4º del Grado en Ingeniería Mecánica y se denominada. Los grupos de trabajo de 4-5 estudiantes tienen la misión de llevar a cabo un proyecto multidisciplinar colaborativo para diseñar un robot de combate (Battlebot). El Battlebot participa en un torneo o combate de robots con otros compañeros al final del cuatrimestre. La característica diferencial de la asignatura I3D es que busca motivar al estudiante, potenciar la adquisición de competencias transversales y conceptos avanzados en ingeniería a través de nuevas metodologías, trabajo en equipo, normas de organización y la gestión del tiempo.

La experiencia docente se ha evaluado mediante tres mecanismos independientes: (a) encuestas de motivación y de aprendizaje, (b) evaluación del trabajo en grupo y la convivencia durante la asignatura y (c) las notas y puntuaciones obtenidas a lo largo de la asignatura. Aproximadamente el 85% de los estudiantes realizó la evaluación completa en ambos cursos. El trabajo de los estudiantes generó unas notas académicas superiores a la media de otras asignaturas optativas. Los resultados indican que la motivación es un factor clave en el rendimiento de los estudiantes. Sin embargo, las medias obtenidas en la evaluación en grupo y en la autoevaluación no fueron tan altas como era de esperar en dichos años. En las encuestas los estudiantes fueron especialmente críticos con su autoevaluación y aportaron comentarios negativos sobre la carga de trabajo. No fue posible destacar un factor de motivación como el más influyente en el rendimiento, lo que demuestra la naturaleza compleja y dinámica de la motivación. En un futuro se estudiarán las relaciones entre motivación, autoeficacia, compromiso y rendimiento académico en los estudiantes, para encontrar ideas y orientaciones sobre las prácticas docentes en el resto de las asignaturas del Departamento de Ingeniería Mecánica.

1. Introducción

El coste global estimado en España del abandono de los estudiantes matriculados en enseñanzas de grado ofertadas por el sistema universitario español en el curso 2013-14 fue de casi 400 millones de euros [1]. La tasa de abandono en las titulaciones de Ingeniería e Informática en España son las más altas. Según datos del Ministerio de Universidades [2], entre el 36-39% de los estudiantes que inician estudios en Ingeniería e Informática no los finalizan. Una cuarta parte (16%) de estos estudiantes abandona durante el primer año de carrera. Una de las razones más importantes para explicar esta tasa tan elevadas es que la mayor parte del abandono es el resultado de un incorrecto proceso de elección del grado. La desmotivación e insatisfacción ante esta decisión errónea está haciendo que los estudiantes decidan que no es en dicho grado donde mejor encajan sus intereses y expectativas [3]. En últimos cursos de estudios de grado, con una baja tasa de abandono, también se observa esta falta de motivación. Para reducir las tasas de abandono mencionadas, es importante identificar los factores que pueden influir en que los estudiantes pierdan la motivación y abandonen sus estudios.



Figura 1: Cartel de presentación de la Edición I del Torneo de *Battlebots* celebrado en la USAL

Numerosos estudios publicados describen los distintos factores que puede crear una situación de falta de motivación en los estudiantes [4-8]. Algunos de estos son motivos vocacionales, dificultades en el proceso de aprendizaje unidas a un bajo rendimiento académico, imposibilidad de conciliar actividades académicas con responsabilidades familiares o laborales y falta de motivación intrínseca (voluntad de superación y autoconfianza). En este último factor, múltiples artículos anticipan que la creación de programas de grado con clases más dinámicas y que incluyan metodologías más integradoras y motivantes, es una solución potencial [9, 10]. Otras propuestas es la inclusión de contenidos más prácticos o que sean más próximos a su futura carrera profesional [11]. En esta línea, se han organizado distintas competiciones basadas en retos en los estudios de ingeniería. Por ejemplo, algunas incluyen sistemas robóticos creados por los propios estudiantes que resuelven retos, combaten o simulan un deporte. Estas actividades son elementos que ayudan a dinamizar las clases y, sobre todo, motivar a los estudiantes. Por ello, estos han ido ganando popularidad en múltiples universidades [12, 13].

En España, existen numerosas iniciativas recientes como la Competición de Robots de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Vigo [12], la competición anual de robótica *Eurobot Spain* celebrada en el 2023 en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá [14], el concurso nacional anual de robótica humanoide organizado por el Comité Español de Automática coincidiendo en las Jornadas de Automática (CEABOT), etc. Estas son claramente una motivación para los estudiantes, y encontramos diversos trabajos que han descrito el éxito de su uso combinado con el modelo de aprendizaje basado en proyectos (ABP) [15-18]. Por ejemplo, la Universidad de Alicante organizó en el curso 2022-23 un Sumo Robótico como enfoque ABP para promover la colaboración y la motivación en estudiantes de Robótica. Los docentes determinaron que el 96% del alumnado vio positiva la realización del mismo proyecto para toda la clase. La experiencia y el propio proyecto ABP resultó ser un elemento muy motivador dentro de la asignatura [19].

La primera experiencia de este tipo en la Universidad de Salamanca (USAL) se ha realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de Béjar el curso 2020/21. A partir de la primera edición de la actividad (**Figura 1**), ésta ha continuado con el objeto de mejorar la motivación en los estudiantes del Grado de Ingeniería Mecánica [20]. Esto ha establecido una línea de investigación docente enfocada en la búsqueda mecanismos que

motiven al estudiante y afronten el problema del abandono en las universidades españolas. Sin embargo, para coordinar estas competencias con elementos motivadores y asignaturas de los estudios en ingeniería, se necesitan cambios de las metodologías tradicionales de aprendizaje memorístico a experiencias de aprendizaje más significativas, reflexivas y atractivas que preparen a los estudiantes para la aplicación de sus conocimientos en el mundo real [21]. El ABP es uno de los enfoques de enseñanza-aprendizaje más eficaces en la enseñanza de la ingeniería. Por eso es común encontrarla como una metodología más en los nuevos planes de estudios, junto con otras como resolución de problemas o el aprendizaje-servicio [22]. Por ejemplo, en el último curso de Ingeniería Aeroespacial en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se exploró la implementación y resultados de una metodología de ABP para proporcionar a los estudiantes experiencia práctica en proyectos de ingeniería espacial [23]. Esta experiencia se centró en el diseño, validación e integración de subsistemas de micro-satélites y en la conceptualización de diseños de misiones espaciales. En Ingeniería Mecánica es también destacable el trabajo de Bisset y Radcliffe creando metodologías docentes basadas en el uso de ABP para fabricar productos y beneficiar a personas de países en vías de desarrollo [24]. En cierto sentido, el ABP ha demostrado en múltiples ocasiones un claro fomento de las competencias profesionales cruciales en las ingenierías. Por ejemplo, un estudio de Beagon *et al.* consistía en diseñar un puente peatonal, haciendo hincapié en el trabajo en equipo y el aprendizaje autodirigido [25]. Con un enfoque pedagógico tipo ABP, permite a los estudiantes experimentar aspectos de las tareas de ingeniería del mundo real y mejorar diversas competencias profesionales.

