

# APRENTATGE BASAT EN REPTES: LA INOBLIDABLE EXPERIÈNCIA DEL BARCELONA ZEROG CHALLENGE

**Liliana M. Bustamante,<sup>1</sup> María del Pilar Monsalve,<sup>1</sup> Oriana Mejía,<sup>1</sup> Luisa F. Mendoza,<sup>1</sup> Paulina Quintero,<sup>1</sup> Daniel V. González<sup>2</sup> i Antoni Perez-Poch<sup>3,4</sup>**

1. Departament d'Enginyeria Mecànica, Universitat d'Antioquia (Medellín, Colòmbia).

2. Aeroclub Barcelona-Sabadell.

3. Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC).

4. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE), Campus Diagonal-Besòs. antoni.perez-poch@upc.edu

**Resum:** El Barcelona ZeroG Challenge és un concurs internacional destinat a motivar l'estudiantat universitari a fer investigacions en gravetat zero utilitzant un avió acrobàtic per dur a terme experiments en vol parabòlic. Més de cinquanta estudiants ja han fet volar els seus experiments en campanyes educatives anteriors. Un grup d'estudiants enginyeres colombianes de la Universitat d'Antioquia (Medellín) va ser l'equip guanyador de l'edició 2021-2022. Aquest equip, anomenat Vera Gravitats, va ser convidat a desenvolupar el seu experiment en vol parabòlic a Barcelona la tardor de 2022. L'aprenentatge basat en reptes (ABR) pot servir com a marc per a iniciatives educatives i de divulgació que inspirin l'estudiantat més enllà de la perspectiva del pla d'estudis tradicional que s'ensenya a col·legis i universitats. En aquesta comunicació es presenta l'experiència de participació de les estudiants de la Universitat d'Antioquia com a cas d'èxit d'aprenentatge basat en reptes. L'aprenentatge autodirigit, l'aplicació de conceptes per abordar problemes reals i la millora de les habilitats de comunicació oral i escrita són algunes de les lliçons adquirides per les participants.

**Paraules clau:** microgravetat, vol parabòlic, educació espacial, solidificació d'estany, aprenentatge basat en reptes, educació superior.

## CHALLENGE-BASED LEARNING: THE UNFORGETTABLE BARCELONA ZEROG CHALLENGE EXPERIENCE

**Abstract:** The Barcelona ZeroG Challenge is a unique international contest aimed at motivating university students to conduct research in zero gravity using an aerobatic aircraft to conduct experiments in parabolic flight. More than fifty students have already flown their experiments in previous educational campaigns. Vera Gravitats, an all-female group of Colombian student engineers from the University of Antioquia (Medellín) were the winning team of the 2021-2022 challenge and were invited to present their experiment in parabolic flight in Barcelona in the fall of 2022. Challenge-based learning (CBL) can serve as a framework for educational and outreach initiatives that inspire students in ways that go beyond the traditional syllabus taught at colleges and universities. Here we introduce the participation experience of students from the University of Antioquia as a successful challenge-based learning case. Self-learning, the application of concepts to address complex issues, and the enhancement of oral and written communication skills are just a few of the benefits of this project.

**Keywords:** microgravity, parabolic flight, space education, tin solidification, challenge-based learning, higher education.

### 1. Introducció

L'aprenentatge basat en reptes (ABR) és una metodologia d'educació STEAM (de l'anglès *science, technology, engineering, art and mathematics*) que s'ha introduït recentment com a enfocament col·laboratiu i pràctic per animar l'estudiantat a posar en pràctica els seus coneixements tot abordant problemes de la vida real. El 2008, el concepte *aprenentatge basat en reptes* (ABR) va ser difós per primer cop com una metodologia per satisfer les demandes del segle XXI (Nichols i Cator, 2008). Les institucions d'educació superior (IES) han vist en els darrers anys com el seu paper s'havia d'adaptar als canvis que sorgeixen a la nostra societat i, en particular, a les universitats STEAM (Walters i Watters, 2017).

Les nostres universitats s'estan convertint en facilitadores de la formació dels estudiants, incloent en els seus plans d'estudi competències (com el treball en equip, la creativitat o la capacitat d'innovació) que són necessàries en la pràctica professional de l'enginyeria. L'educació espacial és un camp especialment adequat per aplicar l'ABR, amb projectes de recerca pràctics que requereixen que l'estudiantat treballi amb companys d'equip, mentors i experts. Se n'espera que actuïn i comuniquin els seus esforços en un escenari multicultural i internacional per donar una resposta òptima a un objectiu concret.

Els vols parabòlics es fan des de fa molt de temps com a forma de dur a terme experiments de curta durada i demostracions tècniques (Pletser *et al.*, 2012 i 2015).

