

Acceso a un Plan de Misiones Suborbitales como Herramienta para Validación de Experimentos Científicos y Desarrollos Tecnológicos

M.A. Mendoza-Bárcenas¹, M. Díaz-Quezada², M. Sanjurjo-Rivo³, H. Franco⁴, R. Prieto-Meléndez⁵, O. Álvarez-Cárdenas⁶, A. Tamez-Rodríguez⁷, A. Rodríguez-Rosales⁸, JAL Cruz-Abeyro⁹

¹ Centro de Desarrollo Aeroespacial, IPN, México

² Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria, Universidad de Chile, Chile

³ Universidad Carlos III de Madrid, España

⁴ Northrop Grumman, Columbia Scientific Balloon Facility

⁵ Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM, México

⁶ Facultad de Telemática, Universidad de Colima, México

⁷ Federación Mexicana de Radioexperimentadores, A.C.

⁸ Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero, A.C.

⁹ Centro de Geociencias, UNAM.

1. Introducción

Desde tiempos inmemorables los humanos siempre miramos hacia arriba con la esperanza de algún día llegar más allá, volar como las aves. 240 años antes de nuestra era, Arquímedes formuló el principio de flotación, el cual jamás imaginaría sería la base para tantos proyectos, en donde se explica el comportamiento de los cuerpos, densidades y empuje vertical. Casi 1500 años después, Roger Bacon sugiere que en caso de encontrar un fluido más ligero que el aire, este se elevaría usando aquel principio, tres siglos y medio más tarde Galileo hizo una primera aproximación de la densidad de aquel fluido hipotético.

En 1670, la aproximación a la densidad necesaria se consolidó gracias a Francesco de Lana, quien también se percató del efecto que el calor tenía en la densidad de un fluido. Para el año 1783, el Hidrógeno se había descubierto e incluso probado que al utilizarlo dentro de burbujas de jabón estas flotarían, por otro lado, los hermanos Joseph y Jacques Montgolfier apostaron por el humo y habían probado pequeños globos de papel [1].

El tiempo ha transcurrido a la par del avance en la tecnología y los materiales, lo cual detonó también el uso de globos en diferentes misiones de ciencia, en un principio, enfocadas al registro de variables

meteorológicas, posteriormente, incluyendo complejos instrumentos científicos para realizar experimentos en áreas como la Astronomía o la Astrofísica.

En los últimos 20 años, el campo de los vuelos suborbitales impulsados por globos estratosféricos ha vuelto a tomar un auge muy importante, el cual ha sido aprovechado por agencias espaciales de todo el mundo, incorporándolas como parte de su estructura de desarrollo aeroespacial. Países como Estados Unidos, quienes cuentan con el programa CSBF (*Columbia Scientific Balloon Facilities*, por sus siglas en inglés) que coordina la NASA, es un ejemplo de ello. En la figura 1 se muestra el hangar de integración de CSBF en Fort Sumner, Nuevo México.



Figura 1. Hangar de CSBF-NASA en Nuevo México, EE.UU.

Anualmente el CSBF realiza de 16 a 18 lanzamientos de experimentos impulsados por globos estratosféricos desde sus diversas bases de lanzamiento en el mundo, donde participan principalmente grupos académicos de instituciones estadounidenses e internacionales que requieren realizar pruebas y ensayos en ambiente de espacio cercano.

De características similares, existe un programa similar de misiones suborbitales de la Agencia Espacial Europea (ESA), denominado BEXUS/REXUS [2]. Este programa, fundamentalmente de enfoque académico, creado en 2007 con apoyo de la Agencia Espacial Alemana (DLR) y la Dirección Nacional Sueca de Actividades Espaciales (SNSB), lanza anualmente convocatorias para entidades académicas pertenecientes a la Unión Europea, a participar en lanzamientos en sus dos principales plataformas, las cuales son impulsadas por cohetes y globos, y cuya base de lanzamiento se encuentra en el Esrange Space Center al norte de Suecia, figura 2.



Figura 2. Plataforma de lanzamientos suborbitales del programa BEXUS/REXUS de ESA en Suecia.

Otros países que han aprovechado las ventajas de realizar experimentos científicos y ensayos de instrumentos y equipos tecnológicos a bordo de plataformas impulsadas por globos son Japón, Brasil, India, Suiza y Francia [3]. Particularmente en el caso de Francia, luego de Estados Unidos, hasta el 2006, realizaba anualmente cerca de 50 lanzamientos de globos con

cargas científicas a bordo, dentro de su territorio.