En los últimos años, las experiencias ABP que incorporan la implementación o construcción del proyecto o prototipo han estado ligadas a los laboratorios de fabricación o *fablabs* (o *makerspaces*). Estos ¡han demostrado un notable incremento de la participación y motivación de los estudiantes, así como un fomento de la auto-organización en los estudiantes en ingeniería mecánica [15, 16]. Los *fablabs*, término establecido por Neil Gershenfeld [16], son talleres compartidos, abiertos al público y equipados con herramientas y máquinas modernas y tradicionales. El término significa “laboratorio de fabricación” o “laboratorio fabuloso” y se han convertido en espacios de aprendizaje y trabajo multidisciplinarios de gran relevancia en los grados de ingeniería. En la Universidad de Ashesi [26], los estudiantes ingeniería a través de un enfoque interdisciplinar con clases, sesiones de laboratorio y proyectos reales se demostró un claro fomento del aprendizaje práctico (*hands-on learning*), donde los estudiantes experimentaron el ciclo completo de desarrollo de un producto. Un estudio sobre el Grado de Ingeniería Mecánica encontró correlación en la participación en un *makerspace* con el rendimiento académico. Los estudiantes que usaban el *makerspace* para proyectos personales o de clase tenían significativamente mayor promedio de calificaciones que los demás [16]. Otro caso estudiado se dio en la Universidad TU de Dortmund. En él se demostró no solo los beneficios aparentes, sino que una clara mayor motivación e intención de usar el *makerspace* en los proyectos personales de los estudiantes [17]. Estos espacios parecen haber ofrecido un aprendizaje colaborativo e interdisciplinar en entornos aplicados y reales en general en la Educación Superior. Una de las consecuencias es la generación de un incremento en la participación de los estudiantes [18]. En conclusión, su creación e inclusión en los cursos de ingeniería ha demostrado que empuja a los estudiantes a realizar actividades concretas o diferentes proyectos en dichos entornos.

En esta comunicación el objetivo principal es estudiar el nivel de motivación en los estudiantes de ingeniería que participaron en una asignatura optativa de 4º curso denominada Impresión 3D y Prototipado Rápido impartida en la ETSII de Béjar en la Universidad de Salamanca (USAL). El diseño de la asignatura está completamente orientado a elevar la motivación de los estudiantes de ingeniería. El estudio se ha realizado en base a una actuación de innovación docente donde se han evaluado aspectos tales como el trabajo en equipo, la negociación, el cumplimiento de las normas de organización y la gestión del tiempo. La evaluación de la experiencia se ha basado en tres mecanismos interconectados que son las encuestas de motivación y de sensación de aprendizaje, evaluación de la convivencia y el trabajo en grupo y también las notas finales obtenidas por los estudiantes en la asignatura.

2. Metodología

2.1. Aprendizaje basado en proyectos (ABP)

El método ABP se utiliza en este estudio para organizar las acciones educativas sobre los estudiantes. El ABP es un enfoque de enseñanza-aprendizaje que se apoya en teorías constructivistas y socio-constructivistas. Los estudiantes en ABP son guiados por los profesores y trabajan generalmente en grupos enfrentándose a situaciones similares con proyectos que simulan el mundo real [27]. El papel del estudiante es el de ser protagonista para construir su propio conocimiento a partir de las experiencias y las interacciones vividas en el trabajo en equipo [28].

2.2. Descripción del proyecto de innovación docente

El proyecto se organiza entorno a la realización de un ABP enfocado al diseño de un *Battlebot*. En una fase posterior, los alumnos participarán con su propio prototipo en una competición de robots al final del curso académico. El proyecto se ha desarrollado en el segundo cuatrimestre del curso académico. Las principales

semanas de trabajo se desarrollan en las semanas finales del segundo semestre. La programación concreta del proyecto se detalla en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Programa final de ejecución del proyecto de innovación docente tipo ABP.

Etapa	Semana	Contenido	Entregable
1	3-6	Clases teóricas y prácticas para preparación del proyecto	-
2	7	Inicio del ABP con generación de grupos, planteamiento del modelo conceptual y uso del <i>sketching</i>	Diseño paramétrico y sketches
3	8-10	Aplicación del ABP en la fase de diseño del modelo digital	-
4	11-14	Aplicación del ABP en fase de prototipado del modelo físico	Diseño digital CAD/CAM
5	15	Programación de la competición de Battlebots. Informe final del estudiante. Encuesta sobre la actividad.	-
6	>15	Evaluación final de la experiencia	Prototipo de Battlebot

Durante las primeras cuatro semanas del cuatrimestre, hay una breve introducción a las tecnologías básicas de diseño y prototipado basado en clases teóricas y prácticas. En la sexta semana los estudiantes tienen claro que tipo de prototipo van a realizar. Los estudiantes establecen mediante diseño paramétrico los detalles más relevantes del prototipo, materiales, sistema de defensa, sistemas de fabricación, arma principal, mejoras y limitaciones, etc. Después los estudiantes tienen tiempo para realizar preguntas y discutir el diseño con los profesores responsables de la asignatura. Los grupos proponen al menos dos posibles soluciones de *Battlebot*, de las cuales deben elegir una de ellas.

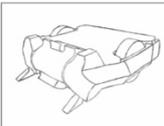
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
Fab Lab

“EL NANO”

Izan Rodríguez, Raul Vicente, Álvaro Valencia, Jorge Domínguez
Prototipado rápido e Impresión 3D. E.T.S.I.I. de Béjar

DESCRIPCIÓN

Presentamos a “EL NANO”. Inspirado en el audaz Minotauro y bautizado en honor al intrépido Fernando Alonso, este Battlebot es la definición de velocidad y agilidad, tal como Alonso en sus mejores vueltas. Sus potentes rodillos son tan efectivos como los adelantamientos de Alonso en la pista. Con un diseño en azul y amarillo, “EL NANO” resalta igual que el casco de Fernando en la parrilla. Diseñado, desarrollado y construido con la precisión de un equipo de Fórmula 1, nuestro Battlebot está listo para dejar a todos atrás y convertirse en el campeón de la arena. ¡Prepárate para ver a “EL NANO” llevarse la victoria, nuestro battlebot no es humano, ¡Es inmortal!





ATAQUE

Nuestro battlebot cuenta en la parte frontal con dos potentes rodillos que tienen una serie de protuberancias afiladas, capaces de embestir a nuestros rivales con gran potencia y contundencia, tanto para partirles algunas pizzas como para darles la vuelta.

DEFENSA

“EL NANO” cuenta con una estructura diseñada de forma que mantiene una alta rigidez al conjunto, además de mantener una ligereza que se traduce en una alta maniobrabilidad y velocidad para poder esquivar cualquier ataque enemigo sin ningún tipo de problema.



CONCLUSIONES

Nuestro battlebot demuestra una integración efectiva de un diseño robusto y ligero. Los rodillos proporcionan una ventaja competitiva frente a rivales ligeros con poca protección. Este proyecto no solo refleja nuestra dedicación y habilidades técnicas, sino también nuestra capacidad de innovación en prototipado 3D.

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
Fab Lab

LUCIFER

Laura Jiménez Prieto, Ana María Santa, Erica del Amo Mateos, Javier Darán Caldera y Adrián García Pizarro
Prototipado rápido e Impresión 3D. E.T.S.I.I. de Béjar

DESCRIPCIÓN

Lucifer, inspirado en el campeón de la segunda edición, tiene una misión clara y despiadada: arrasar con todo a su paso sin ser destruido. Su formidable arma giratoria de gran tamaño lo convierte en el adversario más temido de la pista. Su estructura robusta junto con una rampa impresa en 3D y reforzada con aluminio, forman la combinación perfecta para resistir hasta el final. Este titán de la batalla está diseñado para dominar y no dejar ningún oponente en pie, garantizando un espectáculo lleno de emoción y suspense en cada combate.





