

Análisis de los resultados del proyecto de innovación educativa PIRAMIDE

Analysis of results from PIRAMIDE educational innovation project

A. Soria-Carro¹, E. Roibás-Millán¹, J. Pérez-Álvarez¹, J. Cubas¹, J. Zamorano², J.M. Álvarez¹, D. Alfonso-Corcuera,
S. Pindado¹

anaisabel.soria@alumnos.upm.es, elena.roibas@upm.es, javier.perez@upm.es, j.cubas@upm.es,
jzamora@datsi.fi.upm.es, jm.alvarez@upm.es, daniel.alfonso.corcuera@upm.es, santiago.pindado@upm.es

¹Instituto Universitario de Microgravedad “Ignacio Da Riva”
(IDR/UPM)

ETSI Aeronáutica y del Espacio, Universidad Politécnica de
Madrid (UPM)
Madrid, España

²Grupo de Sistemas de Tiempo Real y Arquitectura de
Servicios Telemáticos (STRAST)

Information Processing and Telecommunications Center
(IPTC), Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
Madrid, España

Resumen- El objetivo de PIRAMIDE ha sido potenciar los resultados académicos de los estudiantes de grado y máster mediante la investigación en ingeniería espacial. Este proyecto ha sido llevado a cabo por profesores del Instituto IDR/UPM y del grupo STRAST. El programa se estructuró en cinco estudios diferentes: 1) Diseño de una misión espacial (fase 0/A) en una Instalación de Diseño Concurrente (CDF); 2) Selección y estudio de un ordenador de a bordo para una misión CubeSat; 3) Metodologías de diseño inteligente aplicadas a la ingeniería gráfica; 4) Análisis de sistemas de potencia para aplicaciones espaciales; y 5) Diseño de un Subsistema de Control y Determinación de Actitud (ADCS) de una nave espacial. En el presente trabajo se analizan los resultados de realizar 5 encuestas a los alumnos para cada uno de los casos de estudio que componen PIRAMIDE y una encuesta al profesorado. Además, se incluye un análisis crítico con las lecciones aprendidas que podrían ayudar a diseñar mejores proyectos de innovación educativa en el futuro.

Palabras clave: *Research-Based Learning, metodologías de trabajo, innovación educativa, ingeniería espacial, diseño concurrente, sistemas espaciales*

Abstract- PIRAMIDE aimed at boosting academic results from Bachelor and Master students by doing research on space engineering. This project was carried out by professors from the IDR/UPM Institute and STRAST group. The program was structured into five different case studies: 1) Design of a space mission (phase 0/A) in a Concurrent Design Facility (CDF); 2) Selection and study of an on-board computer for a CubeSat mission; 3) Intelligent design methodologies applied to graphic engineering; 4) Analysis of power systems for space applications; and 5) Design of a spacecraft Attitude Determination and Control Subsystem (ADCS). In the present work the results of conducting 5 student surveys for each of the case studies and a faculty survey are analyzed. Besides, some critical analysis is included with the lessons learned that might help to design better innovative educational projects in the future.

Keywords: *Research-Based Learning, working methodologies, educational innovation, space engineering, concurrent design, space systems*

1. INTRODUCCIÓN

La experiencia que obtienen los estudiantes de participar en proyectos de investigación como parte de la innovación educativa es ampliamente conocida como una herramienta eficaz que aumenta las tasas de retención de los estudiantes y el compromiso, lo que conduce a la obtención de beneficios tanto en los resultados académicos, como en las habilidades y actitudes (Kuh 2008; Lopatto 2010). Una gran cantidad de investigaciones han documentado estas ganancias educativas, desde el desarrollo de habilidades intelectuales como la resolución y análisis de problemas, una mayor tolerancia a la ambigüedad y a los obstáculos y la mejora de iniciativa personal (Bauer and Bennett 2008; Hunter, Laursen, and Seymour 2006; Lopatto 2004) hasta el aumento del pensamiento crítico y las habilidades de comunicación y escritura (Russell, Hancock, and McCullough 2007; Trosset, Lopatto, and Elgin 2008). También se ha documentado que los estudiantes que participan en proyectos de investigación informaron de un mayor interés en seguir la educación de posgrado o el doctorado (Eagan et al. 2013; Lopatto 2007; Russell et al. 2007) y tenían más probabilidades de participar en carreras científicas seis años después de la graduación (Hernandez et al. 2018). En este trabajo se realiza un primer análisis de los resultados obtenidos tras realizar diversas encuestas a 44 estudiantes de grado y máster en ingeniería aeroespacial que participaron en el proyecto de innovación educativa PIRAMIDE, así como a los 6 docentes involucrados, con el fin de evaluar los beneficios de esta iniciativa académica y comprender mejor las formas en que los profesores experimentados guían a los alumnos que están formándose para convertirse en futuros ingenieros.