Dentro de las principales ventajas que representan los vuelos suborbitales, adicionales a la reducción en el tiempo de desarrollo y de los costos asociados, en comparación con una misión espacial, se encuentran:

- Repetibilidad de los vuelos, facilitando el perfeccionamiento de los sistemas que se prueban o de los experimentos que se realizan a bordo.
- Oportunidad de acceso técnico efectivo a misiones aeroespaciales para experimentar en condiciones de espacio cercano, sobre todo a países con economías emergentes.

En este artículo se abordará un panorama general de las misiones suborbitales, explorado desde la vertiente de participación en lanzamientos en México y Estados Unidos, permitiendo vislumbrar el planteamiento de un programa suborbital para México, el cual, partirá del análisis de la normativa actual y de experiencias que compartidas por grupos internacionales.

El trabajo está integrado de 6 secciones, partiendo de los antecedentes de participación en dos misiones suborbitales desarrolladas en México y una en Estados Unidos. Así mismo, en la sección 4, se presentará la experiencia del grupo académico de la UC3M, quienes reseñarán su experiencia de preparación de misiones a la estratósfera, concluyendo el apartado con la aportación del grupo CSBF de la NASA y la participación en 2019 del módulo EMIDSS-1 en la campaña FY19.

Finalmente, en la sección 5 se presentará una breve reflexión respecto de la necesidad de impulsar un Programa Nacional de Misiones Suborbitales en México, partiendo del análisis de la normativa actual, que brinde certidumbre en lo futuro al desarrollo de una estrategia nacional que permita el acceso efectivo de grupos e instituciones

académicas nacionales a experimentos aeroespaciales. El trabajo se cerrará en las secciones 6 y 7 con las conclusiones y el detalle de las referencias integradas a lo largo del texto.

2. Antecedentes

Nuestro grupo académico está integrado por investigadores de las principales casas de estudio de México, tales como el IPN, la UNAM, la Universidad de Colima, El Colegio de la Frontera Sur, así como asociaciones civiles como el Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Guerrero y la Federación Mexicana de Radioexperimentadores. También contamos con la colaboración de académicos de instituciones internacionales como la Universidad Carlos III de Madrid, en España y de la Universidad de Chile.

Desde 2015 trabajamos en el desarrollo de proyectos de cooperación técnico-académica que impulsan el diseño de instrumentación aeroespacial con fines de investigación científica y demostración tecnológica, particularmente en el diseño de la misión espacial TEPEU-1, la cual tiene como objetivos la integración y puesta en órbita de un satélite pequeño tipo Cubesat de órbita LEO, el cual coadyuvará a estudios sobre la probable correlación entre eventos de Clima Espacial y otros fenómenos geofísicos, así como su impacto sobre los esquemas de comunicación en las bandas de radioaficionados.

Derivado de este esfuerzo, dentro de la vertiente técnica de nuestro grupo, desde 2016 se inició la participación, en colaboración con otras instituciones en México, principalmente con la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en el diseño y desarrollo de dos misiones suborbitales impulsadas por globos, las cuales permitieron realizar ensayos con esquemas de instrumentación en ambientes de espacio cercano, pudiendo validar componentes de esquemas de instrumentación aeroespacial, principalmente en el diseño de una computadora de vuelo basada en

componentes electrónicos de grado comercial y un microcontrolador de 32 bits.

Como resultado de la evolución en los esfuerzos de diseño e integración de nuestros prototipos electrónicos y, ante la necesidad de continuar realizando ensayos de validación con instrumentos tecnológicos integrados por nuestro grupo, en 2019 se aplicó a la convocatoria del programa CSBF de la NASA, para poder participar como carga de oportunidad (*piggyback*) en la campaña de verano FY19.

Tras una participación exitosa en la campaña FY19, y, luego de poder recuperar los datos almacenados en el instrumento y tras el análisis de las lecciones aprendidas, particularmente de la organización y logística que lleva a cabo el programa CSBF, resulta importante proponer estrategias de desarrollo nacional en materia de misiones suborbitales.

3. Participación en misiones suborbitales en México y el extranjero

En el contexto del desarrollo de misiones suborbitales, es importante mencionar el trabajo colaborativo que se ha realizado en México entre grupos académicos de la UNAM, el IPN y la UANL en sinergia con la iniciativa privada, representada por la empresa REMTRONIC, en dos vuelos estratosféricos, realizados en 2016 y 2018, a bordo de la plataforma CSM, acrónimo de Carga de Servicio Mexicana.