ATAQUE

El implemento ofensivo de polycarbonato es impulsado por un motor eléctrico de alta velocidad, alcanzando hasta una rotación máxima de 50,000 RPM. Está estratégicamente montado para sobresalir significativamente de la estructura, permitiendo acceder al corazón de nuestros rivales. Además, la rampa ha sido diseñada con un ángulo de ataque óptimo de 30° para desintegrar a los adversarios.

DEFENSA

El robot está equipado con paneles de madera de 6mm de espesor, diseñados para resistir tanto a las estrategias de ataque de los oponentes como a las armas del propio campo de batalla. Adicionalmente, la rampa está optimizada para deslizarse estratégicamente debajo de otros bots y expulsarlos hacia las zonas de peligro.



CONCLUSIONES

Lucifer, con su potente arsenal ofensivo y su estructura baja y robusta, es una máquina diseñada para matar. Su capacidad de ataque devastador y su alta resistencia le confieren un potencial inigualable. Prepárate para ser testigo de la suprema de *Lucifer*, un contendiente destinado a dominar y triunfar.

Figura 2: Ejemplos de dos posters de presentación de prototipos participantes en el Torneo de *Battlebots*

La siguiente fase de diseño engloba el desarrollo del diseño con herramientas CAD. En ella, primero, los profesores proporcionan comentarios y ayudas para garantizar la viabilidad de la solución propuesta por cada grupo. La octava semana se centra en la creación de un modelo digital con detalle de cada solución adoptada por los equipos. Esto hace que se completa la semana con el modelo CAD/CAM que permite su fabricación. Los modelos digitales se componen de todos los elementos mecánicos y electrónicos para su completa definición. El siguiente paso es el análisis de los procesos de fabricación, materiales y costes estimados para construir el prototipo del *Battlebot*. Se realiza un análisis de tiempos, se distribuyen las tareas y se estima un calendario de trabajo completo hasta el final de la asignatura.

La última parte del cuatrimestre se dedica a pulir el diseño, fabricar las piezas del prototipo, ensamblarlo y validar su correcto funcionamiento. Finalmente, los pasos, acciones realizadas, prototipos fabricados a lo largo de las semanas se muestran al resto de grupos en forma de informe y poster de presentación de *Battlebot* (**Figura 2**). El torneo se lleva a cabo en la segunda semana de junio en la ETSII de Béjar y se retransmite en directo a través de

la plataforma Instagram© (<https://www.instagram.com/p/C8H40ecszBp/>). Cabe mencionar que los estudiantes reciben múltiples fuentes de información, entre las que destacan:

1. Seminarios (o *workshops*) sobre diferentes tecnologías relacionadas con el diseño y la construcción de prototipos. Se imparten un total de nueve seminarios entre los que destacan por su relevancia: (a) Primeros pasos con el mecanizado CNC; (b) Taller de radiocontrol con ESP32 Microdesys; (c) Taller de corte y grabado por láser, etc.
2. Información técnica sobre los materiales existentes en el Fablab y catálogos generales de venta online de materiales.
3. Manuales de uso de las máquinas disponibles en el Fablab.
4. Guías de ayuda para la realización de procedimientos de diseño, fabricación y montaje utilizando el equipamiento disponible.

2.3. *Asignatura implicada en la metodología educativa*

La asignatura es optativa de cuarto (4º) curso y su nombre oficial es Impresión 3D y Prototipado Rápido (I3D). Es una asignatura común a grados de la ETSII de Béjar, por lo que los estudiantes pertenecen a los siguientes grados: Ingeniería Mecánica (GIM), Ingeniería Eléctrica (GIE) y Electrónica Industrial y Automática (GIEA). Sin embargo, los estudiantes del grado en ingeniería mecánica forman el grupo más numeroso. La característica diferencial de la asignatura I3D es que su búsqueda de la motivación del estudiante. También destaca la inclusión de mecanismos para potenciar la adquisición de competencias transversales tales como el trabajo en equipo, la negociación, el cumplimiento de las normas de organización y la gestión del tiempo.

La calificación de esta asignatura basada en ABP se divide en cuatro partes. La filosofía es evaluar el trabajo continuo, el trabajo en grupo y cada uno de los entregables exigidos. Una parte (30 % de la nota final) es un examen sobre los conocimientos de creación de bocetos y dibujo CAD/CAM. El resto de la asignatura la forman los tres entregables (Num. 1-3) que corresponden con el 20 %, 20 % y 30 % de la nota final. En el tercer entregable, se evalúa el montaje del prototipo y el trabajo en equipo al 50%, es decir, sobre el total, el trabajo en equipo es el 15% de la nota final.

2.4. *Equipos de trabajo*

Los estudiantes desarrollan el proyecto en grupos de cuatro individuos, pero el número de miembros puede variar en función del número total de estudiantes por curso (ningún grupo fue superior a 5 miembros). Los equipos se crean en la primera semana del segundo cuatrimestre. La elección de los miembros que componen los grupos queda a discreción de los propios estudiantes. Se recomienda que establezcan una cierta multidisciplinariedad en la formación de los grupos para ser más competitivos y dividir mejor las tareas a la hora de llevar a cabo el proyecto de diseño colaborativo del robot de combate o *Battlebot*.

2.5. *Materiales y laboratorios*

La ETSII de Béjar y el Fablab USAL Béjar han sido los principales financiadores y centros de trabajo del proyecto educativo en términos de materiales e instalaciones. El Fablab USAL (<https://fablab.usal.es>) tiene una sede en la ETSII de Béjar y contiene todo el equipamiento necesario para la construcción de los prototipos diseñados por los estudiantes. Entre el equipamiento disponible destacan las máquinas necesarias para mecanizar (torno y fresadora CNC), cortadora de sierra, impresoras 3D de filamento fundido y de resina, cortadora y grabadora láser, cortadora de vinilo, etc. Todo el equipamiento es orientado a la realización de prototipos y sus componentes. Además, cuenta con el material electrónico de control y electromecánico que ayuda a que los prototipos puedan ejecutar las acciones diseñadas.

2.6. *Instrumentos para la evaluación de la acción docente*

La experiencia docente se ha evaluado mediante tres mecanismos independientes que son:

1. **Calificaciones parciales de los entregables y final de la asignatura:** Las notas o calificaciones de los estudiantes en la asignatura se recogen para los 3 años académicos, ya que se han aplicado el mismo criterio de evaluación en los parciales.
2. **Encuestas de motivación y de aprendizaje:** Existe la posibilidad de realizarlas a principio y final de la asignatura. Pero estas encuestas solo se han realizado al principio y final de la asignatura en el último curso académico 2023-24, donde se centra el presente trabajo. La encuesta consta de preguntas que versan sobre la motivación que ha generado en el estudiante las distintas actividades de las que se compone la asignatura. Se incluyen preguntas sobre el grado de aprendizaje del estudiante. En este trabajo se analizan solo comparativamente los datos obtenidos entre las encuestas finales del curso 2022-23 y 2023-24.

3. **Autoevaluación y coevaluación del trabajo en equipo** (incluye la convivencia durante el ABP): Se consulta tanto la visión del desempeño de uno mismo como el trabajo dentro del grupo de uno mismo y del resto de compañeros. Se realiza evaluando distintos aspectos del trabajo en equipo según una rúbrica establecida por el equipo docente.