Aquests vols proporcionen fins a 25 segons de microgravetat. S'utilitzen per fer investigacions de curta durada tant en ciències físiques i químiques com en ciències de la vida, tant per part d'investigadors sèniors com per a experimentació i motivació d'estudiants internacionals i per a campanyes de divulgació científica. L'Agència Espacial Europea (ESA), entre d'altres agències espacials, ha utilitzat des de 1984 diferents tipus d'aeronaus per dur a terme les seves campanyes de vol parabòlic (Pletser, 2004), com l'Airbus A-300/A-310 Zero G. Amb aquestes aeronaus s'han dut a terme amb èxit un nombre important d'experiments de ciències físiques i biològiques, tant amb estudiants com amb investigadors principalment europeus.

Els projectes educatius que han estat desenvolupats a la innovadora plataforma de vol parabòlic de Barcelona (Aeroport de Sabadell) difereixen dels de l'ESA en el fet que els vols parabòlics es realitzen amb avions acrobàtics monomotor com el Mudry CAP-10B (figura 1), que aconseguen fins a 8,5 segons de microgravetat a la cabina. Aquest tipus d'aeronau està homologat per fer aquesta maniobra i s'utilitza també per a experiments de recerca espacial, proves de tecnologia i campanyes educatives i de divulgació. La microgravetat que s'experimenta dins de la cabina de pilotatge és totalment homologable a la dels avions més grans de reacció i té un perfil de vol significativament diferent i únic al món (Perez-Poch, 2016).



FIGURA 1. Mudry CAP-10B, avió acrobàtic utilitzat per a campanyes educatives de vol parabòlic.  
FONT: Aeroclub Barcelona-Sabadell.

Aquest treball presenta un cas pràctic d'èxit d'aplicació de la metodologia d'ABR que va consistir a dissenyar, posar en pràctica i fer volar un experiment de microgravetat en vol parabòlic. Es descriu l'experiència de participació del grup d'estudiants guanyador del repte Barcelona ZeroG Challenge,<sup>1</sup> edició 2021-2022, i es detalla l'impacte que té la metodologia ABR en la formació acadèmica i personal de les estudiants. En particular, l'equip està format íntegrament per dones estudiants d'enginyeria i la seva mentora, i es vol fer èmfasi en la promoció de la igualtat de gènere en el camp de la tecnologia i de l'espai.

### 1.1. Barcelona ZeroG Challenge

El Barcelona ZeroG Challenge és un concurs internacional adreçat a estudiants universitaris de tot el món. Es repta estudiants perquè formin un equip interdisciplinari amb un mentor i proposin, dissenyin, construeixin i facin volar el seu experiment en microgravetat. Finalment, els participants guanyadors del repte han d'analitzar els resultats de l'experiment i comunicar les seves troballes. L'experiment ha de complir els requisits d'una plataforma particular de recerca en microgravetat disponible a Barcelona amb finalitats educatives i de recerca.

Més de cinquanta estudiants han fet volar ja els seus experiments a bord d'un avió acrobàtic Mudry CAP-10B a Barcelona en campanyes educatives anteriors i han publicat els seus resultats en simposis i revistes científiques rellevants (Perez-Poch, González i López, 2016). Aquestes campanyes estan inspirades en les populars campanyes de vols parabòlics d'estudiants de l'ESA, les quals han cridat molts cops l'atenció dels mitjans de comunicació i han promogut la importància dels estudis STEAM. Des del 2010, el Barcelona ZeroG Challenge ha celebrat quatre edicions en què han participat un nombre significatiu d'estudiants de la Universitat Espacial Internacional (ISU),<sup>2</sup> una universitat única al món dedicada a l'educació espacial amb seu a Estrasburg (França) (Allaway *et al.*, 2011; Azemà, 2014; Clément *et al.*, 2015; Osborne *et al.*, 2014; Schuster *et al.*, 2015). S'han dut a terme, a més, tres tallers al Summer Space Program del programa de postgrau de l'ISU. L'edició de 2022 del concurs ha estat organitzada per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), l'Aeroclub Barcelona-Sabadell i l'associació d'estudiants Space Generation Advisory Council to the United Nations (SGAC). Per a aquesta edició, es va fer una crida a la presentació de candidatures d'equips formats per estudiants diversos i de diferents disciplines. La selecció final de l'equip guanyador va ser a càrrec d'un panel independent d'experts de l'Acadèmia de l'ESA. A l'edició de 2022, l'equip guanyador va rebre un ajut econòmic per desenvolupar el seu experiment i va tenir l'oportunitat de fer-lo volar en vol parabòlic. També és important esmentar que en aquesta edició es va rebre un elevat nombre de propostes, sense precedents en comparació amb edicions anteriors: s'obtingueren un total de 16 propostes (el 60% de les quals eren experiments de ciències de la vida i el 40% de ciències físiques), provinents de 23 països diferents (el 63,3% dels participants procedien d'Europa, el 14,3% d'Amèrica i el 13,4% d'Àsia).

