

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS COHETES SONDA ULA PARA INVESTIGACIONES ATMOSFÉRICAS

LACRUZ Leonardo^{1,2}, Vicente Marcano^{1,2*}, María Alejandra Parco^{1,2}, John Ferreira^{1,2}, Carlos La Rosa^{1,2}, Enrique Parada¹, Andrew Landaeta¹, Julio Barreto³, Juan José Rojas³, Carmen Ustariz³, Heliana Herrera³, José Moncada³, Julio Emerio Cárdenas Sandia⁴

*<marcvin@ula.ve>

¹ Comisión Rectoral Programa de Ciencias Espaciales, Universidad de Los Andes, La Hechicera, Mérida 5101 Venezuela

² Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

³ Centro de Investigación y Desarrollo Aeronáutico, CIDAE, Aviación Militar Bolivariana, Base Aérea Mariscal Sucre, Maracay, Venezuela.

⁴ Instituto de Investigación Científica de la Fuerza Armada Nacional, Base Aérea "Generalísimo Francisco de Miranda", La Carlota, Venezuela.

RESUMEN

La primera iniciativa en Venezuela por parte de las Universidades para el desarrollo de cohetes-sonda totalmente diseñados y construidos en Venezuela proviene de la Universidad de Los Andes, como parte de las actividades que desarrolla la Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales. Los cohetes sonda ULA han sido diseñados y fabricados en su totalidad en Venezuela, con recurso humano venezolano y utilizando materiales accesibles en términos de disponibilidad y costos. Hasta el presente se han realizado con éxito cuatro pruebas de rendimiento aerodinámico y de propulsión de los cohetes sonda ULA-1 y ULA-2, logrando alcanzar distintas alturas en la troposfera y la estratosfera [1]. En la última prueba aerodinámica y de propulsión efectuada en Noviembre del 2011, se obtuvieron perfiles atmosféricos de presión, temperatura, punto de rocío, entre otros. En la actualidad se desarrolla el proyecto del Cohete ULA-3 "Simón Bolívar", el cual tiene como objeto alcanzar la ionosfera y servir como un vehículo posicionador de nanosatélites.

Palabras claves: cohete sonda, combustible sólido, ciencias atmosféricas y del espacio.

CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF THE SOUNDING ROCKETS ULA FOR ATMOSPHERIC RESEARCHS

ABSTRACT

The first initiative in the Venezuelan universities for the development of sounding rockets fully designed and built in Venezuela comes from the University of the Andes, as part of the activities that develops the Chancellor's Commission Space Science Program. The sounding rocket ULA has been designed and manufactured entirely in Venezuela, with Venezuelan human resource and using materials accessible in terms of availability and costs. Up to the present have been successfully completed four tests of aerodynamic and propulsion performance of the sounding rocket ULA-1 and ULA-2, reaching different altitude in the troposphere and stratosphere [1]. The last aerodynamics and propulsion test carried out in November of 2011 were obtained profiles of atmospheric pressure, temperature, dew point, among others. Currently develops the rocket ULA-3 "Simón Bolívar", with the purpose to reach the ionosphere and to place nanosatellites in low orbit.

Key words: sounding rocket, solid propellant, atmospheric and space sciences.

I. INTRODUCCIÓN

Las primeras aplicaciones conocidas para cohetes de combustible sólido en América Latina, se remontan a la década de los 50 y 60 con el desarrollo de cohetes sondas estratosféricos con propósitos estrictamente científicos, por parte de Brasil y Argentina, los cuales habrían impulsado el desarrollo de su moderna industria aeroespacial [2].