Todas las encuestas incluyen un apartado de comentarios para completar la información. Cabe mencionar que la no realización de la autoevaluación es un equivalente a la nota más baja (1). No se ha incluido el número total y enunciados de las encuestas realizadas a los estudiantes, pero cabe mencionar que el número total de preguntas ha sido de 15 ítems o preguntas.

2.7. Análisis y métodos estadísticos

Todos los datos numéricos se representan siempre con los descriptores de la media \pm desviación estándar, si no se describe lo contrario. Las calificaciones parciales y totales en los diferentes años académicos se comparan entre sí mediante un ANOVA (Análisis de Varianza) y su posterior prueba post-hoc de Tukey HSD (Diferencia Honesta Significativa). Se muestran como diferencias significativas aquellas cuyo p-value < 0.05 .

En las encuestas se evalúan cinco aspectos principalmente: participación o contribución; colaboración; implicación; espíritu de equipo; mejora del trabajo en equipo. Cada uno de estos aspectos se evalúa mediante una escala Likert (1-5 equivalentes a "Muy Bajo", "Bajo", "Neutral", "Alto", "Muy Alto". En el caso de la encuesta de participación o trabajo en grupo, el valor más bajo corresponde a Novel (1) y el más alto a Experto (5). Se comprobó la consistencia interna de la escala de múltiples ítems de la encuesta de evaluación utilizada mediante el valor alfa de Cronbach estandarizado (0,70 - 0,90). Se utilizaron estadísticas descriptivas para examinar las diferencias en las distintas preguntas reflejadas en las evaluaciones.

El análisis de la evaluación del trabajo en equipo se realiza ponderando los distintos aspectos evaluados por un porcentaje sobre el total del 100%. A continuación se determina la nota final como el valor correspondiente a la suma del 35% de la autoevaluación y el 65% de la coevaluación. La nota por parte del docente no se considera en esta evaluación.

3. Resultados y Discusión

A continuación, se resumen los resultados del proyecto de innovación docente en términos de las notas obtenidas, la encuesta sobre el trabajo en grupo realizado y las observaciones obtenidas por los estudiantes.

Tabla 2: Número de matriculados y encuestados en I3D por curso académico. Se incluye el número de grupos de estudiantes y los prototipos generados. * No existe evaluación en este año académico

Año académico	Num. Estudiantes	Num. Encuestados	Num. grupos	Num. prototipos
2021-22	22	*	4	4
2022-23	11	9 (81%)	3	3
2023-24	17	16 (94 %)	4	4

En el curso final, la actividad final fue celebrada el 12 de junio de 2024 y tras esa fecha, se recabó todos los comentarios y encuestas vertidos durante la realización de todos los prototipos. En total la asignatura se ha desarrollado durante 3 años académicos consecutivos. Sin embargo, solo en el último curso ha incluido todas las encuestas. Es por lo tanto, en dicho curso, en el que se centra este estudio sobre la motivación y los estudiantes.

En la **Tabla 2** se recoge un resumen del número de estudiantes y de los participantes en la encuesta. Se observa que el porcentaje medio de encuestados está por encima del 85% de los estudiantes que cursó la evaluación completa en ambos cursos. Este dato refleja la motivación de los estudiantes, ya que los promedios de encuestados en la ETSII de Béjar están por debajo del 65%. Además, se considera que con dicho número de respuestas obtenidas es suficiente para describir la población de estudiantes encuestada. El número de grupos de estudiantes ha variado en función del curso analizado (máximo número de alumnos admitidos = 25) y ha dependido de los estudiantes finalmente matriculados en la asignatura.

3.1. Evolución de las calificaciones obtenidas por los estudiantes

Las calificaciones de los estudiantes para una asignatura optativa no han variado significativamente en los tres cursos académicos, manteniendo una media global de $8,55 \pm 0,85$. Dicha media en el rango del resto de asignaturas optativas del Grado de Ingeniería Mecánica de la ETSII de Béjar que se calculó en $7,9 \pm 1,05$. En cuanto a los estudiantes de los distintos grados (**Figura 3A**), se observa que en el Grado en Ingeniería Mecánica (GIM) se obtuvo una mayor puntuación con media de $8,95 \pm 0,54$ y que fue significativamente más alta que el Grado en Ingeniería Eléctrica (GIE) con $8,17 \pm 1,09$.

Podemos pensar que la razón para esta diferencia es la base de los conocimientos previos que el grupo de estudiantes del GIM posee a la hora de enfrentarse al examen CAD/CAM. En la **Figura 3B** observamos que al analizar las calificaciones del parcial del examen CAD/CAM, no encontramos diferencias entre los grupos. El factor diferenciador no es el examen, sino que son los entregables y el trabajo en grupo. Esto puede apoyar la suposición inicial de que el método para la enseñanza CAD/CAM es el correcto, y que los resultados son independientes del plan académico del estudiante.

Una observación interesante fue que la composición equilibrada de los grupos no fue estrictamente necesaria en vista de estos datos. Los estudiantes pudieron trabajar en un entorno multidisciplinar sin alterar este resultado y pudiendo elegir a sus compañeros. Aunque se mantiene la recomendación de formar grupos equilibrados con compañeros de otros grados, en futuras ediciones se estudiará establecer una cierta especialidad en las tareas imponiendo o diseñando los grupos en función de cada especialidad.

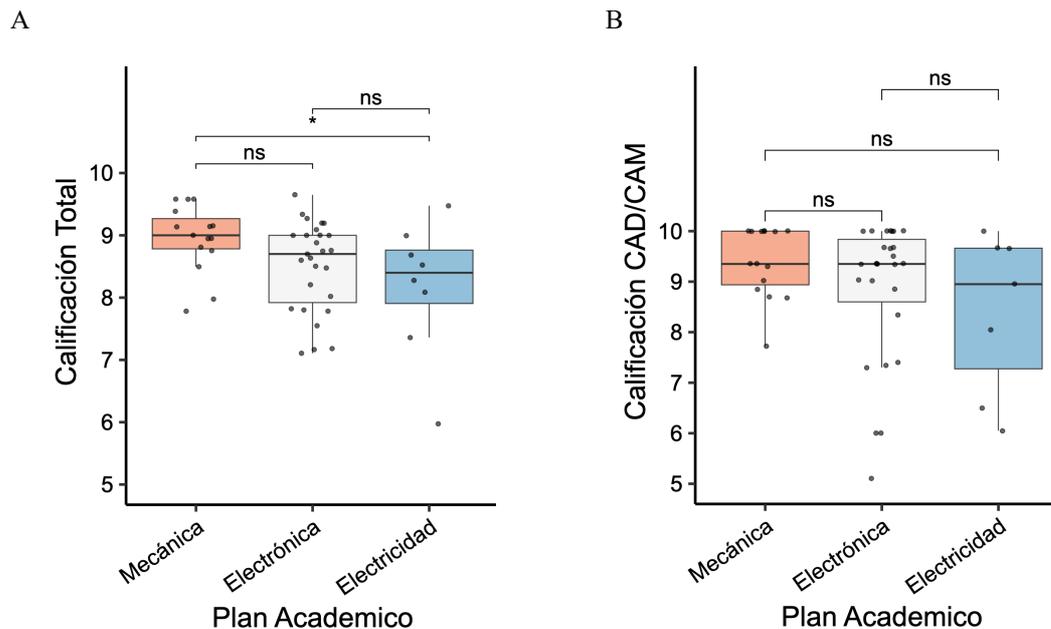


Figura 3: Calificaciones totales de los estudiantes en tres cursos académicos: 2021-22, 2022-23 y 2023-24. (A) Calificaciones totales; (B) Calificaciones parciales referentes al examen CAD/CAM. * p -vale < 0.05 ; n.s.: No significativo.