2. CONTEXTO

Durante la segunda mitad de 2019 se realizó en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) la convocatoria anual de ayudas para Proyectos de Innovación Educativa dirigidos por el personal docente de la universidad. La UPM articula la innovación educativa mediante: 1) Grupos de Innovación Educativa (GIE). Agrupaciones estables de

docentes que trabajan en técnicas de innovación educativa y cuya labor es reconocida por la universidad mediante el reconocimiento como GIE. 2) Proyectos de Innovación Educativa (PIE). Proyectos de innovación docente dirigidos por personal docente (perteneciente o no a un GIE), y apoyados económicamente por la universidad. En la convocatoria 2019-20 estos proyectos habían de encuadrarse dentro de 5 líneas posibles de actuación: 1) Aula Invertida, 2) Actividades de gamificación, 3) Aprendizaje Basado en Retos-*Design Thinking*, 4) Aprendizaje Basado en Investigación, y 5) Colaboración Virtual.

El PIE PIRAMIDE (Proyectos de Investigación Realizados por Alumnos de Máster/Grado para la Innovación y el Desarrollo Espacial; CÓDIGO: IE1920.1402-P), fue solicitado por personal docente de la UPM integrado en el Instituto Universitario de Microgravedad “Ignacio Da Riva” (IDR/UPM). La concesión del proyecto por parte del Rectorado de la UPM se realizó en febrero de 2020. PIRAMIDE es un PIE que engloba cinco estudios a través de los cuales se pretende fomentar el aprendizaje basado en la investigación (Pindado et al. 2021). Esto es, se persigue una mejora del rendimiento académico de estudiantes de grado y máster en ingeniería aeroespacial mediante técnicas propias de la investigación. Los cinco estudios están ligados a cinco asignaturas del plan de estudios correspondiente al Máster Universitario en Sistemas Espaciales (MUSE), y dirigidos por los profesores responsables de estas asignaturas.

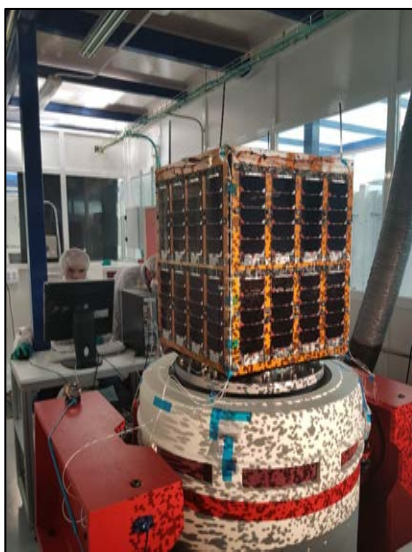


Figura 1. El satélite UPMSat-2, durante los ensayos de vibración en las instalaciones del Instituto IDR/UPM del Campus de Montgancedo (Madrid).

A. El Máster Universitario en Sistemas Espaciales (MUSE) de la UPM

El MUSE es un programa oficial de máster aprobado por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA). Es uno de los primeros programas de máster oficial (si no el primero), no ligados a ninguna facultad o escuela de ingeniería. Su propuesta está ligada al cambio legislativo representado por el Real Decreto 861/2010, de 2 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. En este RD 861/2010 se establece la capacidad de centros como el Instituto IDR/UPM para ser

responsable de titulaciones de máster oficiales. En el MUSE se ha volcado la experiencia en proyectos de ingeniería de sistemas espaciales, e investigación en esta área, acumulada desde los años 70 con el trabajo del Profesor Ignacio Da Riva, primer español en llevar un experimento al espacio. La labor de los docentes y personal del Instituto IDR/UPM se ha concretado en proyectos tan relevantes como la elaboración del Manual de Control Térmico de la Agencia Espacial Europea (*European Space Agency* - ESA), o la participación en misiones espaciales (o de carácter espacial) como MINISAT, Rosetta, ExoMars, o Solar Orbiter (Pindado et al. 2016). No obstante, los proyectos de ingeniería de sistemas espaciales más relevantes en cuanto a su dimensión académica han sido los satélites UPM-Sat 1 (lanzado en 1995, es el primer satélite 100% español y décima misión espacial universitaria de la Historia), y el UPMSat-2 (lanzado en septiembre de 2020, véanse las Figuras 1 y 2) (Pindado et al. 2017). Ambos de 50 kg, convierten a la UPM en la única universidad española que ha sido capaz de desarrollar satélites de esa masa hasta la fecha.