En dichas misiones, lanzadas desde el corazón de la ciudad de León, Guanajuato, fue posible probar diversos experimentos de cargas útiles, cuyos detalles se presentan a continuación.

3.1 Misión CSM-2016

El diseño mecánico de la CSM se compone de una estructura integrada por dos módulos, como se muestra en la figura 3. La primera de ellas es una estructura híbrida constituida por un marco de aluminio ligero y de alta rigidez con refuerzos de ULTEM, el cual es un polímero de alta resistencia

mecánica y que soporta alta temperatura, fabricados por manufactura aditiva (FMD por sus siglas en inglés). El segundo módulo es una estructura tipo torre que contiene la electrónica de la CSM y la de los clientes.



Figura 3. Plataforma suborbital CSM.

Para minimizar el riesgo de daño por impactos, esta estructura es suspendida al interior de la estructura híbrida mediante tensores elásticos que reducen el efecto de fuerzas dinámicas. En cuanto a la protección exterior contra impacto se implementó una base amortiguada compuesta por 2 diferentes tipos de espumados plásticos, formando capas en un arreglo ortogonal, lo cual genera una excelente capacidad de amortiguamiento.

La misión CSM-2016 fue lanzada a las 9:00 horas del 26 de noviembre de 2016, desde el Parque Ecológico Explora de la ciudad de León, Guanajuato, como se muestra en la figura 4, alcanzando una altura de 34,391 metros, lo cual representa más de 3 veces la altura de aviones comerciales, en un ascenso que duró alrededor de 2 horas 20 minutos.



Figura 4. Lanzamiento de la misión CSM-2016.

A bordo de la plataforma CSM-2016, se instaló el sistema SADM-1 [4], cuyo principal objetivo fue el registro de diversas variables ambientales, entre ellas temperatura, presión y humedad, así como la captura de fotografías durante el ascenso del instrumento hacia la estratósfera.

En la figura 5, se muestran las primeras versiones del sistema SADM-1, integradas a partir de tarjetas de desarrollo comerciales.

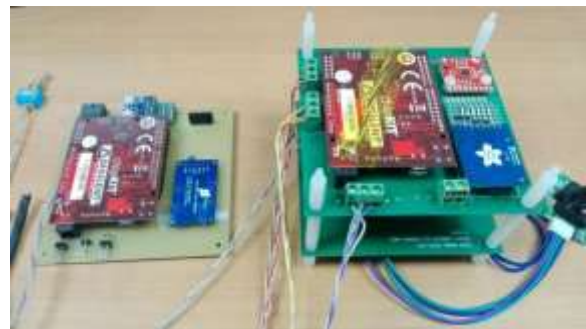


Figura 5. Sistemas SADM-1.

Gracias a las condiciones climatológicas, la carga útil fue visible desde tierra durante todo el vuelo. Después de alrededor de 90 minutos del lanzamiento, su posición, sin muchas variaciones, se estableció sobre el Cerro del Cubilete. Una vez que explotó el globo de helio, la plataforma CSM realizó su descenso, dirigiéndose hacia la localidad de Santa Teresa, Gto.

La altitud máxima registrada alcanzada por la plataforma CSM-2018-A fue de alrededor de 35 km. En la figura 6 es posible con mayor

detalle observar la evolución en la altura de ascenso de la sonda.

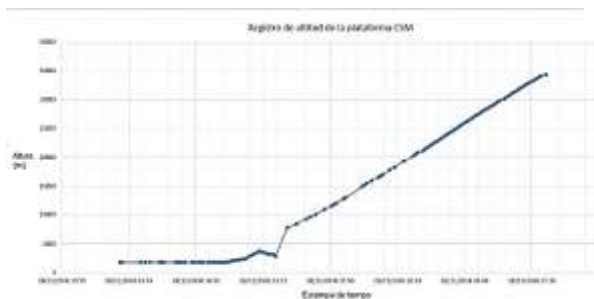


Figura 6. Perfil de altitud alcanzada por la misión CSM-2016.