A continuació resumim els objectius educatius d'aquesta iniciativa:

- Permetre a l'estudiantat fer experiments pràctics en una experiència real d'ingravedesa.
- Augmentar l'interès de l'estudiantat pels estudis de ciències, tecnologia, enginyeria, arts i matemàtiques (STEAM), en particular en l'àmbit aeroespacial.

1. <http://window2theuniverse.org>.

2. International Space University: <http://www.isunet.edu>.

— Brindar a estudiants de diferents orígens i nacionalitats l'oportunitat de treballar en equip amb un objectiu comú i interactuar alhora amb professionals del sector espacial.

— Augmentar l'interès públic per la investigació espacial.

— Crear l'oportunitat que els estudiants escriguin i presentin les investigacions espacials en revistes i congressos rellevants, i també que segueixin presentant la seva candidatura als programes educatius de les agències espacials que amplien el seu currículum.

### 1.2. Vera Gravitats: l'equip d'enginyeres guanyador de l'edició 2021-2022

L'equip guanyador del Barcelona ZeroG Challenge de l'edició 2021-2022 estava format per quatre estudiants dones de la Universitat d'Antioquia, coautores del present article, juntament amb la seva mentora (figura 2). L'equip es deia Vera Gravitats,<sup>3</sup> que en llatí significa 'veritable gravetat', i que fa referència a la doctora Vera Rubin, reconeguda astrònoma que va fer importants contribucions a la ciència (Perez-Poch *et al.*, 2022). Les integrants del grup formen part de l'Associació Colombiana de Dones a la Indústria Aeroespacial, que busca despertar l'interès de les dones en aquesta ciència. El seu objectiu com a equip continua essent promoure i fomentar les vocacions a les àrees STEAM en les estudiants a la seva ciutat original.



FIGURA 2. Equip d'estudiants Vera Gravitats amb la seva mentora i primera autora d'aquesta comunicació (esquerra).  
FONT: Fotografia dels autors.

### 1.3. Descripció de l'experiment

És ben sabut que els líquids es comporten de manera diferent en absència de gravetat i, en cas de sorgir algun dany en un component electrònic pel fet que es presenti algun deteriorament a les peces soldades, resulta difícil fer-ne la reparació *in situ*, com és el cas dels problemes que hagin de ser resoltos a les estacions espacials. Amb la intenció de proposar idees per superar aquests inconvenients durant les operacions espacials, les estudiants van proposar un experiment, titulat *Deposició de gotes d'estany sobre components elec-*

*trònics en absència de gravetat*, per fer-lo volar en el vol parabòlic, l'objectiu del qual era observar i analitzar la incidència de l'absència de gravetat en la formació i la conductivitat de les gotes d'estany per poder soldar components electrònics a l'espai. Per dur a terme aquest objectiu, l'equip va construir un prototip que consistia en una banda transportadora, el marc i l'extrusor d'una impressora 3D, tres motors pas a pas, una bateria, un rodet amb fil metàl·lic d'estany, una càmera digital, una targeta integrada de control i una placa de circuit imprès (PCB, de l'anglès *printed circuit board*) (figura 3a). El sistema va funcionar com segueix: sobre la banda transportadora s'enganxava la PCB i llavors un motor pas a pas movia la banda transportadora fins a ubicar la PCB just a sota del filtre de l'extrusor. Posteriorment, un motor pas a pas de tipus Nema 14 accionava l'engranatge de l'extrusor i enfilava el fil d'estany cap al bloc de calor. Aleshores, l'estany es fonia a l'interior del bloc a causa de la transferència de calor obtinguda per conducció i es dirigia cap al filtre (figura 3b). Finalment, l'estany fos queia sobre la PCB i se solidificava. El cicle es va repetir tantes vegades com paràboles realitzà l'avió durant el vol experimental d'aquesta experiència.

## 2. Resultats i discussió

Els resultats de l'experiment fet volar amb èxit en vol parabòlic estan en fase d'anàlisi i estudi i es preveu que siguin publicats en una revista científica de l'àmbit aeronàutic. A continuació es descriuen les conclusions des del punt de vista educatiu.