Países como Argentina, Brasil, Perú, México y Chile desde hace varias décadas, han sabido cosechar grandes logros en el campo de la coherería, que incluyen el diseño y el lanzamiento de cohetes y puesta en órbita de satélites a partir del trabajo coordinado del Estado, la Aviación Militar y de las Universidades. Tal es el caso, por ejemplo, de los cohetes Centauro (alfa, beta y gamma), Orión, Canopus, Rigel, Castor, Cóndor I y II y satélites SAC argentinos; los cohetes SONDA I-IV y VLS y satélites SCD, SSR y SACI brasileños; los satélites FASat-alpha (1995) y FASat-Bravo (1998) chilenos; los satélites Morelos (1985), UNAM I (1995) y UNAM II (1996) mexicanos; el satélite CONIDASAT (2003) y del cohete sonda Paulet-1 (2006) peruanos. Este esfuerzo ha sido orientado principalmente para investigaciones concernientes a la observación de recursos naturales, quemas, inundaciones, desastres naturales, vigilancia fronteriza, aeropuertos clandestinos, prospección geológica, aerobiología, investigaciones de la ionosfera y de la capa de ozono, cambio climático, aerosoles atmosféricos, meteoritos y telecomunicaciones.

Entre todos los espacios geográficos sobre los cuales le corresponden derechos a la República Bolivariana de Venezuela, según la Constitución Nacional (artículo 11), son el Espacio Aéreo y el Espacio Ultraterrestre Suprayacente los menos estudiado y desarrollado a pesar de lo establecido en el artículo 127 de la Constitución, sea una obligación fundamental del Estado, con la participación activa de la sociedad, garantizar el desenvolvimiento de la población en un ambiente libre de contaminación, en donde particularmente el aire, el clima y la capa de ozono sean especialmente protegidos.

A partir de los compromisos adquiridos por Venezuela durante la Asamblea General de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de las Naciones Unidas (UNISPACE, 1999 y 2000), el Gobierno Venezolano decidió incorporar como materia de prioridad nacional una serie de políticas orientadas a promover la exploración, la investigación y utilización del espacio para el progreso científico y tecnológico del país.

El 7 de Julio de 2005, en la ciudad de Valencia se celebró el I Congreso Nacional de Ciencias Espaciales, en donde un grupo de científicos venezolanos de reconocido prestigio, pertenecientes a diversas instituciones de educación superior e centros de investigación, entre los cuales se encuentran algunos de los proponentes del presente proyecto, acordaron crear la Fundación Sociedad Venezolana de Ciencias Espaciales (SVCE). El propósito de la

SVCE es apoyar todas las iniciativas de investigación en el área de las ciencias espaciales y atmosféricas en Venezuela.

La primera iniciativa científica en Venezuela por parte de las universidades para el desarrollo de cohetes sondas totalmente diseñados y construidos en Venezuela, proviene de la Universidad de Los Andes, con el apoyo del Rectorado de la Universidad de Los Andes, como parte de las actividades que desarrolla la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales y el Centro de Investigaciones Atmosféricas y del Espacio (CIAE). A partir de enero de 2006, se conformó un equipo de investigadores multi- e interdisciplinario el cual ha venido trabajando en el desarrollo de un cohete propulsado por combustible sólido, con aplicaciones científicas, y que ha sido bautizado con el nombre de cohete-ULA.

A fin de lograr el apoyo necesario para la realización de las pruebas de lanzamiento, se elaboró un acuerdo de cooperación con el Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CIDAE) de la Aviación Militar Venezolana. Es importante destacar que en vista a la experiencia y conocimientos logrados por parte del equipo de investigadores de la Universidad de Los Andes, el CIDAE ha solicitado asesoría e instrucción para la fabricación del cohete CIDAE-1. Cabe destacar, entre los principales logros de la Comisión Rectoral para el Programa de Ciencias Espaciales de la Universidad de Los Andes, el lanzamiento al espacio troposférico y estratosférico de los Cohetes-Sonda ULA-1 y ULA-2, propulsados por combustible sólido y diseñado y construido totalmente en la Universidad de Los Andes.

Desde hace un año se viene trabajando con el apoyo de FONACIT, FUNDACITE, Aviación Militar Bolivariana, la Agencia Bolivariana de Actividades Espaciales y la Universidad de Los Andes en un proyecto que tiene como objetivo el desarrollo de vectores de combustible sólido para el posicionamiento de nanosatélites en órbita baja. Dicho cohete modelo ULA-3 tiene como alcance un rango entre 120-150 km de altura y se tiene previsto un primer lanzamiento para finales del año 2014.