Figura 2. Septiembre de 2020. Lanzamiento del UPMSat-2 a bordo de la misión VV16 del lanzador VEGA desde la Guayana Francesa.

3. DESCRIPCIÓN

En esta sección se describen brevemente los cinco estudios que comprende PIRAMIDE. Y la campaña de encuestas destinada a la evaluación de este PIE.

A. Estudio 1. Diseño de fase 0/A de una misión espacial en CDF (Concurrent Design Facility)

Este estudio en CDF (Roibás-Millán, Sorribes-Palmer, Chimenó-Manguán, et al. 2018; Roibás-Millán, Sorribes-Palmer, and Chimenó-Manguán 2018) está ligado a la asignatura Ingeniería de Sistemas y Gestión de Proyectos. Fue llevado a cabo por los 24 alumnos que componen la promoción del MUSE llamada a graduarse en julio de 2022. Para este estudio se crearon 2 grupos. Se propuso una misión que se desarrolló en una primera fase de prediseño, y que se completó con el desarrollo final de la misión tras la revisión del prediseño.

B. Estudio 2. Selección y estudio de un computador de a bordo para misiones CubeSat

Este estudio está ligado a la asignatura Gestión de Datos. Fue llevado a cabo por los 14 alumnos que componen la promoción del MUSE llamada a graduarse en julio de 2021. Para este estudio se crearon 3 grupos. Partiendo de una configuración propia de CubeSat se formuló un estudio que comprendía la elección del ordenador de a bordo y luego la programación y gestión de la información de entrada y salida.

C. Estudio 3. Metodologías inteligentes de diseño aplicadas a la ingeniería concurrente

Este estudio está ligado a la asignatura Ingeniería Gráfica para Diseño Mecánico Aeroespacial. Fue llevado a cabo por los 24 alumnos que componen la promoción del MUSE llamada a graduarse en julio de 2022. Se dividió a los alumnos en 4 grupos con un alumno representante para la comunicación con los docentes. Se propuso el diseño modular de un satélite en el que cada parte y cada paso estaba parametrizado (véase la Figura 3).

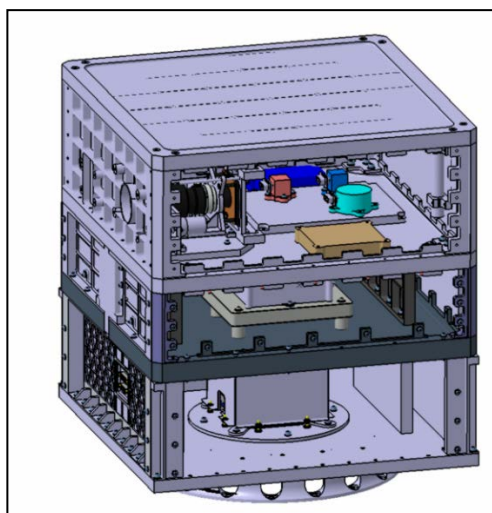


Figura 3. Ejemplo de uno de los diseños modulares realizados por los alumnos del Estudio 3 de PIRAMIDE.

D. Estudio 4. Análisis del comportamiento de distintos elementos del sistema de potencia (paneles y baterías) de un satélite

Este estudio está ligado a la asignatura generación y Gestión de Potencia Eléctrica (Pindado et al. 2018). Fue llevado a cabo por un grupo formado por 4 alumnos del Grado en Ingeniería Aeroespacial (GIA), 1 alumno del Master Universitario en Sistemas del Transporte Aéreo (MUSTA), y 1 alumno de doctorado. La planificación inicial fue alterada dejándose de lado el estudio de baterías. No obstante, a cambio se incidió en la publicación tanto en revistas de prestigio como en congresos internacionales de los resultados los análisis llevados a cabo por los alumnos.