L'ABR ofereix una sèrie d'avantatges significatius tant per a estudiants com per a professors, entre els quals destaquen els següents: brinda als estudiants la possibilitat de fer front a desafiaments del món real, els convida a generar idees creatives i innovadores, promou l'aprenentatge autònom i actiu, desenvolupa el pensament crític i analític per trobar solucions efectives, fomenta la motivació per la investigació i el compromís pel procés d'aprenentatge, entre d'altres. Tot seguit es descriu l'experiència de les estudiants al Barcelona ZeroG Challenge i l'impacte que ha tingut en les seves carreres acadèmiques, personals i en el seu entorn.

### 2.1. L'experiència del vol

Un cop l'equip va arribar a Barcelona es va procedir a muntar un altre cop el prototip i verificar que tots els components funcionaven correctament. Així mateix, es van dur a terme proves de deposició de les gotes d'estany (figura 4a). Per fer-ho, es van fer algunes proves de funcionament a les instal·lacions de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, al laboratori CSmicrogLab<sup>4</sup> (figura 4b) de la UPC. El vol es rea-

3. Vídeo de presentació de Vera Gravitats: <https://www.youtube.com/watch?v=yoP0903gs58>.

4. Laboratori de Microgravetat i Ciències de la Computació de la UPC: <http://CSmicrogLab.upc.edu>.

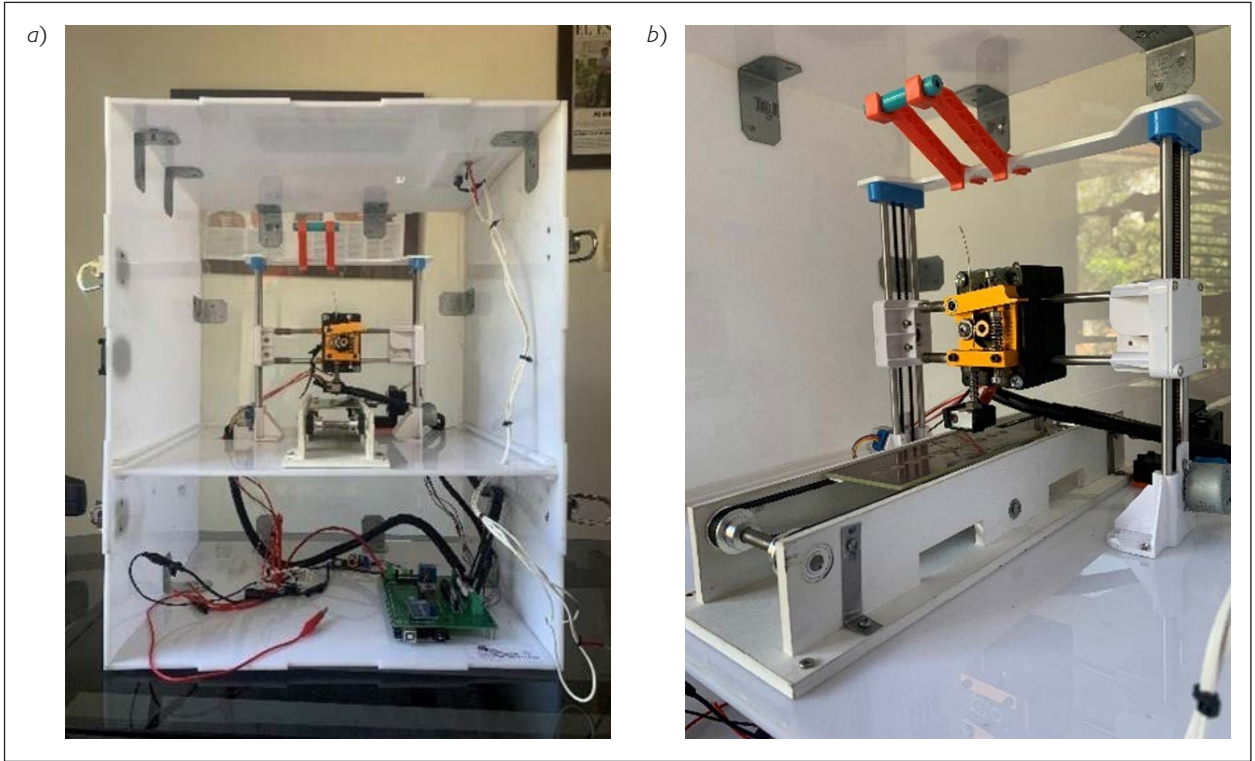


FIGURA 3. a) Prototip complet; b) sistema de transmissió i potència, extrusor i estructura de suport.  
FONT: Fotografies dels autors.