3.2. Motivación durante la realización del ABP y el evento público final

En este trabajo, el elemento de mayor interés que se desea medir es la motivación de los estudiantes y para ello se han analizado las respuestas en las encuestas finales realizadas en la asignatura.

En la **Figura 4A** se observa que en general la sensación de los alumnos es positiva de cara a las expectativas con respecto a la asignatura. Su idea mayoritaria ha sido el propio hecho de aprender las competencias establecidas, que no son otras que diseñar y fabricar prototipos. Un porcentaje muy bajo se han fijado como prioridad el hecho de obtener buena nota para su expediente. Esto es un claro indicador de la motivación por aprender. Además, un número mayor de estudiantes ven más importante que les aporte formación útil para su futuro profesional que el propio hecho de aprobar la asignatura.

Otra forma de estudiar la motivación es observar su grado de interés y lo importante que consideran esto para su formación como preguntas dirigidas a cada estudiante. En estos casos, la **Figura 4B** presenta los resultados globales a estas preguntas que sugieren que mayoritariamente (entre el 81% y el 89%) encontraron la asignatura de interés y útil para su formación. ¿Qué ha producido este resultado tan significativo? Por los comentarios recogidos y en base a otras preguntas realizadas, la metodología ABP es una de las causas, pero creemos que mucho más relevante es el hecho de haber utilizado el enfoque *hands-on learning*. El gran número de asignaturas mayoritariamente teóricas y cuya cantidad de horas de prácticas es tan baja, hace que el alumno no termine de estar convencido de su formación. Para el estudiante, los conceptos pueden haberse aprendido, pero el hecho de poner en práctica las cosas es muy relevante a la vista de los resultados.

Por último, la asignatura no ha producido un incremento notable en cuanto a la percepción de dificultad por parte de los alumnos (**Figura 4**). Si bien, podría pensarse que el ABP es de por sí, un enfoque que puede generar dificultades a los estudiantes, ante tener que enfrentarse a lo inesperado, esto no fue así. En todo caso, ha prevalecido un equilibrio, que hace que, en modo comparativo, no les resulte tan complicada como otras asignaturas.

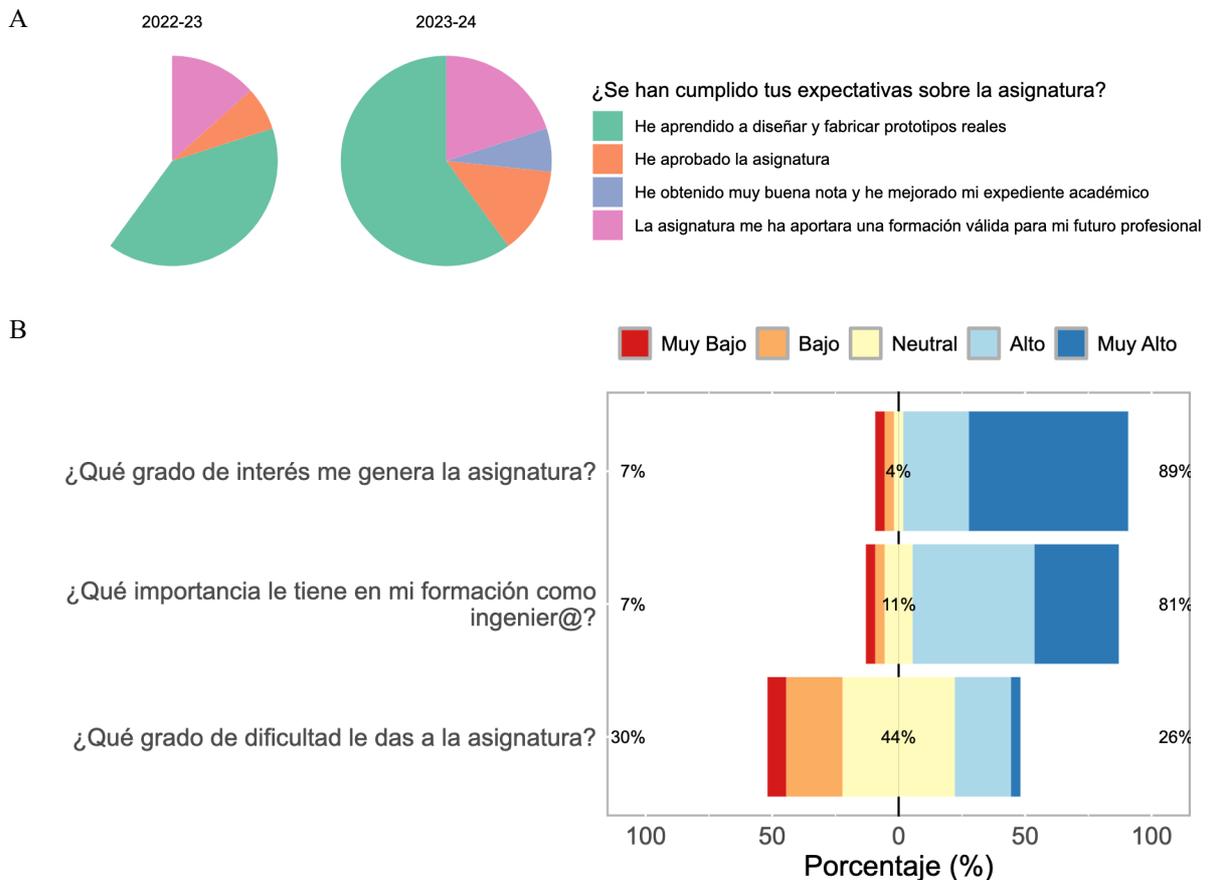


Figura 4: Evaluación en la encuesta final de los estudiantes en los últimos dos cursos académicos. (A) Expectativas cumplidas; (B) Porcentaje de alumnos en las preguntas finales

Se analizaron los mismos resultados por curso académico (**Figura 5**) para estudiar si existían diferencias significativas entre ellos. En general se observó que los resultados son muy similares entre ambos años académicos, lo que puede demostrar que la metodología está correctamente ejecutada o implantada. En base a los datos numéricos, se observan unos valores o porcentajes ligeramente más altos en el curso 2022-23 en las preguntas relacionadas con el interés y la importancia observada (**Figura 5**). La falta de un número más elevado de sujetos ha hecho que no se observe ninguna significancia estadística, por la que no se pudo establecer una correlación en dichas observaciones.

Se han mencionado que entre ambos cursos académicos se introdujeron algunas medidas correctoras en la metodología. Esta ligera variación podría ser un síntoma del empeoramiento en ciertas respuestas. Sin embargo, estos cambios son muy poco relevante y puede deberse a particularidades de alguno de los grupos donde o el trabajo pudo ser excesivo. Sin embargo, la dificultad de la asignatura no pareció aumentar en el curso 2023-24, por lo que se asume que existe una igualdad entre ambos años académicos.