E. Estudio 5. Diseño de un subsistema de control de actitud

Este estudio está ligado a la asignatura Dinámica Orbital y Control de Actitud. Fue llevado a cabo por los 14 alumnos que componen la promoción del MUSE llamada a graduarse en julio de 2021. La tarea consistió en elaborar un control de actitud para un satélite que pivotara sobre uno de sus ejes con el objeto de que se orientara hacia una luz incidente (véase la Figura 4). Fue llevada a cabo mediante la construcción de un pequeño modelo de satélite controlado por un Arduino. El docente encargado de este estudio llevó a cabo una encuesta en la que revela tanto la alta motivación para realizar este estudio práctico, como la necesidad de mejorar la docencia dedicada al empleo conjunto de Matlab y Arduino.

F. Diseño de la encuesta de evaluación de PIRAMIDE

Para evaluar los resultados obtenidos en los cinco Estudios (E1,..., E5) que componen el PIE PIRAMIDE, se realizó una encuesta a los alumnos y profesores involucrados. La

herramienta digital que se ha utilizado para tal fin ha sido la plataforma de libre acceso *QuestionPro*. Se ha estructurado el análisis en 3 grupos de alumnos. Los alumnos del MUSE llamados a egresar en julio de 2022 ($N = 24$), grupo G1, realizaron las encuestas para los estudios E1 y E3, los llamados a egresar en julio de 2021 ($N = 14$), grupo G2, se centraron en los estudios E2 y E5, y por último hubo un tercer grupo ($N = 6$), grupo G3, constituido por alumnos involucrados en el estudio E4. Todas estas encuestas contenían las mismas preguntas: 14 en las que se preguntaba si se estaba de acuerdo o no con un aspecto particular del proyecto y una con un listado de afirmaciones que había que valorar en un rango del 1 al 5 desde *Totalmente de acuerdo* hasta *Totalmente en desacuerdo*.

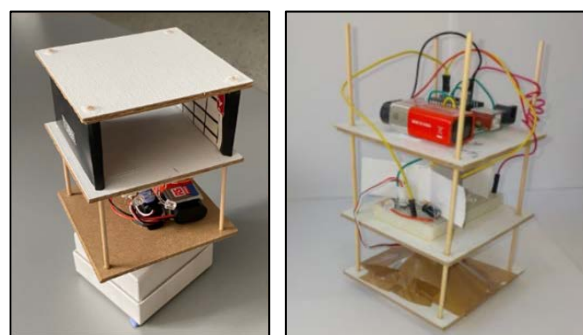


Figura 4. Ejemplos de los sistemas de control realizados por los alumnos del Estudio 5 de PIRAMIDE

4. RESULTADOS

La participación por Estudio en las encuestas fue la siguiente. E1: 17 alumnos (71%); E2: 8 alumnos (57%); E3: 19 alumnos (79%); E4: 6 alumnos (100%); E5: 10 alumnos (71%).

La pregunta 1: *¿Se dejó claro por parte del docente que este proyecto era parte de un Proyecto de Innovación Educativa?*, ha tenido los resultados de la Tabla 1.

Tabla 1: Resultados de la pregunta 1

| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|----|-----|------|-----|------|-----|
| P1 | Sí | 59% | 0% | 84% | 100% | 10% |
| | No | 41% | 100% | 16% | 0% | 90% |

La pregunta 2: *¿Se explicó de forma clara por parte del/de la docente el trabajo a desarrollar?*, ha tenido los resultados de la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de la pregunta 2

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|------|-----|------|------|-----|
| Sí | 100% | 88% | 100% | 100% | 80% |
| No | 0% | 12% | 0% | 0% | 20% |

La pregunta 3: *El trabajo a desarrollar fue razonable en términos de carga de trabajo*, ha tenido los resultados de la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la pregunta 3.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|------|-----|------|-----|
| Sí | 93% | 100% | 53% | 100% | 60% |
| No | 7% | 0% | 47% | 0% | 40% |

La pregunta 4: *¿Manejó usted bibliografía referente al proyecto desarrollado?*, ha tenido los resultados de la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de la pregunta 4.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 87% | 86% | 72% | 100% | 55% |
| No | 13% | 14% | 28% | 0% | 45% |

La pregunta 5: *El trabajo de tutoría de el/la docente fue suficiente para el desarrollo de este proyecto*, ha tenido los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados de la pregunta 5.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 80% | 86% | 89% | 100% | 67% |
| No | 20% | 14% | 11% | 0% | 33% |

La pregunta 6: *¿Cree usted que el trabajo desarrollado le ha ayudado a entender y mejorar sus propios procesos de aprendizaje?*, ha tenido los resultados de la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados de la pregunta 6.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|------|-----|------|------|-----|
| Sí | 100% | 57% | 100% | 100% | 89% |
| No | 0% | 43% | 0% | 0% | 11% |

La pregunta 7: *¿Dentro del proyecto, ¿pudo usted desarrollar iniciativas propias?*, ha tenido los resultados de la Tabla 7.