3.2 Misión CSM-2018-A

Una de las cargas útiles a bordo de la misión CSM-2018-A estuvo integrada por los sistemas SADM 1.2 y SADM-3, los cuales están basados en un microcontrolador de grado comercial de 32 bits y el SADM-3, un sistema basado en un dispositivo de arquitectura reconfigurable FPGA, respectivamente. Uno de los principales experimentos realizados con las dos plataformas SADM a bordo de la plataforma suborbital, será la transferencia coordinada de datos entre las dos plataformas computacionales, simulando un esquema de cómputo distribuido, mostrada en la figura 7.

En cuanto a los objetivos específicos con fines de investigación científica del sistema SADM-1.2, desarrollado por la colaboración CDA-IPN/ICAT-UNAM, fue el registro del campo magnético terrestre, temperatura del aire y la recepción de señales GPS, con el propósito de coadyuvar al diseño de instrumentación aeroespacial para apoyar al estudio sobre variables atmosféricas y cuyos resultados permitirán complementar el diseño conceptual de la misión espacial TEPEU-1.

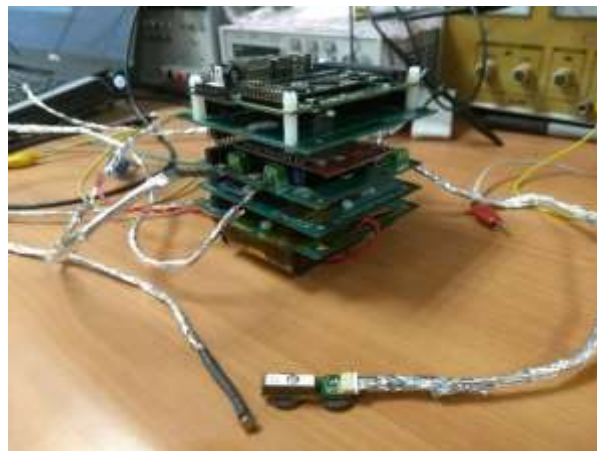


Figura 7. Sistemas SADM-1.2 y SADM-3, montados en el rack para instalación a bordo de la plataforma suborbital CSM-2018-A.

Por su parte, los objetivos del sistema SADM-3, estuvieron orientados a la validación tecnológica de una plataforma computacional reconfigurable basada en un dispositivo FPGA, en el cual fue desarrollado un sistema embebido de adquisición de datos basado en núcleos de microprocesadores y periféricos. Dicha plataforma es el módulo principal de adquisición y procesamiento de datos de un experimento basado en el diseño de un detector de rayos cósmicos utilizando un fotomultiplicador de Silicio (SiPM), que se plantea proponer como carga útil de un satélite pequeño de órbita baja, con fines de investigación en Física de Astropartículas. Dicho proyecto fue subvencionado por el Fondo Sectorial AEM-CONACYT.



Figura 8. Lanzamiento de la plataforma suborbital CSM-2018-A.

El lanzamiento de la plataforma CSM-2018-A se realizó el 21 de abril de 2018 desde el Parque Explora de León, Gto (figura 8), alcanzando una altitud máxima de 32 kilómetros y con una duración aproximada de 3 horas. En la figura 9 se muestra el perfil de temperatura registrado en función de la altura alcanzada por la plataforma suborbital, durante la misión en 2018.

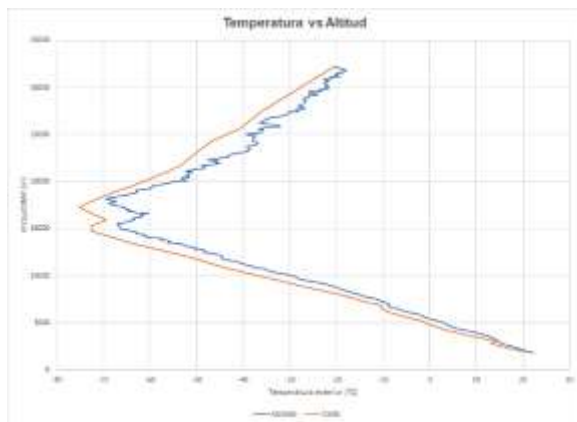


Figura 9. Perfil de temperatura y altitud para la misión CSM-2018-A.

3.3 Misión FY19

El módulo experimental EMIDSS-1, cuyo nombre corresponde al acrónimo en inglés de *Experimental Module for Iterative Design for Satellite Subsystems* versión 1, es una plataforma de desarrollo tecnológico diseñada por la colaboración entre el Centro de Desarrollo Aeroespacial del IPN y el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la UNAM (figura 10) tuvo como principal objetivo servir como plataforma para el desarrollo y pruebas a nivel componente y sistema, para el diseño de subsistemas satelitales y de instrumentación para cargas útiles científicas para misiones espaciales.