litzà a l'Aeroport de Sabadell d'acord amb les regles de vol visual (VFR, de l'anglès *visual flight rules*). Com a operacions prèvies al vol, es va tornar a revisar el prototip, es va verificar el funcionament del sistema de control i es fixà la càmera digital per a la captura de vídeo de les deposicions de les gotes (figura 4c). L'experiment tenia dos grans reptes: el primer, garantir un funcionament autònom durant la realització dels vols parabòlics, i el segon, acomodar l'experiment a l'espai annex en la cabina de pilotatge per tal d'assegurar-lo, de manera que la caixa estigués paral·lela al seient del copilot. Això garantia que l'acceleròmetre adjunt detectaria el canvi d'acceleració a l'inici de la paràbola i s'activaria el funcionament del motor Nema 17 per començar de manera sincronitzada l'experiment amb el període de microgravetat. El funcionament autònom de l'equip va ser verificat amb les proves a terra, però la mida de la caixa que emmagatzemava el prototip (figura 4d) va generar inconvenients al moment d'encaixar-lo a l'espai útil, ja que les dimensions que tenia estaven al límit d'ocupació de l'espai disponible per a la càrrega. Un cop acomodat l'experiment i assegurat (figura 4e), el pilot va començar la preparació del vol i realitzà les paràboles amb l'experiment a bord funcionant automàticament. En acabar el vol, es van examinar els enregistraments i les gotes dipositades durant les paràboles. En revisar el vídeo (figura 4f), les estudiants van poder concloure que l'experiment va ser reeixit, ja que es van obtenir gotes d'estany sobre la PCB. Posteriorment al vol, es van contrastar amb el vídeo i el perfil de l'acceleròmetre extern els instants dels pics d'hipergravetat previs i posteriors a les fases de microgravetat.

Finalment es va procedir a emmagatzemar les gotes per a la seva anàlisi posterior mitjançant un microscopi electrònic de rastreig (MER-SEM) a la Universitat d'Antioquia, per tal de determinar si hi va haver canvis a la microestructura del material a causa de l'absència de gravetat. D'aquesta anàlisi s'extrauran noves conclusions sobre la qualitat de la soldadura obtinguda en condicions de microgravetat.

### 3. Experiència acadèmica i personal

En l'àmbit acadèmic i personal, la participació al repte Barcelona ZeroG Challenge, edició 2021-2022, ha portat experiències enriquidores i significatives per a les integrants de l'equip, ja que aquest tipus d'activitats les ha posat a la frontera del coneixement quant a la recerca d'explicacions sobre com la força de gravetat afecta la solidificació dels líquids i com es poden dur a terme soldadures de components electrònics a l'espai, la qual cosa ha requerit un coneixement més profund sobre el comportament dels fluids i la seva solidificació. També els ha permès aplicar els coneixements teòrics adquirits en un projecte real, ha fomentat l'aprenentatge autodirigit i han adquirit habilitats com ara la resolució de problemes, la presa de decisions, la planificació i el treball en equip.

A més, aquesta metodologia d'ABR els ha millorat la comunicació oral i escrita i els ha proporcionat experiència de recerca primerenca en un entorn únic d'experimentació física.