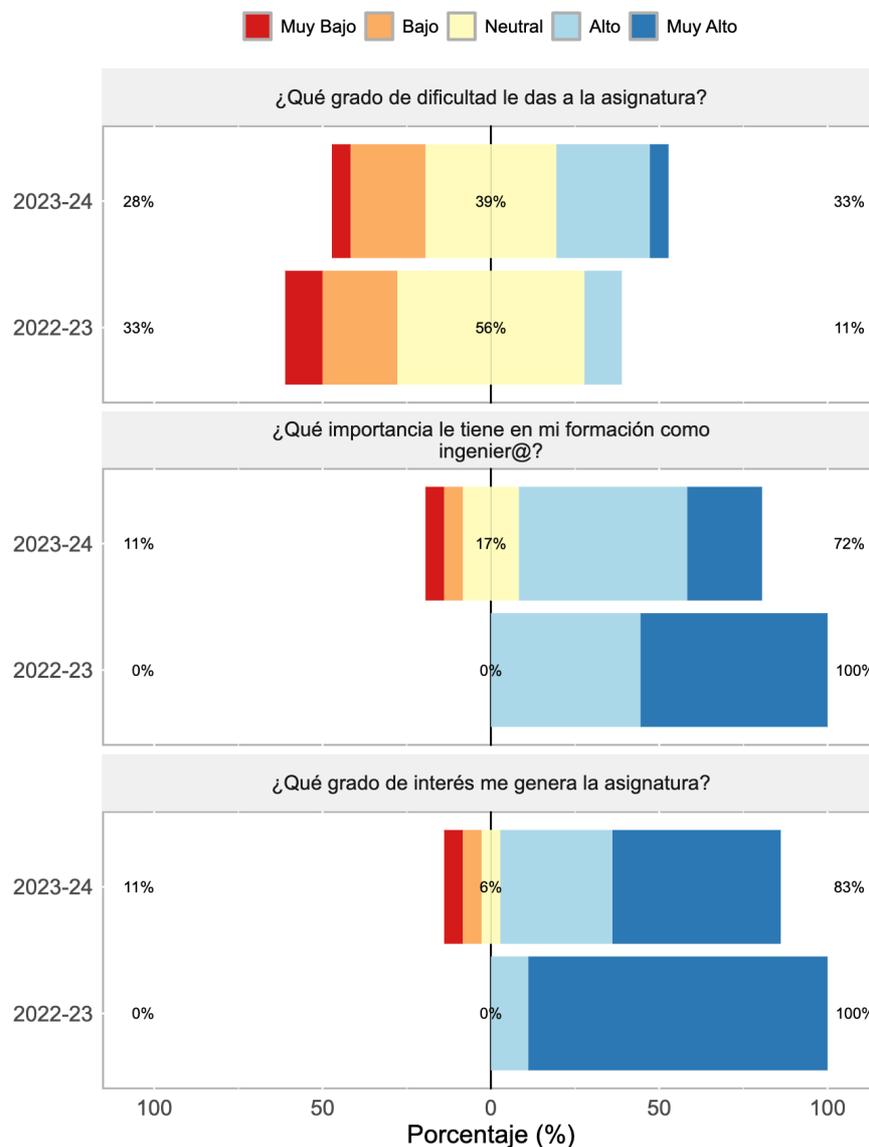


Figura 5: Porcentajes de alumnos en las preguntas finales por curso académico 22/23 y 23/24

Un aspecto a evaluar en el grado de motivación en los estudiantes, es la influencia de la existencia de una competición final. Ya se ha mencionado que los grupos de estudiantes pudieron mostrar los diferentes trabajos realizados al público y, posteriormente, compitieron entre ellos. Por parte de los autores, se observó un claro sentimiento de satisfacción del trabajo realizado entre los estudiantes. Para ello se muestran algunas de las fotos del evento en la **Figura 6**. Al finalizar el Torneo, los propios estudiantes agradecieron el apoyo mostrado por el público. También mostraron su satisfacción no tanto por la victoria sobre otros compañeros, sino por el conocimiento aprendido a lo largo de la asignatura objeto de este estudio.

3.3. Evaluación de adquisición de las competencias transversales por los estudiantes

Las competencias transversales para evaluar son las siguientes: trabajo en equipo, la negociación, el cumplimiento de las normas de organización y la gestión del tiempo. Este trabajo se centra en evaluar la motivación y por lo tanto, examinamos si las medidas tomadas para incrementar el aprendizaje colaborativo (trabajo en equipo) han podido surgir algún efecto.

Para este análisis solo se tuvieron en cuenta los datos del curso académico 2023-24. La razón es que no se obtuvieron suficientes datos en los cursos anteriores. Analizamos los resultados obtenidos en las encuestas de evaluación del trabajo en grupo mediante la autoevaluación y la coevaluación de los compañeros del grupo. Los valores de la evaluación del trabajo en equipo total de los estudiantes en la asignatura optativa fue de media 7.74 ± 1.78 . El valor es ligeramente inferior a lo observado en otros casos descritos. Los alumnos fueron críticos con algunos de los compañeros. Si observamos los grados, los estudiantes del GIM obtuvieron una media de $8.39 \pm$

1.16 que fue superior a la media en Electrónica Industrial y Automática (GIEA) 7.35 ± 2.1 , pero no significativamente más elevada. El GIE fue excluido del análisis debido al bajo número de alumnos matriculados.