En punto de las 7:30 am del miércoles 4 de septiembre de 2019, se realizaron los últimos preparativos previos al lanzamiento de la sonda estratosférica, desde la base de NASA en Fort Sumner, Nuevo México, como se muestra en la figura 11.



Figura 10. Módulo mexicano EMIDSS-1.



Figura 11. Proceso de preparación previo al lanzamiento del módulo 697N donde viajó el módulo EMIDSS-1.

Con base en los datos proporcionados por el GPS a bordo de la plataforma suborbital, fue posible tener el seguimiento de la misma, desde su lanzamiento hasta su recuperación, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Trayectoria del módulo EMIDSS-1.

4. Colaboración internacional

En el contexto de la colaboración internacional de nuestro grupo académico en el área del diseño, planificación y desarrollo de misiones suborbitales, un elemento de gran valor es la experiencia que nos han compartido los pares académicos con los que colaboramos en el desarrollo de herramientas para el desarrollo de vuelos estratosféricos con fines de experimentación científica y demostración tecnológica.

4.1 Universidad Carlos III de Madrid

Las actividades de la UC3M en relación a la investigación en globos estratosféricos comenzaron en 2016. En paralelo, han llevado a cabo dos tipos de trabajos: por una parte, han trabajado en el desarrollo de una plataforma suborbital de bajo coste, mostrado en la figura 13, la cual permitirá la realización de experimentos en la estratosfera en condiciones cuasi-espaciales, en algunos casos; por otra parte, han trabajado en el desarrollo de herramientas de simulación computacional que permitan el cálculo de las trayectorias de ascenso y descenso, así como la evolución de la orientación de la góndola del globo.



Figura 13. Plataforma suborbital desarrollada en la UC3M.

También han desarrollado herramientas para la optimización del punto de lanzamiento, con el fin de minimizar la distancia al punto de aterrizaje. Las actividades han sido llevadas a cabo,

fundamentalmente, por estudiantes del grado de ingeniería aeroespacial. Tras varios años de trabajo, y un vuelo fallido en 2017, existe un diseño detallado de la plataforma estratosférica, y se ha dispone de un prototipo preparado para el vuelo. En esta primavera pasada 2020, tenían contemplado realizar un vuelo de la plataforma para obtener datos que permitiesen validar el simulador de actitud de la plataforma, el cual tuvo que ser pospuesto. Por otro lado, el simulador se encuentra operativo y cuya arquitectura se muestra en la figura 14 [5].

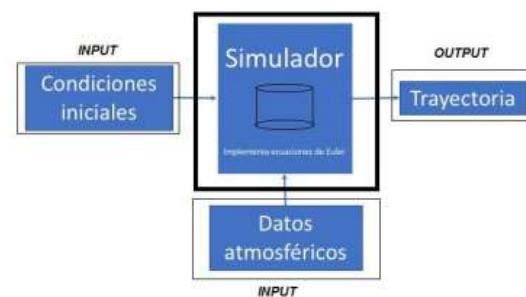


Figura 14. Esquema general del simulador de trayectoria de la UC3M [ref.].

La herramienta de cálculo permite realizar diseños preliminares, tanto de la plataforma, como de sistemas de control de actitud, de manera que se pueden optimizar las características de la góndola, adaptándola a las necesidades de la misión.

Una de las primeras pruebas realizadas con el simulador de trayectoria de la UC3M fue implementado a partir de los datos de los sensores de navegación inercial del sistema SADM-1 en la misión CSM-2016 [6], figura 15.

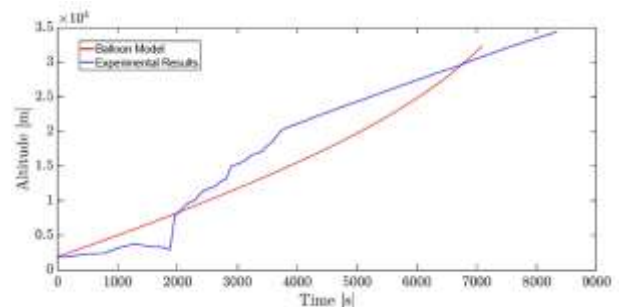


Figura 15. Evolución de la altitud con el tiempo.