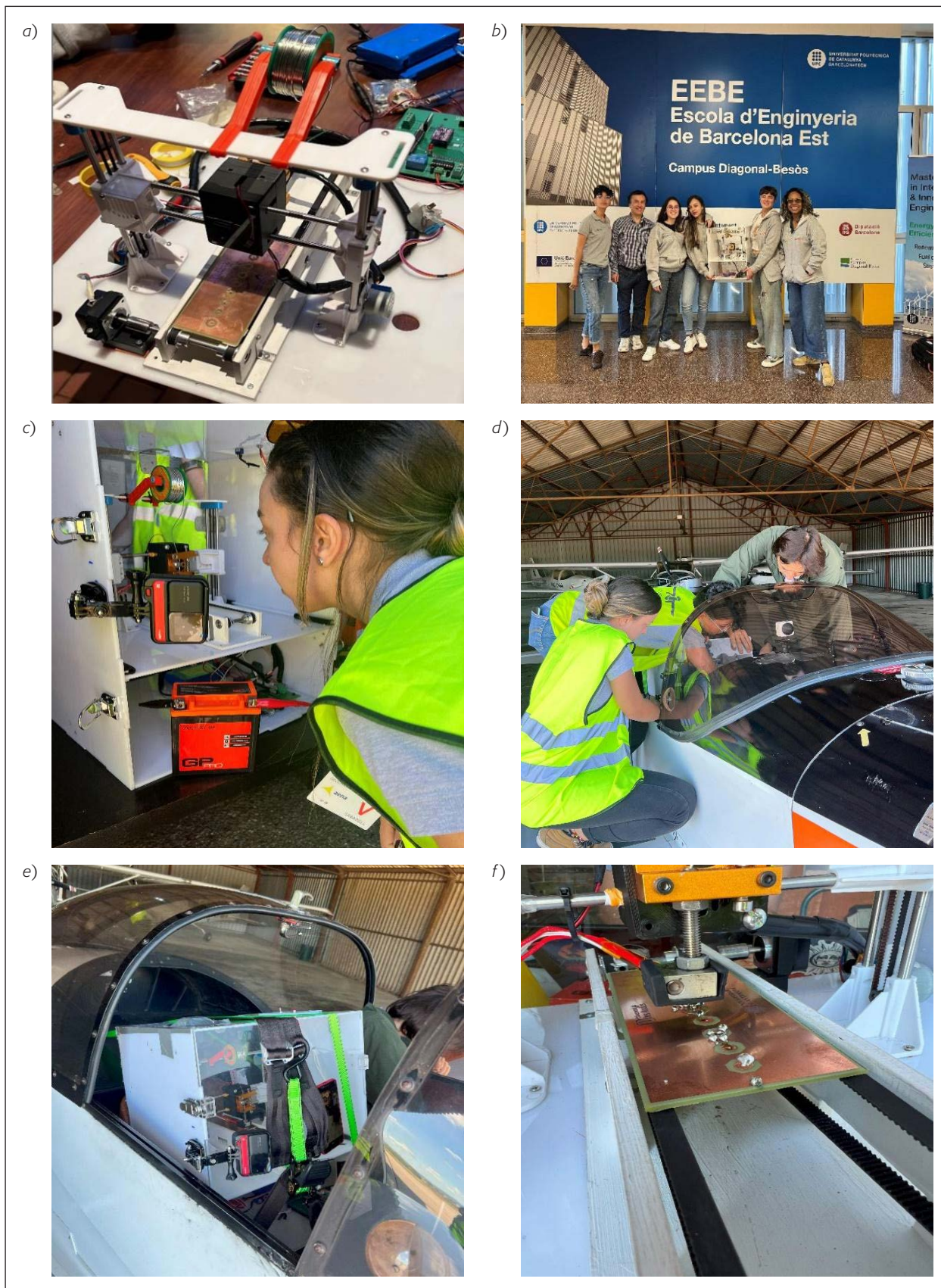


FIGURA 4. Experiència del vol parabòlic: a) muntatge del prototip; b) realització de proves al laboratori CSMicrogLab de la UPC; c) dia del vol: darreres comprovacions, instal·lació de la càmera digital i de la bateria; d) fixació del prototip a l'espai disponible per a la càrrega a la cabina de l'aeronau; e) prototip ja preparat per a l'enlairament; f) gotes d'estany dipositades al llarg del vol parabòlic durant els períodes de microgravetat.  
 FONT: Fotografies dels autors.

Sobre l'experiència de participació al Barcelona ZeroG Challenge, María del Pilar Monsalve, integrant de Vera Gravititas, declara: «Participar-hi va ser una experiència meravellosa, però, ahora, un repte, ja que, si bé vaig poder aprendre moltíssim i vaig aplicar-ho al que m'apassiona (les ciències espacials), també em va exigir treballar sota estrès i enfrontar-me a tècniques i coneixements totalment nous per a mi. Un dels principals reptes que vaig tenir va ser intentar coordinar el projecte amb la meua vida universitària i personal, ja que el desenvolupament de l'experiment ocupava la major part del meu temps; no obstant això, a Vera Gravititas totes estem llestes per ajudar-nos en qualsevol moment crític. Quant a la meua formació acadèmica i professional, puc dir que el Barcelona ZeroG Challenge ha estat fonamental perquè m'ha permès desafiar-me i descobrir una part de mi perseverant i responsable; a més, em va donar l'oportunitat de conèixer altres llocs del món, altres disciplines i altres maneres de pensar». L'equip guanyador del concurs, juntament amb els organitzadors, van ser rebuts pel Vicerectorat de Responsabilitat Social i Igualtat de la UPC. De resultes d'aquesta trobada, s'han reforçat els vincles d'intercanvi entre la UPC i la Universitat d'Antioquia, i s'han potenciat projectes conjunts entre les respectives oficines d'igualtat.

Un altre aspecte important que cal destacar de la participació en el concurs de les estudiants és que, gràcies a les lliçons apreses al Barcelona ZeroG Challenge i el desig de continuar investigant sobre la possibilitat de fer soldadura en ambients de microgravetat, els va ser possible realitzar la seva postulació a la vuitena ronda del programa DropTES,<sup>5</sup> de l'Oficina de les Nacions Unides per a Assumptes Espacials (UNOOSA), en el qual van resultar guanyadores. El mateix equip, doncs, ha viatjat el mes de novembre de 2023 a la ciutat de Bremen, Alemanya, per provar una versió millorada del prototip a la torre de caiguda del Centre de Tecnologia Espacial Aplicada i Microgravetat (ZARM). Aquesta experiència ha resultat reeixida i els ha permès millorar el prototip i obtenir noves mesures amb el mateix experiment en un entorn de microgravetat diferent del de la cabina de l'avió acrobàtic. Aquesta experiència millorarà, sense dubte, la solidesa de les seves conclusions.

