

## MEMORIA FINAL

### Compromisos y Resultados

### Actuaciones Avaladas para la Mejora Docente

### 2021/2022

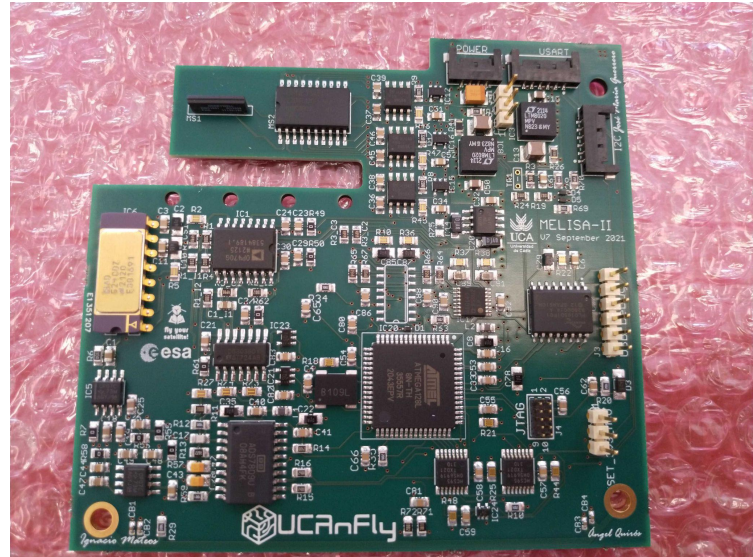
Identificación del proyecto	
Código	sol-202100203877-tra
Título	Desarrollo de la misión UCAnFly dentro del programa educacional Fly Your Satellite (ESA) y su uso como herramienta de aprendizaje basada en proyectos
Responsable	Antonia Morales Garoffolo

1. Describa los resultados obtenidos a la luz de los objetivos y compromisos que adquirió en la solicitud de su proyecto<sup>1</sup>. Copie en las dos primeras filas de cada tabla el título del objetivo y la descripción que incluyó en el apartado 2 de dicha solicitud e incluya tantas tablas como objetivos contempló.

Objetivo nº 1	
Título:	<i>Guía y supervisión en el proceso de fabricación del nanosatélite</i>  <i><u>Profesorado Involucrado:</u> Ignacio Mateos, Guillermo Pachecho, Irene del Sol, Antonia Morales</i>
Actividades previstas:	<i>Actividades previstas: Mientras que algunos subsistemas del satélite UCAnFly son comerciales, hay un conjunto de elementos que serán fabricados y/o tratados en el laboratorio D11 de la ESI por el equipo: A) La carga útil (experimento científico). B) El escudo magnético de la carga útil. C) El escudo de radiación de la carga útil. D) Anonizado del escudo de radiación. F) Desarrollo e integración de la estación de tierra.</i>
Actividades realizadas y resultados obtenidos:	Se detallan a continuación los resultados según el orden indicado en el apartado de actividades previstas. Cabe destacar que todo el trabajo que aquí se menciona y que se realiza con los estudiantes es una línea de investigación pionera en esta Universidad:  A. Carga útil (experimento científico)  Dos electrónicas del experimento científico de UCAnFly (denominada MELISA-II), han sido fabricadas en su totalidad. Concretamente se ha fabricado lo que se conoce como el modelo de ingeniería (EM), previo al modelo de cualificación (QM) y modelo de vuelo (FM). Los estudiantes se han enfrentado a la problemática relacionada con la carencia de componentes electrónicos debido a la crisis sanitaria del COVID-19 y han sabido gestionar las opciones alternativas con los componentes

<sup>1</sup> La relación incluida en el documento *Anexo* que adjuntó en su solicitud a través de la plataforma de la Oficina Virtual.

que había en el mercado.



*Figura 1.1:* Carga útil del nanosatélite UCA nFly (modelo de ingeniería)

### B. Escudo magnético de la carga útil

Los estudiantes han realizado un blindaje magnético de dos capas cumpliendo los exigentes requerimientos de volumen que existen dentro del satélite. La mayor dificultad en la fabricación de este blindaje radica en los finos espesores de la capa del material ( $\mu$ -metal) que varían de 0.100 mm en el caso de la capa interna a 0.154 mm la externa. Pevio a este desarrollo, los estudiantes han simulado el comportamiento del blindaje magnético con un programa de cálculo de elementos finitos (FEM).