Tabla 7: Resultados de la pregunta 7.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|------|
| Sí | 67% | 14% | 94% | 100% | 100% |
| No | 33% | 86% | 6% | 0% | 0% |

La pregunta 8: *¿Cree usted que su capacidad para integrarse en grupos de trabajo ha mejorado tras este proyecto?*, ha tenido los resultados de la Tabla 8.

Tabla 8: Resultados de la pregunta 8.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 80% | 29% | 83% | 100% | 11% |

| | | | | | |
|----|-----|-----|-----|----|-----|
| No | 20% | 71% | 17% | 0% | 89% |
|----|-----|-----|-----|----|-----|

La pregunta 9: *¿Ha mejorado su capacidad para liderar esos grupos de trabajo?*, ha tenido los resultados de la Tabla 9.

Tabla 9: Resultados de la pregunta 9.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|------|-----|------|------|
| Sí | 47% | 0% | 61% | 100% | 0% |
| No | 53% | 100% | 39% | 0% | 100% |

La pregunta 10: *¿Ha mejorado usted su capacidad para acometer la solución de problemas de ingeniería tras este proyecto?*, ha tenido los resultados de la Tabla 10.

Tabla 10: Resultados de la pregunta 10.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|------|------|------|
| Sí | 73% | 57% | 100% | 100% | 100% |
| No | 27% | 43% | 0% | 0% | 0% |

La pregunta 11: *El resultado de trabajo desarrollado dentro de este proyecto le parece satisfactorio*, ha tenido los resultados de la Tabla 11.

Tabla 11: Resultados de la pregunta 11.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 87% | 57% | 89% | 100% | 89% |
| No | 13% | 43% | 11% | 0% | 11% |

La pregunta 12: *¿Continuaría usted trabajando en aspectos de este proyecto que hayan podido quedar pendientes?*, ha tenido los resultados de la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de la pregunta 12.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 53% | 29% | 72% | 100% | 89% |
| No | 47% | 71% | 28% | 0% | 11% |

La pregunta 13: *¿Cree que su rendimiento académico general ha podido mejorar como consecuencia de su participación en este proyecto?*, ha tenido los resultados de la Tabla 13.

Tabla 13: Resultados de la pregunta 13.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|-----|-----|-----|------|-----|
| Sí | 57% | 14% | 72% | 100% | 56% |
| No | 43% | 86% | 28% | 0% | 44% |

La pregunta 14: *¿Recomendaría a otros estudiantes integrarse en una iniciativa similar?*, ha tenido los resultados de la Tabla 14.

Tabla 14: Resultados de la pregunta 14.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|------|-----|-----|------|------|
| Sí | 100% | 57% | 94% | 100% | 100% |
| No | 0% | 43% | 6% | 0% | 0% |

Finalmente, se realizó el siguiente listado de afirmaciones (A1,..., A7) que había que valorar en un rango del 1 (*Totalmente en desacuerdo*) hasta el 5 (*Totalmente de acuerdo*):

1. Comprendo mejor cómo se trabaja en proyectos de investigación.
2. Mi capacidad para lograr resultados de forma independiente ha mejorado.
3. Soy capaz de interpretar mejor los datos extraídos de publicaciones científicas.
4. Soy capaz de analizar mejor datos experimentales y extraer conclusiones de ellos.
5. Mi tolerancia ante dificultades de aprendizaje ha mejorado.
6. Comprendo mejor cómo funciona el trabajo científico y la exposición de resultados ante la comunidad.
7. He mejorado mi capacidad para describir de forma escrita los resultados de mi trabajo.

En la Tabla 15 se observa el resultado de realizar la media de las respuestas de las distintas encuestas.

Tabla 15: Resultados de las respuestas a las afirmaciones A1, ..., A7 por los estudiantes participantes del PIE PIRAMIDE.