#### 4. Experiències de divulgació

Un altre dels propòsits de Vera Gravititas ha estat la promoció i el foment de les vocacions STEAM per tal de contribuir a la superació de bretxes de gènere a la seva ciutat, a Medellín. Amb aquest objectiu, i paral·lel al projecte de recerca, les integrants de Vera Gravititas fan conferències, xerrades i tallers per explicar la microgravetat, la importància d'investigar-la, i per visibilitzar les dones a la ciència. A més, han intervingut en entrevistes en què han compartit

l'experiència sobre la seva participació en el Barcelona ZeroG Challenge, edició 2021-2022, i la vuitena ronda del DropTES. També estan presents a les xarxes socials a través del seu compte d'Instagram, en què publiquen notícies i avenços del projecte, el qual va ser portada del diari *El Espectador* de Colòmbia, un dels de més difusió al país.

Entre les conferències impartides, podem destacar el cicle titulat «Treballant amb la microgravetat», en el qual es van convidar dones que han participat en experiències STEAM, i també el cicle «Dones a l'espai», dins de la programació de la Fira Internacional del Llibre de Bogotà 2022. Les xerrades es van fer en el marc d'Expoenginyeria 2022, amb visites a col·legis i uns tallers que es van dur a terme conjuntament amb el sistema de biblioteques de Medellín i a la Festa del Llibre i la Cultura de Medellín 2023.

#### 5. Conclusions

La participació de l'equip Vera Gravititas en el Barcelona ZeroG Challenge, edició 2021-2022, ha demostrat que promoure l'ABR és una experiència important i enriquidora, ja que ha brindat a les estudiants oportunitats úniques d'aprenentatge, de desenvolupament personal i de creixement professional. Aquest tipus d'activitats ha fomentat la innovació i la creativitat per abordar problemes des de noves perspectives, les ha impulsat a superar desafiaments i els ha avivat la passió per la ciència i la investigació. Addicionalment, el reconeixement per la participació va contribuir a augmentar la seva confiança i l'autoestima, cosa que ha estat beneficiosa en tots els aspectes de la seva vida i ha impactat positivament en el compromís amb el seu procés d'aprenentatge. A més, ha contribuït a la difusió de coneixements i a l'avenç de la investigació, especialment de les ciències espacials, a la seva ciutat. Els resultats més tècnics i científics de l'experiment s'espera que siguin publicats durant el present curs acadèmic 2023-2024 en una revista científica indexada de l'àrea aeroespacial. Així mateix, el treball es presentarà en algun dels congressos rellevants de l'àrea.

D'altra banda, el premi Barcelona ZeroG Challenge és interessant i motivador, que és el que el fa atractiu a estudiants d'arreu del món que se senten inclinats pels estudis de STEAM i per la solució de problemàtiques en l'àmbit aeroespacial, brindant una visió concreta del que implica una carrera en STEAM i ajudant a prendre decisions informades. També permet que l'estudiantat s'empoderi per superar obstacles i cregui en la seva capacitat per fer front a desafiaments, cosa que augmenta l'autoestima i la confiança en la seva capacitat per destacar en aquestes àrees.

La implementació de la metodologia d'ABR en cursos de pregrau té un impacte significatiu en l'experiència educativa i el desenvolupament de l'estudiantat, ja que adquireix més compromís i motivació amb els continguts del curs i amb el procés educatiu, a causa de l'aplicació de coneixements a situacions reals i solució de problemes complexos. Mitjançant el treball col·laboratiu i interdisciplinari

5. [https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/access2space4all/DropTES/DropTES\\_Index.html](https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/access2space4all/DropTES/DropTES_Index.html).

i la necessitat de divulgar els resultats de manera clara i concisa, s'enforteix el treball en equip i la comunicació efectiva. En un futur proper està previst una nova edició del concurs mitjançant un ajut de l'Institut de Ciències de l'Educació de la UPC, fet que s'anunciarà oportunament a la seva pàgina web i se'n farà la difusió adequada.

## Agraïments

Les autores agraeixen a l'Ajuntament de Barcelona, a l'empresa HATCH SAS i a la Fundació Universitat d'Antioquia el finançament del projecte i el viatge a Barcelona. Igualment, donen les gràcies a la Facultat d'Enginyeria de la Universitat d'Antioquia; al grup de recerca Disseny Mecànic (GDM); a Walter Villaneda, tècnic de laboratori de resistència de materials, i als professors Andrés Pérez i Felipe Obando pel suport i les orientacions per a la realització del prototip. També agraeixen al planter Voyager del Programa d'Enginyeria Aeroespacial i a l'Associació Colombiana de Dones a l'Espai (ACMA) el suport amb la difusió, i, a l'últim, a la UPC i a l'Aeroclub Barcelona-Sabadell l'ajuda rebuda durant la realització del vol.