Para mejorar las propiedades magnéticas del blindaje han realizado también un proceso de desmagnetización (deperming) y se pretende hacer un recocido (annealing) a 950 °C en una atmósfera de  $H_2$  puro.



*Figura 1.2:* Escudo magnético que han realizado los estudiantes de UCA nFly y que está compuesto por dos capas concéntricas de  $\mu$ -metal.

### C. Escudo de radiación de la carga útil

Debido a la falta de tiempo y a la complejidad de las máquinas de CNCs disponibles en la ESI, el escudo de radiación se ha realizado finalmente en una empresa externa.

### D. Anodizado del escudo de radiación

Los estudiantes realizaron un tipo de anodizado en negro para aplicaciones espaciales que no se había realizado antes en la UCA siguiendo la normativa (ECSS). Se prepara el montaje y los procedimientos de este tipo de anodizado desde cero, concluyendo con resultados de forma exitosa. De este modo, se siembran las bases donde más tarde se han apoyado futuros trabajos en la ESI, dando lugar a un contrato OTRI para desarrollar el anodizado en otra aplicación espacial y la difusión de resultados en un congreso científico.



*Figura 1.3:* Anodizado en negro del escudo de radiación.

### E. Desarrollo e integración de la Estación de Tierra

Se está realizando en colaboración con el grupo de Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales de la UCA. Es la actividad que más retrasos tiene debido a la gestión de los espacios, ya que se ha tenido que desplazar la estación de tierra del cupulín del CASEM a la azotea. Para agilizar el proceso se pretende implicar a los estudiantes del Grado de Ingeniería Radioelectrónica de la Escuela de Ingenierías Marina, Náutica y Radioelectrónica, debido a la carencia de conocimientos en este tópico de los estudiantes de la ESI.



*Figura 1.4:* Estación de tierra del CASEM en construcción.

Por petición del equipo de la ESA se han actualizado varios documentos relacionados a este subsistema y se ha enviado de nuevo la documentación.

**Trabajos académicos** surgidos de las actividades realizadas:

1. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Aeroespacial titulado *Estudio del anodizado en negro y aplicación en el ámbito espacial* realizado por la estudiante Alejandra Quirós Creo. **Nota: 10 y propuesta a Matrícula de Honor.** Nos gustaría mencionar que a 30/09/2022 se desconoce si el trabajo finalmente se ha llevado la Matrícula de Honor.
2. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Aeroespacial titulado *Noise requirements' verification and magnetic cleanliness of the UCAnFly payload* realizado por el estudiante Pablo Cárdenas Fernández. **Nota: 10 y propuesta a Matrícula de Honor.** Nos gustaría mencionar que a 30/09/2022 se desconoce si el trabajo finalmente se ha llevado Matrícula de Honor.

## Objetivo nº 2

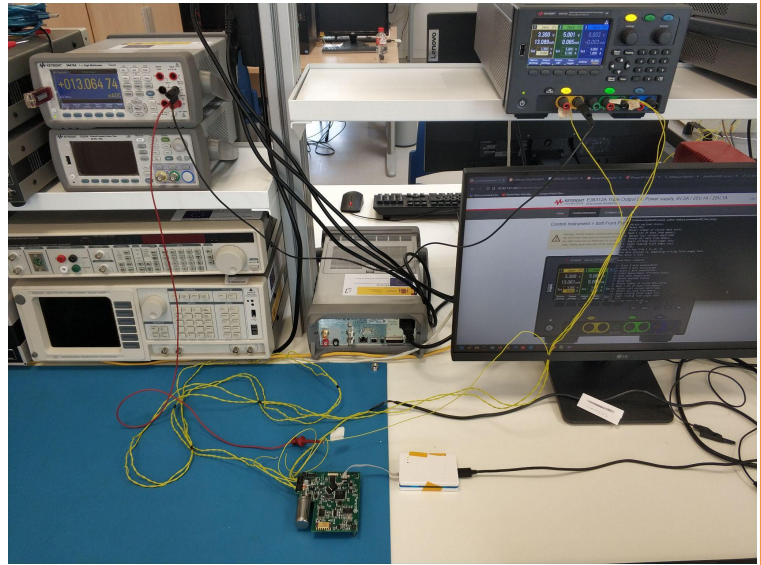
Título:

*Guía y supervisión en el proceso de Desarrollo y validación del software de los subsistemas*

Profesorado Involucrado: Ignacio Mateos, Guillermo Pacheco, Irene del Sol,

	<i>Antonia Morales</i>
Actividades previstas:	<i>Desarrollo del software de la OBC (Ordenador de abordó), carga útil, estación de tierra y operaciones en vuelo. Validación del software y generación de la documentación requerida por la ESA.</i>
Actividades realizadas y resultados obtenidos:	<p>1. OBC</p> <p>Se ha desarrollado un software de simulación de las diferentes interfaces del subsistema. Para ello se han utilizando tarjetas de desarrollo (ATSTK600) a cargo de un proyecto previo de innovación docente y basadas en los microcontroladores AT32UC y el ATMEGA128. También, por su facilidad de programación, se han utilizado para la simulación de algún subsistemas la placa raspberry pi0. Los lenguajes de programación usados por los estudiantes han sido C y microPython.</p> <p>Para la programación del OBC, ya que se desarrolla en entorno Linux, se han generado máquinas virtuales de Ubuntu para que todos los estudiantes puedan instalarlas en sus ordenadores personales y trabajen en las mismas condiciones. Esto unifica la plataforma de desarrollo y reduce el número de errores de compilación que pueden aparecer debido a la distribución de Linux.</p> <p>2. Carga útil (experimento científico)</p> <p>El Software del experimento científico se encuentra en un estado muy maduro. Los profesores han desarrollado la parte principal del código dejando a los estudiante detalles a resolver acordados con la ESA. Entre las mejoras realizadas por los estudiantes, cabe destacar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Mejora del sistema de adquisición de los sensores de temperatura para reducir su densidad espectral.</li> <li>● Protocolo de comunicación de datos mediante interfaz UART.</li> <li>● Sistemas de redundancia para el almacenamiento de datos en la FLASH.</li> <li>● Respuesta de reinicio del Software en caso de bloqueo (Watchdog).</li> <li>● Software para estimación del consumo de potencia de la memoria FLASH (también necesario para OBC).</li> </ul>





*Figura 2.1:* Depuración de Software de la payload en el laboratorio.

### 3. Estación de tierra y operaciones

Para el desarrollo Software de la estación de tierra se usa GNU radio por ser software de código libre y por haber sido utilizado por algunos de los expertos de la ESA en el CubeSat OPS-SAT. Otras herramientas software que están siendo utilizadas son GPredict y Hamlib. La definición Software de la estación de tierra y del subsistema de operaciones se encuentran actualmente en fases iniciales ya que la planificación no es tan exigente como en el resto de subsistemas de vuelo.

Todo lo explicado en esta sección ha sido reportado a la ESA por parte de los estudiantes tanto en reuniones mensuales (Status Update Meetings) como en la siguiente documentación:

- UCAnFly Mission Description & Operations Plan v1.13.
- UCAnFly OBSW Design Definition & Justification File v1.4.
- UCAnFly OBDH Design Definition & Justification File v1.5.
- UCAnFly Payload DDJF v1.5.
- GS Design Definition & Justification File v1.4.

Objetivo nº 3

**Título:** *Guía y supervisión en la preparación de tests a llevar a cabo en la ESI y en las instalaciones de la ESA.*

Profesorado Involucrado: *Ignacio Mateos, Guillermo Pacheco, Antonia Morales e Irene del Sol*

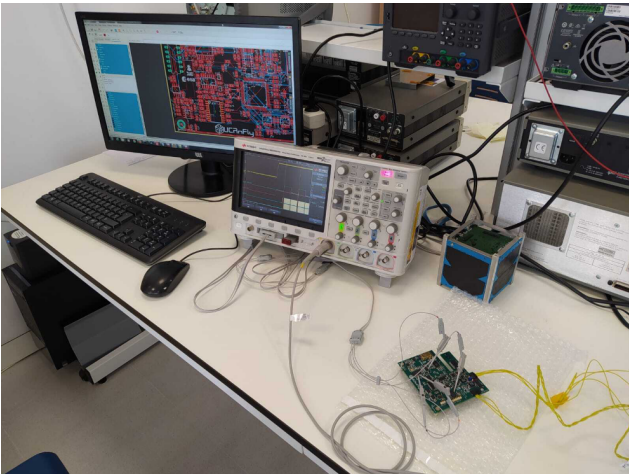
**Actividades previstas:** *Preparación y entrenamiento para llevar a cabo tests ambientales a nivel de subsistema de radiación, ciclado térmico en vacío y medidas de momento magnético en la ESA. Realización de tests funcionales de los diferentes subsistemas del satélite en el laboratorio D11 de la ESI. Generación de la documentación requerida por la ESA.*