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|----|------|------|------|------|------|
| A1 | 3,86 | 2,67 | 3,71 | 4,67 | 3,22 |
| A2 | 3,64 | 2,50 | 4,12 | 4,67 | 3,78 |
| A3 | 3,86 | 2,83 | 3,47 | 4,83 | 2,89 |
| A4 | 3,43 | 3,00 | 3,29 | 4,83 | 3,33 |
| A5 | 3,86 | 2,83 | 4,12 | 4,50 | 3,89 |
| A6 | 3,86 | 2,67 | 3,94 | 4,83 | 3,22 |
| A7 | 3,86 | 2,60 | 3,94 | 4,67 | 3,33 |

Los resultados muestran en primer lugar distintos comportamientos en cuanto a los grupos de alumnos. La participación más alta corresponde al G3, mientras que la más baja al G1. Con respecto a las preguntas, los alumnos del G1 indican que no fueron informados por los profesores de la naturaleza de este proyecto en ningún Estudio de los que participaron (E2 y E5). No obstante, se ha de decir que sí fueron invitados a participar en el Estudio E4, explicándoseles la

naturaleza del proyecto y rechazaron formar parte de este Estudio. La satisfacción de este grupo con los estudios realizados también parece ser la menor. En cuanto a los Estudios, el E2 parece ser el que ha logrado un menor grado de cumplimiento de los objetivos de PIRAMIDE (pregunta 13), siendo los Estudios E3 y E4 los de mayor nivel de cumplimiento. Este resultado es coherente con los resultados de la pregunta 15. Finalmente, los estudiantes recomiendan este tipo de iniciativas, si bien este grado de reconocimiento baja en el Estudio E2.

La encuesta del profesorado ($N = 6$) está destinada a estimar el grado de satisfacción del personal docente mediante una serie de preguntas:

1. Trabajar en este proyecto ha sido satisfactorio.
2. ¿Ha percibido usted satisfacción por parte de los estudiantes involucrados en este proyecto?
3. ¿Le ha permitido este proyecto mejorar sus contenidos docentes?
4. Repetiría su participación en una iniciativa similar.

Los resultados a estas preguntas se observan en la Tabla 11.

Tabla 11: Resultados de las preguntas al profesorado.

| | Sí | No |
|----|------|-----|
| P1 | 100% | 0% |
| P2 | 100% | 0% |
| P3 | 100% | 0% |
| P4 | 83% | 17% |

Finalmente, se realizó el siguiente listado de afirmaciones (A1,..., A3) que había que valorar en un rango del 1 (*Totalmente en desacuerdo*) hasta el 5 (*Totalmente de acuerdo*), cuyos resultados se observan en la Tabla 16:

1. He podido integrar este proyecto sin problemas dentro de mi carga académica.
2. He tenido suficiente apoyo/información por parte de la dirección del PIE PIRAMIDE.
3. He echado de menos más coordinación con otros Estudios del PIE PIRAMIDE.

Tabla 16: Resultados afirmaciones encuesta docentes.

| | |
|----|------|
| A1 | 4,00 |
| A2 | 4,60 |
| A3 | 3,20 |

Los resultados de la encuesta a los profesores muestran su satisfacción con el proyecto PIRAMIDE, aunque la posibilidad de repetir en un proyecto similar no encontró una respuesta unánime. También se observa que pudiera haber una cierta posibilidad de mejora en relación a la coordinación entre los diferentes Estudios.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes de PIRAMIDE son las siguientes:

- Se ha logrado el principal objetivo, que es mejorar el rendimiento académico de alumnos de Grado/Máster mediante investigación.
- Se observan grandes diferencias en cuanto al planteamiento de los cinco estudios que dificultan la extracción de conclusiones globales.
- Se notan diferencias en cuanto a la respuesta de los distintos grupos de estudiantes. Este resultado pudiera ser efecto de la situación de la pandemia global desatada en 2020 y sus efectos en la docencia impartida en escuelas y facultades universitarias.

AGRADECIMIENTOS

Los coordinadores del Proyecto de Innovación Educativa PIRAMIDE, Elena Roibás-Millán y Santiago Pindado, quieren agradecer el apoyo del Director del Instituto IDR/UPM, Ángel Sanz-Andrés, su apoyo a esta iniciativa.