La aplicación de la tecnología endógena de cohete sondas con la finalidad de atender aspectos fundamentales de la vida del venezolano, como son salud, calidad ambiental, seguridad y defensa y telecomunicaciones, constituye una iniciativa sin precedentes en la historia científica y tecnológica de nuestro país. Este hecho constituye un acto de independencia tecnológica soberana que nos sitúa en una posición competitiva ante el resto de los países de América latina y del mundo. El mayor aporte de esta propuesta esta representado por la utilización, de cohetes sondas, por primera vez en nuestro país, como un recurso tecnológico para el estudio de parámetros físicos, químicos y biológicos de la atmósfera alta hasta ahora desconocidos, debido a la falta de instrumentos especializados por los altos costos que conlleva la importación de los mismos. De igual manera, el presente proyecto marca el inicio de la industrialización del conocimiento endógeno acerca de la fabricación de la más alta tecnología aeroespacial.

II. DESARROLLO

1. Características generales de los cohetes sonda serie ULA

1.1) Cohetes sonda ULA-1

Los cohetes ULA-1 son cohetes sonda subsónicos, se clasifican como ULA-1A y ULA-1B, con la capacidad de alcanzar alturas entre 2 y 8 Km respectivamente. Dichos cohetes presentan como característica común un fuselaje de 1,92 metros de largo y 10,5 cm de diámetro, construido en cloruro de polivinilo de alta densidad. La nariz es de tipo ojiva, elaborada en celulosa vegetal sólida y las alas tipo delta, construidas en aluminio e insertas en el fuselaje, en la foto 1 se puede observar un cohete ULA-1 dispuesto en la lanzadera y en la Foto 2 en la fase inicial de despegue. Se emplea nitrato de potasio como oxidante en la formulación del combustible.

Los cohetes ULA-1 probados fueron:

- Cohete ULA-1A: Motor 30 cm, 750 gramos de combustible ($\text{KNO}_3 + \text{Sa}, 65/35$). Velocidad subsónica.
- Cohete ULA-1B: Motor 45 cm, 1675 gramos de combustible ($\text{KNO}_3 + \text{Sa}, 65/35$). Velocidad subsónica.

Ambos motores utilizan una tobera convergente-divergente cónica. En la figura 1 se puede observar el plano de la tobera utilizada en el motor para el cohete ULA1-B.



Fotos 1. Cohete ULA-1 colocado en lanzadera durante la prueba dinámica llevada a cabo el 26 de Noviembre de 2011. Foto 2. Cohete ULA-1 despegando desde el Centro de Adiestramiento Militar General "José Laurencio Silva"..

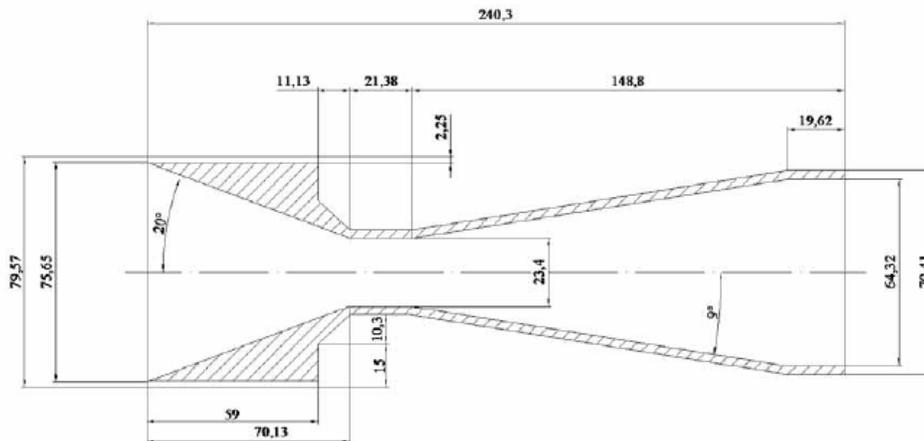


Figura 2. Plano de la tobera del cohete sonda ULA-2. Dimensiones en mm

Al igual que en los cohetes ULA-1, se emplea nitrato de potasio como oxidante en la formulación del combustible. Los motores utilizados para estos cohetes son los siguientes:

A) Cohete ULA-2A: Motor 115 cm, tubo mecánico de acero al carbono sin costura AISI 1020, espesor mínimo 2,5 mm y máximo 5 mm.

B) Cohete ULA-2B: Motor 120 cm, tubo mecánico de acero al carbono sin costura AISI 1020, espesor mínimo 2,5 mm y máximo 5 mm.

A continuación se muestra una tabla donde se resumen las características aerodinámicas y de propulsión más importantes de los cohetes sonda ULA-1 y ULA-2:

TABLA I DATOS TECNICOS DE RENDIMIENTO AERODINAMICO DE LOS COHETES SONDA ULA

CARACTERISTICAS	COHETE ULA-1	COHETE ULA-2
PESO COHETE:	17000 g	> 23000 g
LONGITUD COHETE:	2,9 m	> 3 m
ACELERACION:	> 250 m s ⁻²	> 990 m s ⁻²
VELOCIDAD:	> 650 km/h	> mach 2
ALTURA:	2000-8000 m	> 20,000 m
TIEMPO DE ASCENSO:	> 20 s	~ 30 s
CENTRO DE GRAVEDAD:	1,19 m	1,84 m
CENTRO DE PRESION:	1,60 m	2,18 m
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO:	0,75	0,75
ESTABILIDAD DE VUELO CON COMBUSTIBLE:	4,08 calibres	3,93 calibres
ESTABILIDAD DE VUELO SIN COMBUSTIBLE:	5,85 calibres	6,98 calibres
TIEMPO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE:	3,5 s	3,75 s
MASA PROPELENTE/ MASA TOTAL =	0,44	0,29
LARGO MOTOR/DIAMETRO MOTOR =	6,78	1,2

2) Carga útil de los cohetes sonda ULA

1.3) Cohetes sonda ULA-1

Los cohetes sonda ULA-1 tienen la capacidad de transportar una carga útil de 500 g en un compartimiento cilíndrico de 100 mm de diámetro por 120 mm de altura. Durante las pruebas dinámicas realizadas se han colocado en el compartimiento de carga útil sensores de presión, temperatura y humedad relativa (Foto 5), logrando ser recuperados de manera exitosa, gracias al sistema de recuperación que cuenta con un paracaídas, el cual permite un descenso estable de los sensores para llevar a cabo el registro de datos atmosféricos (Foto 6).

A partir de los datos obtenidos durante las pruebas dinámicas se han podido obtener registros meteorológicos de la tropósfera, tales como perfiles de presión, temperatura, punto de rocío, entre otros.

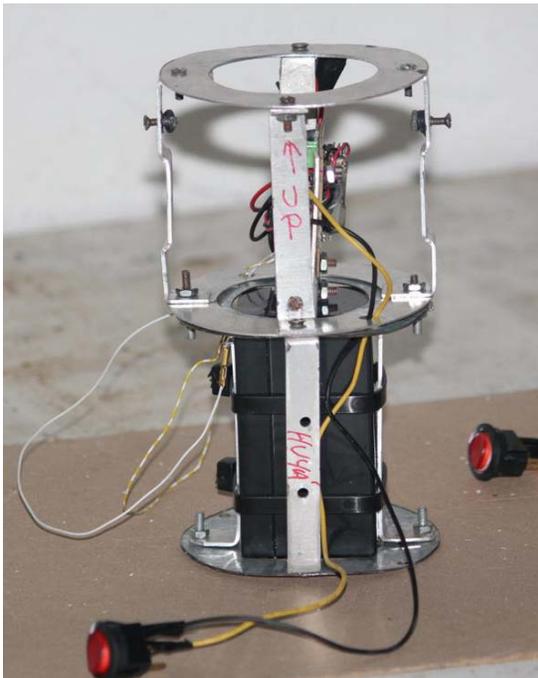


Foto 5. Carga útil portada por el cohete sonda.