**Actividades realizadas y resultados obtenidos:** Se han llevado a cabo tests funcionales y ambientales de la carga útil del nanosatélite UCAnFly en el laboratorio D11 y en la cámara climática de la ESI. Remarcar que todos los ensayos han sido realizados por los estudiantes guiados por los profesores y con el soporte de la ESA.

Las pruebas funcionales y de caracterización de la electrónica de la carga útil se han realizado de forma satisfactoria, cumpliendo la mayor parte de los requerimientos propuestos para la misión. A continuación se indican algunos de los ensayos realizados:

1. Telecomandos y pruebas básicas funcionales

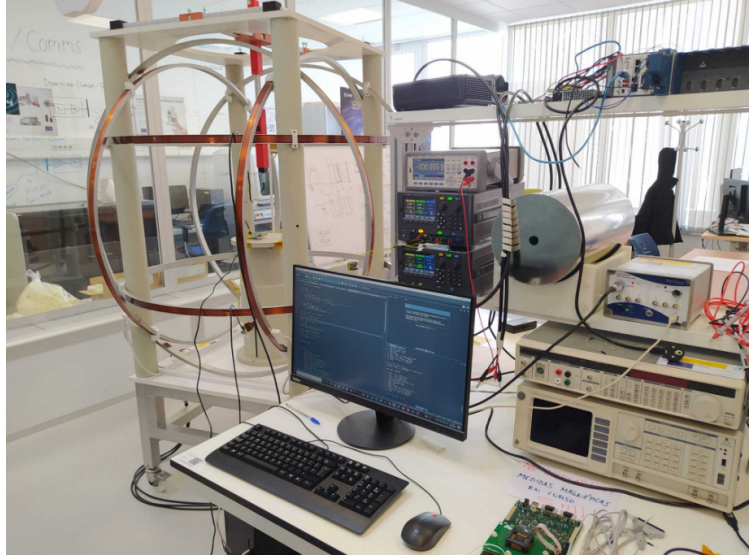
Se prueba que las comunicaciones básicas a nivel de telemetría y telecomandos funcionan de acuerdo con las especificaciones. Medidas básicas en las diferentes líneas de alimentación y en puntos de prueba son también llevadas a cabo. El test cumple con todos los requerimientos previamente definidos.



*Figura 3.1:* Ensayos funcionales básicos de la carga útil.

## 2. Medidas de rango magnético

Los estudiantes desarrollan un software en lenguaje Python para automatizar el proceso de generación de campo magnético con bobinas de Helmholtz triaxiales. El test cumple con todos los requerimientos previamente definidos.

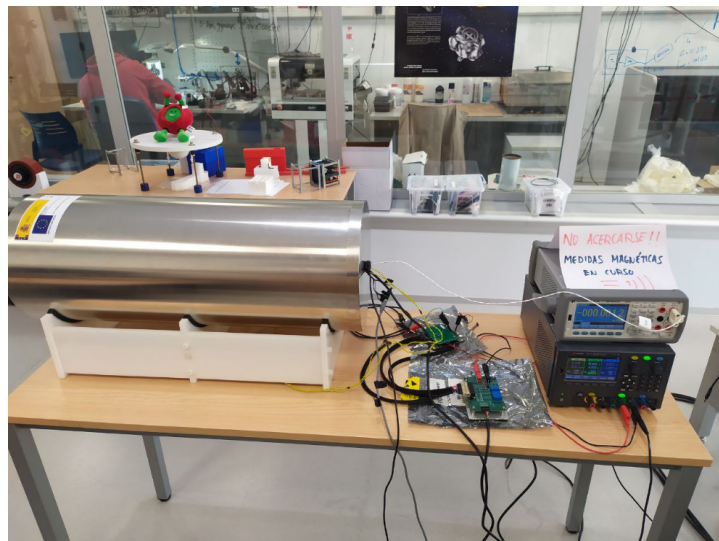


*Figura 3.2:* Medidas de rango magnético de la carga útil.