REFERENCIAS

- Bauer, K. W., and J. S. Bennett. 2008. "Evaluation of the Undergraduate Research Program at the University of Delaware: A Multifaceted Design. In: *Creating Effective Undergraduate Research Programs in Science: The Transformation from Student to Scientist*, Ed. R Taraban and RL Blanton." 81–111.
- Eagan, M. Kevin, Sylvia Hurtado, Mitchell Chang, Gina Garcia, Felisha Herrera, and Juan Garibay. 2013. "Making a Difference in Science Education: The Impact of Undergraduate Research Programs." *Am Educ Res J* 683–713.
- Hernandez, Paul R., Anna Woodcock, Mica Estrada, and P. Wesley Schultz. 2018. "Undergraduate Research Experiences Broaden Diversity in the Scientific Workforce." *BioScience* 68(3):204–11. doi: 10.1093/biosci/bix163.
- Hunter, Anne-Barrie, Sandra Laursen, and Elaine Seymour. 2006. "Becoming a Scientist: The Role of Undergraduate Research in Students' Cognitive, Personal, and Professional Development." *Science Education* 92(1):141–64.
- Kuh, George D. 2008. "High-Impact Educational Practices: What They Are, Who Has Access to Them, and Why They Matter." *Washington, DC: Association of American Colleges and Universities*.
- Lopatto, David. 2004. "Survey of Undergraduate Research Experiences (SURE): First Findings." *Cell Biology Education* 3(4):270–77.
- Lopatto, David. 2007. "Undergraduate Research Experiences Support Science Career Decisions and Active Learning." *CBE Life Sciences Education* 6 (4): 297–306.
- Lopatto, David. 2010. "Undergraduate Research as a High-Impact Student Experience." *Peer Review*, 12(2) 27–30.
- Pindado, Santiago, Javier Cubas, Elena Roibás-Millán, and Félix Sorribes-Palmer. 2018. "Project-Based Learning Applied to Spacecraft Power Systems: A Long-Term Engineering and Educational Program at UPM University." *CEAS Space Journal* 10(3):307–23. doi: 10.1007/s12567-018-0200-1.
- Pindado, Santiago, Elena Roibas-Millan, Javier Cubas, Javier Pérez-Álvarez, Juan Zamorano, Jose Miguel Alvarez Romero, Sergio Marín-Coca, Daniel Alfonso-Corcuera, and Ángel Sanz-Andrés. 2021. "PIRAMIDE: An Innovative Educational Program Based on Research - Some Results and Lessons Learned." Pp. 1–24 in *ATINER'S Conference Paper Proceedings Series ENGEDU2021-0210*.
- Pindado, Santiago, Elena Roibas-millan, Andres Garcia, Isabel Perez-grande, and Javier Perez-alvarez. 2017. "The UPMSat-2 Satellite: An Academic Project within Aerospace Engineering Education." Pp. 1–28 in *ATINER'S Conference Paper Series, No: ENGEDU2017-2333*.
- Pindado, Santiago, Angel Sanz, Franchini Sebastian, Isabel Perez-grande, Gustavo Alonso, Javier Perez-Alvarez, Felix Sorribes-Palmer, Javier Cubas, Andres Garcia, Elena Roibas, and Antonio Fernandez. 2016. "Master in Space Systems, an Advanced Master 's Degree in Space Engineering." Pp. 1–16 in *ATINER'S Conference Paper Series, No: ENGEDU2016-1953*. Athens. Greece.
- Roibás-Millán, E., F. Sorribes-Palmer, and M. Chimeno-Manguán. 2018. "The MEOW Lunar Project for Education and Science Based on Concurrent Engineering Approach." *Acta Astronautica* 148(April):111–20. doi: 10.1016/j.actaastro.2018.04.047.
- Roibás-Millán, E., F. Sorribes-Palmer, M. Chimeno-Manguán, J. Cubas, and S. Pindado. 2018. "The Spanish Contribution to the 1st ESA Academy's Concurrent Engineering Challenge: Design of the Moon Explorer and Observer of Water-Ice (MEOW) Mission." in *8th International Workshop on System & Concurrent Engineering for Space Applications (SECESA 2018)*. Glasgow. United Kingdom.
- Russell, Susan H., Mary P. Hancock, and James McCullough. 2007. "Benefits of Undergraduate Research Experiences." *Science* 316(5824):548–49.
- Trosset, Carol, David Lopatto, and Sarah Elgin. 2008. "Implementation and Assessment of Course-Embedded Undergraduate Research Experiences: Some Explorations. In: *Creating Effective Undergraduate Research Programs in Science: The Transformation from Student to Scientist*, Ed. R Taraban and RL Blanton." 33–49.