Foto 6. Descenso de la carga útil cohete ULA 1.

En la foto 7 se puede observar la carga útil colocada en la nariz de un cohete ULA-1, luego de su descenso y recuperación.



Foto 7. Carga útil colocada en la nariz de un cohete ULA-1, recuperada con éxito luego de la prueba dinámica llevada a cabo el 26 de Noviembre de 2011.

1.4) Cohetes sonda ULA-2

El cohete sonda ULA2-A tiene la capacidad de portar una carga útil de 1 kg en un compartimiento cilíndrico de 76 mm de diámetro por 200 mm de altura, el cohete sonda ULA2-B tiene la capacidad de portar una carga útil de 1 kg en un compartimiento cilíndrico de 80 mm de diámetro por 200 mm de altura.

Hasta el presente el cohete ULA2-B ha sido el cohete dispuesto para portar carga útil destinada al estudio de la atmósfera, dicha carga consiste en un sistema redundante de adquisición de datos de presión atmosférica, diseñada y construida en la ULA. A partir de este sistema de adquisición de datos de presión atmosférica se pueden obtener perfiles de presión y se puede estimar la altura alcanzada por los cohetes sonda serie ULA.

Cabe destacar que este sistema fue calibrado utilizando una cámara provista con un manómetro de vacío comercial y haciendo uso de una bomba de vacío en laboratorios de la ULA. La estructura donde se ubican las tarjetas electrónicas se fabrican de material no metálico, para evitar la introducción de ruidos por corriente estática inducida debido a la fricción de las paredes externas del fuselaje con la atmósfera, de esta manera se obtienen datos de buena calidad.

En la foto 8 se puede observar el sistema de adquisición de datos colocado en el cohete ULA 2.

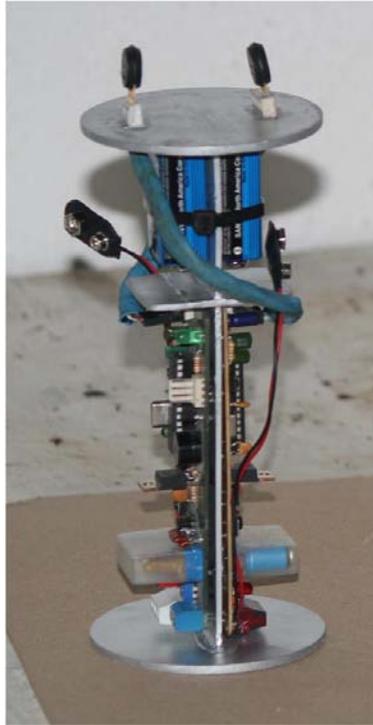


Foto 8. Sistema redundante para registro de presión atmosférica colocado en cohete sonda ULA-2

2. Aplicaciones de los cohetes sonda ULA en estudios atmosféricos

Uno de los objetivos específicos del proyecto institucional cohetes sonda serie ULA es la exploración de la atmósfera, utilizando instrumentos especializados con el fin de obtener datos de variables atmosféricas que son de interés para el país.

Los cohetes sonda serie ULA, representan una herramienta de gran valor para llevar a cabo estudios atmosféricos, como se vio anteriormente dichos cohetes pueden alcanzar alturas alrededor de los veinte kilómetros, es decir, actualmente están en capacidad de llegar hasta la estratósfera.