## 3. Test de densidad espectral magnética a baja frecuencia

Este test es el más importante de la misión en el que se comprueba si la carga útil es capaz de detectar campos magnéticos débiles en el ancho de banda entre 0.1 mHz y 1 Hz. Una banda de frecuencia que ha sido muy poco estudiada y que es crítica en los detectores espaciales de ondas gravitacionales para los que la misión UCA nFly ha sido diseñada. Los resultados en los ejes X e Y cumplen satisfactoriamente los exigentes requerimientos, pero no el Z. Los estudiantes tienen diferentes reuniones con profesores y la ESA para intentar solucionar el incumplimiento del requerimiento en el eje Z. Actualmente se están realizando diferentes ensayos para descubrir la causa del problema.





*Figura 3.3:* Medidas de ruido magnético de la carga útil.

#### 4. Test de densidad espectral de temperatura a baja frecuencia

Este ensayo es idéntico al anterior pero en este caso se prueba la estabilidad del sensor de temperatura que está integrado en la carga útil. Se realiza en un ambiente térmicamente estable.

#### 5. Medidas de rango térmico

Para este test se utilizó la cámara climática de la ESI con el objetivo de caracterizar el rango dinámico del sensor de temperatura integrado en la carga útil del nanosatélite UCAnFly. Se somete a la electrónica a un rango térmico entre  $-20$  y  $50$  °C,

obteniéndose el cumplimiento de los requerimientos previamente definidos.



*Figura 3.4:* Estudiantes del equipo de UCAnFly preparando el ensayo en la cámara climática.

Todo lo explicado en esta sección ha sido reportado a la ESA por parte de los estudiantes tanto en reuniones mensuales (Status Update Meetings) como en la siguiente documentación:

- UCAnFly MELISA-II EM Functional TRPT v1.1
- EPS Influence on MELISA-II Equivalent Magnetic Field Noise TRPT v1.0
- Payload Magnetic Cleanliness ARPT v1.4

**Trabajos académicos** surgidos de las actividades realizadas:

1. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica titulado *Generación de un modelo de elementos finitos y validación estructural de un nanosatélite* realizado por el estudiante Javier Pérez Quintanilla. **Nota: 7.0**
2. Trabajo Fin de Grado en Matemáticas titulado *Diseño de un sistema de control de actitud pasivo y modelos de campo magnético para el nanosatélite UCAnFly* realizado por el estudiante Juan José Moreno Cruzado. **Nota: 9.0**

Objetivo nº 4	
Título:	<p><i>Estudio de la metodología ABP aplicada a Ciencias y Tecnologías del Espacio</i></p> <p><u>Profesorado involucrado:</u> Isabel Egea, Pablo Moreno, Antonia Morales.</p>
Actividades previstas:	<p>1. <i>Evaluación de presentaciones orales para medir las competencias científico-técnicas e idiomáticas adquiridas. Se planea realizar dicha evaluación varias veces a lo largo del curso 2021/22, tanto en reuniones semanales internas como en reuniones de seguimiento con los expertos de la ESA.</i></p> <p>2. <i>Realización y análisis de encuestas de satisfacción con la metodología ABP al terminar los hitos más relevantes de la fase D1 del proyecto.</i></p>
Actividades realizadas y resultados obtenidos:	<p>1. En general, se observa que aquellos estudiantes que se inician en el proyecto tienen una capacidad de comunicación y exposición en un contexto técnico en inglés mucho menor que el estudiantado que lleva más tiempo en el equipo. Los estudiantes veteranos, además, se desenvuelven de manera segura respondiendo a las cuestiones que les plantea el personal de apoyo de la ESA en las reuniones periódicas que mantienen juntos.</p> <p>Nos gustaría destacar que después del viaje a Bélgica de una parte del equipo de estudiantes de UCAnFly para la <i>Phase D Training Week</i> (mayo 2022), hemos notado que ha habido un punto de inflexión a partir del cual la comunicación con los mentores de la ESA ha mejorado notablemente. Creemos que, al fin y tras las largas restricciones de viaje por la pandemia, el hecho de conocer y reunirse en persona con los mentores de ESA ha sido la clave en esta mejora de comunicación (Figura 4.1).</p>



*Figura 4.1:* Parte del equipo de estudiantes de UCAnFly haciendo una exposición oral el 09/05/2022 en el Phase D Training Week organizada por la ESA en ESEC, Bélgica.