4.2 Programa CSBF de la NASA

El acceso al espacio para estudios científicos sigue siendo uno de los retos más grandes para países como México y el resto de Latinoamérica. Los retos percibidos incluyen el alto costo del equipo debido a su alta especialización, además del personal requerido para producir un equipo adecuadamente preparado para llegar y sobrevivir las condiciones ambientales del espacio. A su vez, aun teniendo el equipo o personal, por lo regular, es difícil mantener un programa sustentable debido a esta misma necesidad de especialización, la cual, resulta costosa debido a que estos mercados son controlados principalmente por Estados Unidos y Europa.

El programa CSBF es reconocido a nivel mundial como el más maduro y versátil, ya que mantiene operaciones en diversas partes del mundo, como se muestra en la figura 16, incluyendo la Antártida de forma regular. El programa es administrado por la Agencia Espacial de Estados Unidos, NASA, y operado por Northrop Grumman a través de un contrato que se renueva cada determinado tiempo.



Figura 16. Principales bases de lanzamiento del programa CSBF-NASA.

La operación del programa consiste de varias etapas y procedimientos e incluye acuerdos ya establecidos entre organizaciones fuera y dentro de NASA. En los siguientes párrafos, de manera general, se describirá la operación del programa para el desarrollo de una misión suborbital, dividido en varias secciones que se definirán como: Plataforma, Instrumentación, Equipo

y Proceso de Lanzamiento y Coordinación de Lanzamiento y Vuelo.

Plataforma

Un globo es el vehículo que permite elevar los instrumentos hacia alturas estratosféricas, el cual está manufacturado en su mayoría con una resina de polietileno. Estos a su vez son llenados de cantidades considerables de Helio, el cual permite levantar el peso del instrumento y del propio globo.

Instrumentación

La instrumentación requerida se puede categorizar principalmente en dos funciones: la primera, enfocada en proveer a los grupos científicos con la instrumentación para recibir la información necesaria durante el vuelo y transmitir los comandos necesarios en apoyo a la misión específica, figura 17.



Figura 17. Plataforma suborbital 697N del programa CSBF-NASA.

Tal vez el más importante, por cuestiones de seguridad, es el equipo y la instrumentación que controla los sistemas de rastreo y ubicación del globo, junto con los comandos para su terminación. Estos sistemas son críticos para la operación del globo, ya que es de máxima importancia tener control del globo en todo momento. Esta última instrumentación está sujeta a un desarrollo y fabricación más estricta, ya que se debe tener la certeza de un adecuado funcionamiento cuando sea necesaria su operación, especialmente en casos de emergencia.

Equipo y Proceso de Lanzamiento

El equipo utilizado para este tipo de lanzamiento es especializado en su diseño, pero relativamente fácil de producir si se cuenta con los recursos necesarios. Los componentes principales son el vehículo de lanzamiento y un remolque con un carrete de tamaño apropiado para montar estos globos, además de las grandes cantidades de Helio requerido, como se observa en la figura 18.



Figura 18. Proceso de inflado con Helio en un globo de CSBF.

Como también se observa en la figura 18, el vehículo tiene como su principal función, sostener el instrumento científico durante la el proceso de inflado del globo y después hacer los ajustes necesarios (a través del conductor) durante el proceso de lanzamiento. Este vehículo tiene algunos diseños implementados que permiten que la operación fluya de una forma eficiente y segura.

Un último componente es el gas Helio, el cual deberá estar disponible en grandes cantidades para cubrir los requisitos necesarios. El gas viene disponible en remolques de tipo comercial que debe ser transportado en camiones de carga, los cuales ya vienen equipados con la tubería necesaria para hacer las conexiones apropiadas para altas presiones.

Por lo tanto, un monitoreo constante del clima es necesario de los meteorólogos que forman parte del equipo.

Coordinación de Lanzamiento y Vuelo

Una vez completado el proceso de inflado, el globo se mantiene sujeto al remolque con el carrete hasta que se dé la notificación de “soltarlo” poco antes de dar los últimos

chequeos al equipo e instrumentación científica. Este momento es otro de los más críticos, ya que técnicamente no hay vuelta atrás a la decisión de finalizar la operación sin poner en riesgo el equipo y personal a bordo del vehículo.