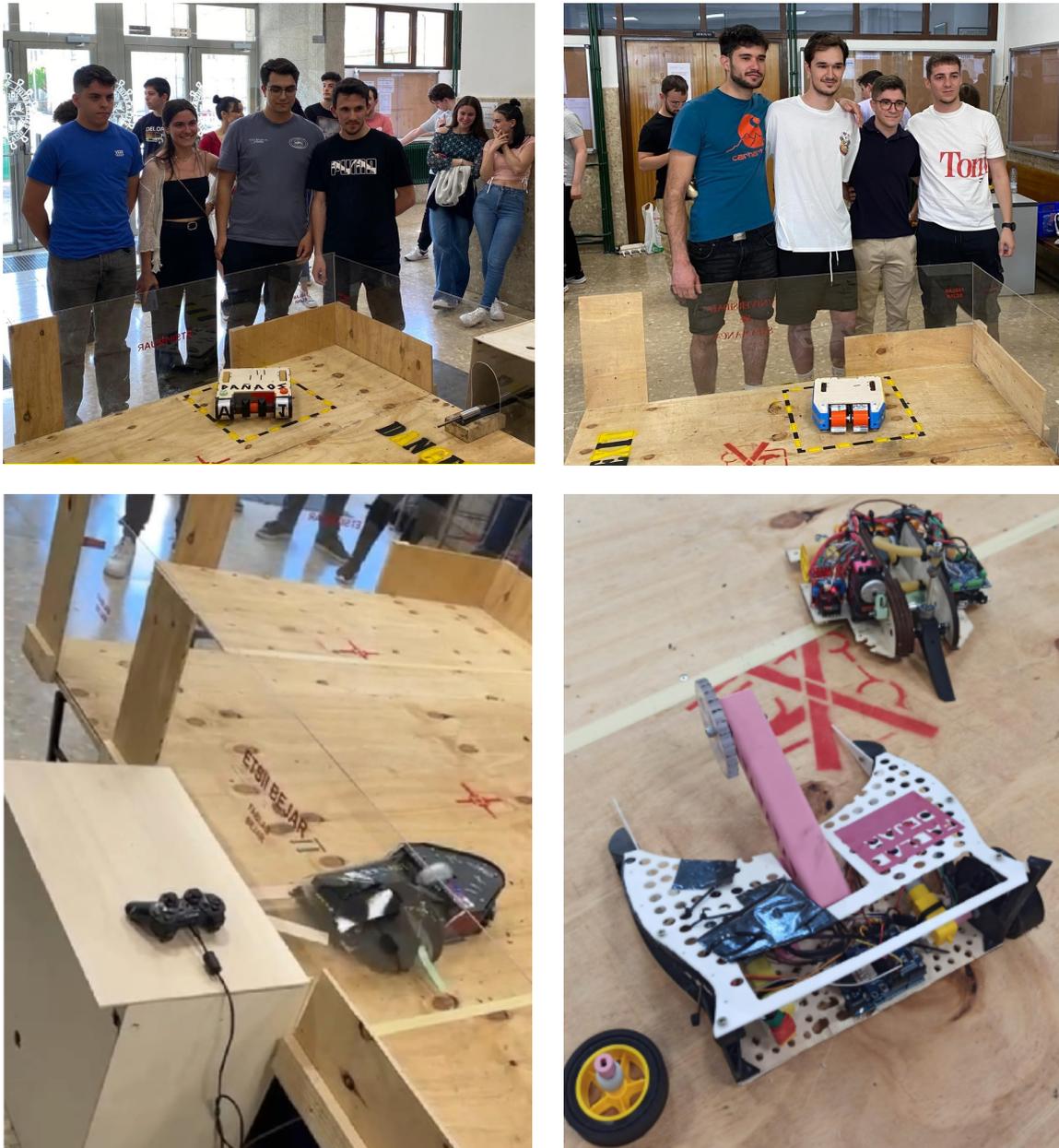


Figura 6: (Imágenes en la parte superior) Equipos de estudiantes participando en el Torneo de *Battlebots*.
(Imágenes en la parte inferior) *Battlebots* en combate en el Torneo de *Battlebots*.

Otro de los aspectos importantes era conocer si los estudiantes tenían tendencia a evaluar más alto su labor que la de sus compañeros o viceversa. El valor de la media de la autoevaluación para todos los estudiantes fue de 7.89 ± 2.22 sobre un total de 10, mientras que el valor de la coevaluación fue de 7.65 ± 1.68 . Sin embargo, el valor no fue significativamente superior ($p = 0.54$, n.s.) lo que demuestra que no hubo aparentemente un sesgo. La **Figura 7A** resumen los resultados obtenidos en referencia a los cinco aspectos estudiados. En toda la coevaluación fue más alta, pero esto es debido a que algunos alumnos no realizaron la autoevaluación correctamente y la penalización de un punto hizo que se obtuvieran esos resultados.

Si se eliminan estos estudiantes obtenemos el gráfico de la **Figura 7B**, donde se observa que ahora sí que los estudiantes emitieron un valor de Autoevaluación ligeramente más alto. Las diferencias no son importantes entre los aspectos, pero es “Implicación” el que más destaca. Se concluye que los estudiantes consideran que la implicación de sus compañeros en el trabajo ha sido menor en general que la suya propia. Mientras que aspectos como la “Colaboración” no se ven tan diferentes.

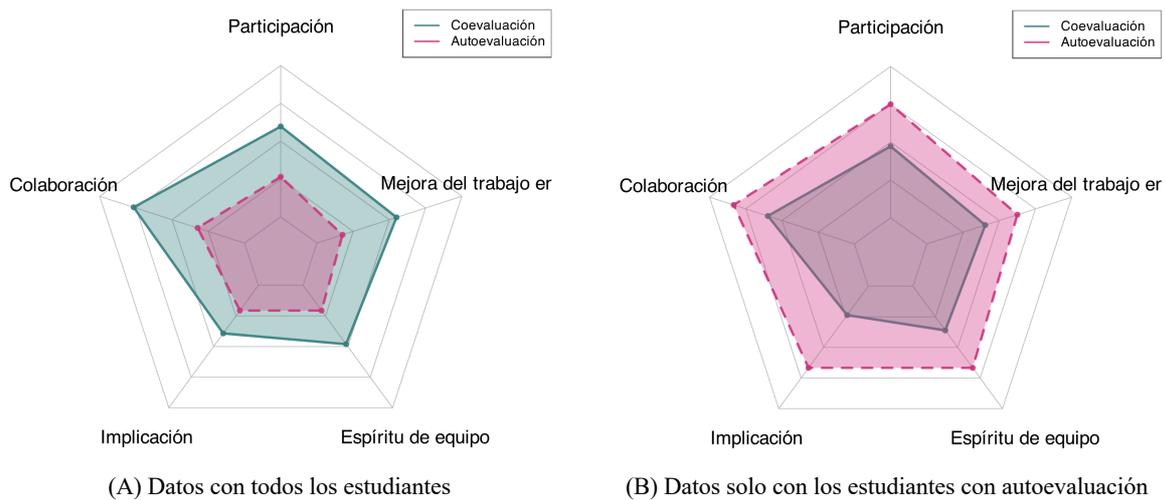


Figura 7: Distribución de puntuaciones en la evaluación del trabajo en equipo en el curso 2023-24.

Una muestra de las notas elevadas en la mayoría de los casos es la **Figura 8**, donde se recoge el espíritu en el *Fablab* realizando actividades de fabricación en la semana 12. Lo docentes observaron que en general los estudiantes mantenían una alta motivación a pesar de los problemas encontrados durante la última fase de montaje. La literatura en el campo sobre casos aplicados de ABP muestra que los estudiantes pueden sufrir importantes obstáculos durante el proyecto [19, 23, 25]. Esto suele ser que son generalmente nuevos para ello, pero al igual que se describe en la literatura, el trabajo en equipo ha ayudado a lograr realizar los entregables a tiempo, sin generar frustración o pérdida de motivación entre los estudiantes. Se puede concluir que el trabajo en equipo representa un incremento o afecta positivamente a la motivación del estudiante.

3.4. Opiniones de los estudiantes ante la experiencia

En cuanto a los comentarios recibidos en la evaluación del trabajo en equipo, destaca la escasez de los comentarios sobre el propio estudiante, con meras referencias a las tareas concretas realizadas. Es un síntoma de la baja autocritica encontrada, a pesar de que los estudiantes no tenían ningún sistema para la mejora del trabajo en equipo tales como reuniones periódicas, etc. En cuanto a los comentarios sobre los compañeros, destacan aquellos positivos, con algunas salvedades como:

- *“Literalmente de pegote en nuestro grupo, como si no cursara la asignatura ...”*
- *“Fue el que menos trabajó de los 3. No obstante, si estuvo implicado el último día para que al menos el Battlebot fuera funcional”*

En un análisis detallado de los positivos descubrimos que ha existido descompensación en las tareas de liderazgo que no han sido detectadas a tiempo. Algunos estudiantes hablaban positivamente de sus compañeros, pero se quejaron constantemente de la falta de liderazgo por parte de todos los miembros.

Por otra parte, los estudiantes respondieron mayoritariamente (95 %) a las encuestas finales y dejaron los correspondientes comentarios. Éstos se estructuraron con respuestas de todo tipo a responder de forma individual. Los resultados han sido analizados, pero existe una gran variedad de opiniones que ha hecho difícil su agrupación y por ello, se ha decidido esperar a años posteriores para su pertinente publicación. En cuanto a la opinión sobre el temario, los mejor valorados por los estudiantes han sido:

- T4.1: Conocimientos sobre formatos tipo STL para impresión 3D.
- T6.1: Impresión 3D: máquinas y tecnologías.
- T7.2: Aprender a utilizar la CNC.