2. Se han realizado encuestas al estudiantado para evaluar la satisfacción con el proyecto. En una escala de 0 a 5, el 75% del estudiantado participante en el proyecto considera que es muy importante en su educación (5), y el 25% que es importante (4). Esto supone mayor puntuación respecto a la misma pregunta hecha el curso pasado en la que el 64.7% del estudiantado participante en el proyecto consideraba que era muy importante en su educación (5), el 29.4% que era importante (4) y un 5.9% le daba importancia media (3).

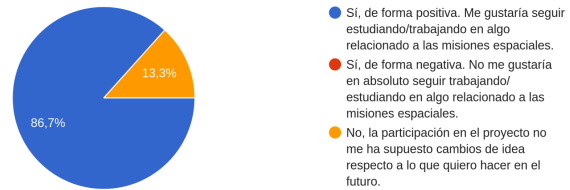
Al preguntar al estudiantado cómo cree que hubiera sido su carrera universitaria si no hubiesen participado en UCAnFly, nos encontramos con respuestas que reflejan la importancia que le dan al proyecto. Por ejemplo: 1) *“Me hubiera perdido muchos conocimientos que he podido adquirir gracias al proyecto, y una experiencia para el futuro”*, 2) *“Probablemente no hubiera sido lo mismo, hubiera dedicado más tiempo a la carrera pero no hubiese adquirido las capacidades que ahora tengo”*, 3) *“Muchísimo más insípida. La carrera en sí sólo me ha servido para poder seguir participando en el proyecto por ser alumno de la Universidad de Cádiz”*, 4) *“Carecería de un entorno práctico en el que se fomenta la investigación y el desarrollo personal”*, ó 5) *“Muy triste. Es la parte divertida de la universidad”*.

Tras preguntar a los 16 encuestados por el grado de motivación actual en el proyecto (septiembre de 2022) en una escala de 0 a 5 con 0 nada motivado y 5 extremadamente motivado, se obtiene

que el 50% del estudiantado considera que está extremadamente motivado (5), el 31.3% motivado (4), mientras que el 18.9% restante tiene desde motivación media a poca motivación (3 ó menos puntos). En nuestra experiencia en la guía y acompañamiento de estudiantado en el proyecto, hemos observado que hay estudiantes que pierden la motivación por lo exigente que es el proyecto. Hay también casos en los que la desmotivación se produce porque se comparan con los estudiantes más veteranos y esto les lleva a sentirse inferiores y perdidos en el proyecto. En cualquier caso y aunque el porcentaje de estudiantado con poca motivación sea bajo, investigaremos las posibles causas e indagaremos cómo/si podemos solucionar el problema.

Al preguntar a 15 encuestados acerca de cómo el proyecto ha influenciado a lo que desearían dedicarse en el futuro, se obtiene que el 87% de los encuestados desearía dedicarse a algún ámbito relacionado a las misiones espaciales (Figura 4.2).

¿Ha influenciado la participación en este proyecto a lo que desearías dedicarte en el futuro?  
15 respuestas



*Figura 4.2* Resumen de los resultados tras preguntar a 15 encuestados sobre la influencia que el proyecto ha tenido sobre su futuro profesional.

Una cuestión que nos parece interesante al analizar en mayor profundidad las respuestas reflejadas en la Figura 4.2 es que 4 de los estudiantes que han respondido que les gustaría dedicarse a algo relacionado a las misiones espaciales, son 2 del grado en Ingeniería Informática y otros 2 del doble grado en Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. La experiencia nos indica que generalmente el estudiantado que se matricula en estas carreras no lo hace para dedicarse al ámbito espacial. Esto nos hace pensar en la importancia y enriquecimiento que puede llegar a tener la introducción de nuevas líneas de investigación y experiencias como este proyecto para el alumnado de la Universidad de Cádiz.

Por otro lado, cabe destacar que de los 16 encuestados **el 100% recomendaría a la UCA participar en proyectos similares**, lo que refleja el gran grado de satisfacción del estudiantado con el proyecto.