Antoni Perez-Poch agraeix un ajut de l'Institut de Ciències de l'Educació de la UPC a la convocatòria Projectes d'Innovació Docent - Galàxia Aprenentatge 2023.

## Bibliografia

- ALLAWAY, H.; MELYNHYN, A.; KINDRAT, J.; PEREZ-POCH, A.; GONZÁLEZ, D. V.; THIRSK, R.; CLÉMENT, G. (2011). «Perception of ambiguous images on weightlessness». A: *Proceedings of the ELGRA Biennial Symposium and General Assembly*, p. 40-41.
- AZEMÀ, M. (2014). *Study of the fused deposition modeling behavior under microgravity conditions*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- CLÉMENT, G.; ALLAWAY, H. C. M.; DEMEL, M.; GOLEMIS, A.; KINDRAT, A. N.; MELINHYN, A. N.; MERALI, T.; THIRSK, R. (2015). «Long-duration spaceflight increases depth ambiguity of reversible perspective figures». *PLOS ONE* [en línia], vol. 10, núm. 7, p. 1-16. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132317>>.
- NICHOLS, M. H.; CATOR, K. (2008). «Challenge based learning». *White Paper* [en línia], núm. 23. <<http://www.challengebasedlearning.org/>> [Consulta: novembre 2023].
- OSBORNE, J. R.; ALONSOPÉREZ LANZA, M. V.; DESCLAUX, D. F.; GOSWAMI, N.; GONZÁLEZ ALONSO, D. V.; MOSER, M.; GROTE, V.; GARCIA-CUADRADO, G.; PEREZ-POCH, A. (2014). «Effect of mental arithmetic on heart rate responses during parabolic flights: The Barcelona Zero-G Challenge». *Microgravity Science and Technology*, vol. 26, núm. 1, p. 11-16.
- PEREZ-POCH, A.; GONZÁLEZ, D. V.; LÓPEZ, D. (2016). «Hypogravity research and educational parabolic flight activities conducted in Barcelona: A new hub of innovation in Europe». *Microgravity Science and Technology* [en línia], vol. 28, núm. 6, p. 603-609. <<https://doi.org/10.1007/s12217-016-9516-7>>.
- PEREZ-POCH, A.; MONSALVE, P.; MEJÍA, O.; MENDOZA, L. F.; QUINTERO, P.; BUSTAMANTE, L. M.; GONZÁLEZ, D. V. (2022). «Results and lessons learned from the Barcelona ZeroG Challenge». A: *International Astronautical Congress: Proceedings of the 73rd International Astronautical Congress*. International Astronautical Federation, p. IAC-22-E1.3.2.
- PLETSE, V. (2004). «Short duration microgravity experiments in physical and life sciences during parabolic flights: The first 30 ESA campaigns». *Acta Astronautica* [en línia], vol. 55, núm. 10, p. 829-854. <<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.04.006>>.
- PLETSE, V.; ROUQUETTE, S.; FRIEDRICH, U.; CLERVOY, J. F.; GHARIB, T.; GAI, F.; MORA, C. (2015). «European parabolic flight campaigns with Airbus ZERO-G: Looking back at the A300 and looking forward to the A310». *Advances in Space Research* [en línia], vol. 56, núm. 5, p. 1003-1013. <<https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.05.022>>.
- PLETSE, V.; WINTER, J.; DUCLOS, F.; BRET-DIBAT, T.; FRIEDRICH, U.; CLERVOY, J. F.; GHARIB, T.; GAI, F.; MINSTER, O.; SUNDBLAD, P. (2012). «The first joint European partial-g parabolic flight campaign at Moon and Mars gravity levels for science and exploration». *Microgravity Science and Technology* [en línia], núm. 24, p. 383-395. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12217-012-9304-y>>.
- SCHUSTER, A.; BOCCIA, V.; PEREZ-POCH, A.; GONZÁLEZ, D. V. (2015). «Estimation of relative distance between two objects in microgravity conditions during parabolic flight». *Proceedings of the ELGRA Symposium and General Assembly*. (Elgra News; 31), p. 120.
- WALTERS, S.; WATTERS, K. (2017). «Reflecting on the global report on adult learning and education in the “post-truth society”». *Adult Education Quarterly* [en línia], vol. 67, núm. 3. <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0741713617700675>>.