Algunas conclusiones iniciales que pueden ayudar a entender las partes positivas y negativas de la asignatura se anticipan a continuación:

- *“La asignatura es muy completa, para crear un Battlebot necesitas una amplia gama de conocimientos que adquieres con la asignatura, que son enriquecedores puestos que los llevas a la práctica.”*
- *Muy enriquecedora a la hora de ganar experiencia, como trabajo en equipo, adaptación a diversos escenarios, integración, aprendizaje, entre otros.*

- *Lo que se hizo es simular lo que uno se encuentra en la vida real a la hora de trabajar en una empresa o compañía y es una de las pocas asignaturas que te prepara para ello.*
- *Súper satisfecha por haber cursado prototipado rápido, posiblemente la mejor asignatura que haya en la escuela.*



Figura 8: Estudiantes en la fase de construcción y montaje de los prototipos en el laboratorio FabLab USAL Béjar.

Se han detectado algunos aspectos negativos, como la gestión de tiempos. En general, la asignatura tiene suficiente tiempo, pero para reducir las incertidumbres de esta fase final, que en algún caso podría conducir al incumplimiento de los tiempos, se incrementó la fase de construcción y montaje en 2 semanas. A pesar de ello, existen comentarios que recomiendan potenciar el trabajo grupal en el laboratorio FabLab USAL Béjar con más tiempo dedicado al mismo:

- *Empezar antes a diseñar para tener mas tiempo para hacer pruebas.*
- *Comenzar antes a realizar el prototipo para evitar que la elaboración de este coincida con el periodo de preparación de exámenes.*

Por último, se enviaron ciertos comentarios para mejorar aspectos técnicos o docentes de la asignatura que serán tenidos en cuenta para el curso 2024-25:

- *Hay que invertir en mejores motores para el movimiento del robot.*
- *Bajar el peso de los Battlebot.*
- *Más seminarios y explicaciones sobre la potencia y control para la movilidad de los Battlebot.*

Finalmente, los docentes de esta experiencia docente encontraron ciertas dificultades durante el desarrollo de las actividades que reflejaron en un informe final. De entre todo el texto de los informes, se enumeran ciertas acciones que sería las recomendaciones de los docentes para posteriores cursos. Estas recomendaciones se detallan a continuación:

- Incrementar la fase de montaje para evitar frustración en los estudiantes por la falta de tiempo y la proximidad de exámenes.

6. Maharaj, C., E. Blair, and S. Chin Yuen Kee, *The motivation to study: an analysis of undergraduate engineering students at a Caribbean university*. Journal of Further and Higher Education, 2018. **42**(1): p. 24-35 DOI: 10.1080/0309877X.2016.1188901.
7. Memarian, H., A. Memarian, and E.M. Afshar, *Investigating the reasons behind unmotivated engineering students*. Majallah-i Amuzih-i Muhandisi-i Iran, 2020. **22**(86): p. 21-2 DOI: 10.22047/ijee.2020.221624.1729.
8. Tayebi, A., J. Gómez, and C. Delgado, *Analysis on the lack of motivation and dropout in engineering students in Spain*. IEEE Access, 2021. **9**: p. 66253-66265 DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3076751.
9. Chan, H.-Y. and X. Wang, *Momentum through course-completion patterns among 2-year college students beginning in STEM: Variations and contributing factors*. Research in Higher Education, 2018. **59**: p. 704-743 DOI: 10.1007/s11162-017-9485-8.
10. Meyer, M. and S. Marx, *Engineering Dropouts: A Qualitative Examination of Why Undergraduates Leave Engineering*. Qualitative research in STEM, 2016. **103**: p. 525-548.
11. Sanz-García, A., et al. *Active learning and social commitment projects as a teaching-learning intervention in engineering degrees*. in *Fifth International Conference on Higher Education Advances*. 2019. Valencia, Spain: Editorial Universitat Politècnica de València.
12. Pang, Y.J., et al., *Robotics competition-based learning for 21st century STEM education*. Journal of Human Capital Development (JHCD), 2019. **12**(1): p. 83-100.
13. Canek, R., P. Torres, and O. Rodas. *Encouraging higher education stem careers through robotics competitions*. in *2020 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*. 2020. Princeton, NJ, USA: IEEE.
14. Mendoza, J.P., et al. *Proyecto educativo Eurobot Spain*. in *XV Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica: TAEF*. 2022. Teruel: Escuela Universitaria Politécnica de Teruel.
15. Pernía-Espinoza, A.S.-G., Andres, et al. *Active learning and social commitment projects as a teaching-learning intervention in engineering degrees*. Editorial Universitat Politècnica de València.
16. Hilton, E.C., R.L. Nagel, and J.S. Linsey. *Makerspace involvement and academic success in mechanical engineering*. IEEE.
17. Lensing, K., et al. *How Makerspaces Help to Participate in Technology : Results of a Survey to Gain Data about Learners' Activities in Makerspaces*. in *2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC)*. 2018.
18. Oswald, K. and X. Zhao, *Collaborative learning in makerspaces: A grounded theory of the role of collaborative learning in makerspaces*. Sage Open, 2021. **11**(2) DOI: 10.1177/215824402110207.
19. Arques Corrales, P., et al., *Evaluación de un proyecto de campeonato de Sumo Robótico como enfoque ABP para promover la colaboración, la planificación y la motivación en estudiantes de robótica*. Universidad de Alicante. Instituto de Ciencias de la Educación.
20. Sanz García, A., et al., *Battlebots: un proyecto piloto de ingeniería interdisciplinaria basado en robótica electrónica, in MID. Memorias de Innovación Docente, 2022-2023*. 2023; Available from: <http://hdl.handle.net/10366/158441>.
21. Biggs, J., C. Tang, and G. Kennedy, *Teaching for quality learning at university*. 5th ed., 2022: McGraw-hill education (UK).
22. Bielefeldt, A.R., K.G. Paterson, and C.W. Swan, *Measuring the value added from service learning in project-based engineering education*. International Journal of Engineering Education, 2010. **26**(3): p. 535-546.
23. Rodríguez, J., et al., *Project Based Learning experiences in the space engineering education at Technical University of Madrid*. Advances in Space Research, 2015. **56**(7): p. 1319-1330 DOI: 10.1016/j.asr.2015.07.003.
24. Bissett-Johnson, K. and D.F. Radcliffe, *Engaging engineering students in socially responsible design using global projects*. European Journal of Engineering Education, 2021. **46**(1): p. 4-26.
25. Beagon, Ú., D. Niall, and E. Ni Fhloinn, *Problem-based learning: student perceptions of its value in developing professional skills for engineering practice*. European Journal of Engineering Education, 2019. **44**(6): p. 850-865 DOI: 10.1080/03043797.2018.1536114.
26. Beem, H.R. *Exploring the role of project-based learning in building self-efficacy in first-year African engineering students*. in *American Society of Engineering Education (ASEE) Annual Conference*. 2021. Virtual: ASEE Virtual Annual Conference Content Access.
27. Blumenfeld, P.C., et al., *Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning*. Educational psychologist, 1991. **26**(3-4): p. 369-398.
28. Kolmos, A. and E. De Graaff, *Problem-based and project-based learning in engineering education: Merging models*, in *Cambridge handbook of engineering education research*. 2014, Cambridge University Press. p. 141-161.