Entre los 16 encuestados mencionados anteriormente, no se encontraban los alumnos egresados de UCAnFly, es decir, aquellos estudiantes que han concluido sus estudios en la UCA y por tanto ya no forman parte del proyecto. Este curso se ha comenzado a pedir a aquellos alumnos que terminan su vinculación con el proyecto que reflejen sus sensaciones en un libro de visitas, donde encontramos por ejemplo la opinión de una estudiante que concluyó sus estudios en la UCA en julio de 2022: *“Este proyecto aporta muchos conocimientos pero sobre todo valores. Muchas gracias a todos por haber ayudado en este crecimiento personal que tenemos cada uno de nosotros aquí. Ojalá pronto vea a nuestro CubeSat volando.”* Esta opinión no es aislada, sino que en general lo que nos transmiten los estudiantes que dejan de participar en el proyecto, es que ha habido mucha sintonía en el equipo y que se alegran de haber formado parte de UCAnFly.

2. Marque una X bajo las casillas que correspondan en la siguiente tabla. Describa las medidas a las que se comprometió en la solicitud y las que ha llevado a cabo.

Compromiso de compartición / difusión de resultados en el entorno universitario UCA adquirido en la solicitud del proyecto				
1. Sin compromisos	2. Compromiso de impartición de una charla o taller para profesores	3. Adicionalmente fecha y centro donde se impartirá	4. Adicionalmente programa de la presentación	5. Adicionalmente compromiso de retransmisión o grabación para acceso en abierto
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripción de las medidas comprometidas				
<p>En la primera quincena de septiembre de 2022 se programará en la ESI un seminario, destinado al profesorado de la Escuela Superior de Ingeniería y del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos. Programa (tentativo) de la presentación: 1. Metodología ABP 2. Programa Fly Your Satellite de la Agencia Espacial Europea en su fase D1 3. UCAnFly como ABP para incentivar las Ciencias y Tecnologías del Espacio desde una perspectiva experimental 4. Resultados y Conclusiones del proyecto.</p> <p>Adicionalmente, se enviará una comunicación con los resultados del proyecto a la sesión paralela “Enseñanza y Divulgación” de la próxima reunión científica de la Sociedad Española de Astronomía.</p>				
Descripción de las medidas que se han llevado a cabo				
<p>Al no haberse programado las Jornadas de Innovación Docente durante septiembre de 2022, no se ha impartido el seminario inicial que preveíamos en la solicitud. Sin embargo, en la XV Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía llevada a cabo del 5 al 9 de</p>				

septiembre de 2022 (con más de 400 participantes dedicados a la investigación en Astronomía y Astrofísica o Instrumentación Astronómica) se presentaron una charla en una sesión paralela y un póster (<https://zenodo.org/record/7050680#.YzXJgEpByIA>) en los que se exponían resultados relacionados a la carga útil de UCAnFly.

Aparte de las medidas a las que nos comprometimos en la solicitud, nos gustaría remarcar otras actividades que hemos llevado a cabo durante el curso para difundir el proyecto: 1) Durante el curso 2021/22 el equipo a publicado 11 posts en su espacio de la red social Instagram ([https://www.instagram.com/ucanfly\\_cadiz/?hl=es](https://www.instagram.com/ucanfly_cadiz/?hl=es)) y 24 tweets en la red social Twitter ([https://twitter.com/UCAnFly\\_ES?t=vZhfqwicNooCYci6VZDhqw&s=08](https://twitter.com/UCAnFly_ES?t=vZhfqwicNooCYci6VZDhqw&s=08)). 2) El laboratorio D11 de UCAnFly forma parte de la ruta de laboratorios de la Escuela Superior de Ingeniería que se muestran a alumnado y profesorado de institutos de la provincia de Cádiz para así divulgar y promover las actividades docentes y de investigación llevadas a cabo en la ESI. 3) Se participó en una jornada dedicada a las ciencias en la ESI en la que se mostró el laboratorio a estudiantes de secundaria y bachillerato (Figura D.1). 4) El equipo de estudiantes de UCAnFly ha realizado una serie de vídeos de *unboxing* de varios de los subsistemas adquiridos para el montaje del nanosatélite UCAnFly (que en la actualidad están siendo editados) para ser compartidos en youtube y en las redes sociales de la oficina de educación de la Agencia Espacial Europea. Ver ejemplo en el siguiente link:

<https://drive.google.com/file/d/1Nurfqy66ELP9WumAo1xNUO98EmtjgLhB/view?usp=sharing>



Figura D.1: Un estudiante del equipo de UCAnFly explicando el proyecto y mostrando el laboratorio a estudiantes de secundaria y bachillerato durante una jornada organizada en la ESI.