El proceso de vuelo implica tener acuerdos formales con las distintas autoridades responsables del espacio de control aéreo. Esta coordinación, por obvias razones es muy importante, ya que durante el ascenso el globo atraviesa por un espacio aéreo donde operan los vuelos comerciales. Estos acuerdos han sido formalizados con un procedimiento en el cual las dos entidades acuerdan protocolos de notificación y comunicación durante cualquier fase del vuelo.

5. Propuesta de un Plan Nacional para Misiones Suborbitales

Con base en lo discutido en las secciones anteriores y basado en los beneficios tecnológicos, académicos y hasta sociales que puede representar, es importante considerar el desarrollo de un Plan Nacional para Misiones Suborbitales (PNMS), el cual permita aprovechar la capacidad técnica de grupos mexicanos que actualmente trabajan en el desarrollo de diferentes experimentos de ciencia y desarrollos en tecnología y que están a la espera de oportunidades para tener acceso al espacio.

Pero, el planteamiento del PNMS debe partir del análisis de las regulaciones actuales en materia del uso del espacio aéreo mexicano, el cual debería considerar con mayor detalle el caso de los globos estratosféricos para aplicaciones científicas de dimensiones y pesos considerables.

Actualmente, el órgano rector en la materia de control de aviación es la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), la que únicamente cuenta con la Circular obligatoria CO AV-20.2/07 R1 [7], en cuyo apéndice “D”, se establece de manera muy general, la normatividad para la operación de globos libres no tripulados en espacio aéreo mexicano, sin ser esta circular una

regulación específica para la operación de globos no tripulados en nuestro país.

En el apéndice D de la circular obligatoria de la AFAC, se establece una clasificación sucinta de los globos no tripulados, la cual se basa en la carga que pueden ser capaces de transportar.

Es evidente que aún hace falta discutir respecto a una regulación que incluya mayores detalles en relación al desarrollo de misiones impulsadas por globos libres no tripulados en México, particularmente en cuanto a la coordinación sobre el uso del espacio aéreo sobre varios estados, lo que permitiría poder aprovechar al máximo los beneficios de vuelos largos en globo.

Adicionalmente, se requiere impulsar el desarrollo de infraestructura basada en la opinión y la experiencia que programas bien consolidados y con gran experiencia como CSBF-NASA pudieran compartir, tanto para la realización de misiones en México, como para el diseño y desarrollo de experimentos conjuntos que impliquen el movimiento de plataformas suborbitales entre Estados Unidos y México.

6. Conclusiones

Las misiones suborbitales impulsadas por globos representan una invaluable oportunidad para países con incipiente actividad y poca experiencia en el campo espacial, para aprender y poder formar recursos humanos de alta especialización en todas las disciplinas técnicas y académicas involucradas.

En México, la UNAM y el IPN, en colaboración con la IP, han realizado esfuerzos para el desarrollo de misiones suborbitales que han fomentado la colaboración interinstitucional en el desarrollo de instrumentación, así como la vinculación con instituciones internacionales, que han permitido adquirir experiencia respecto al diseño y desarrollo de misiones suborbitales en globo.

México tiene todo el potencial necesario para impulsar el desarrollo de un Plan

Nacional de Misiones Suborbitales, el cual, debería partir del establecimiento de un marco normativo que permita definir el uso racional del espacio aéreo nacional para la realización de misiones aeroespaciales impulsadas por globos.

7. Bibliografía

- [1] Alvin L. Morris, "Scientific Ballooning Handbook". Atmospheric Technology Division. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. NCAR-TN/IA-99. NCAR Technical Note. May, 1975.
- [2] <http://rexusbexus.net/bexus/>. Última consulta el 1 de octubre de 2020.
- [3] Kimberly Strong, "Probing the Atmosphere from Balloon Platforms," Proceeding of the 13th CASI Conference on Astronautics – ASTRO 2006.
- [4] M.A. Mendoza-Bárcenas, et al, "Módulo experimental de carga útil SADM-1 para fines de exploración atmosférica," SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. Acapulco, Gro. 25-27 de octubre de 2017.
- [5] G.M. Asensio López, "Dynamic Modelling, Simulation, and Control of an Atmospheric Balloon Platform. Bachelor Thesis". Department of Aerospace Engineering, UC3M. June, 2007.
- [6] M. Sanjurjo, et al, "Simulación dinámica precisa y optimización de trayectoria de globos estratosféricos", SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. Acapulco, Gro. 25-27 de octubre de 2017
- [7] Circular CO AV-20.2/07. Dirección General de Aeronáutica Civil. Junio de 2007.