El objetivo general de este proyecto es la colocación de nanosatélites en órbita baja, para lo cual se deben desarrollar cohetes que asciendan a mayores alturas, llevando a cabo experimentos y lecturas de variables atmosféricas, así como también parámetros de vuelo

de los cohetes, hasta que se logre alcanzar la órbita baja, la cual es una meta que se pretende alcanzar a mediano plazo. A continuación se enumeran una serie de aplicaciones de los cohetes sonda ULA para el estudio de la atmósfera:

1. **Monitoreo remoto de contaminación:** Muestreo y análisis de aerosoles troposféricos y del aire para prevenir problemas de contaminación que afecten la salud humana generados por la actividad industrial o agrícola, y en caso de conflicto que imponga el uso de sustancias tóxicas por grupos invasores que puedan afectar la salud de la población. Para esta aplicación se utilizan trampas de aire y/o muestreadores activos portátiles, los cuales deben estar conectados a un sistema de adquisición y transmisión de datos por telemetría.
2. **Biometereología:** Estudio de perfiles de gases, temperatura, humedad, radiación y presión para el conocimiento de las condiciones ambientales correspondientes al medio de propagación de microorganismos patógenos y/o elementos causantes de alergias en la población humana. Para este tipo de análisis se utilizan cohetes que toman muestras de aire a cierta altura, así como variables atmosféricas que permitan predecir la velocidad y dirección de las corrientes de aire a fin de alertar sobre la posibilidad de alergias en un sitio determinado [3]. En la siguiente figura se pueden observar algunos granos de polen causantes de alergias identificados en el centro de Europa tomando muestras de aire:

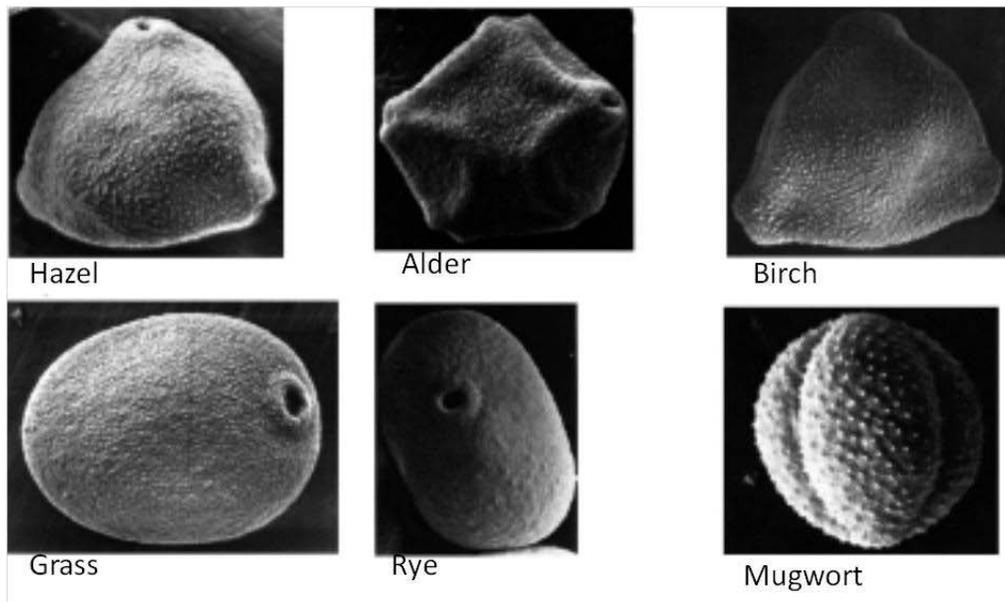


Figura 3. Granos de polen causantes de alergias identificados en el aire del centro de Europa [3].

3. **Fotobiología atmosférica preventiva:** Estudio de las variaciones de intensidad de la radiación UVB y UVA con la altura y de las concentraciones de ozono. Para este tipo de estudio se deben utilizar instrumentos ópticos para la obtención de datos de radiación, a los cuales se le debe calcular el error presente, causado principalmente por la absorción del lente, luego de procesar los datos se debe establecer una correlación entre radiación y presencia de Ozono [5]. En la figura 4 se observa un perfil de Ozono obtenido por el programa espacial de Corea del Sur, utilizando cohetes sonda.

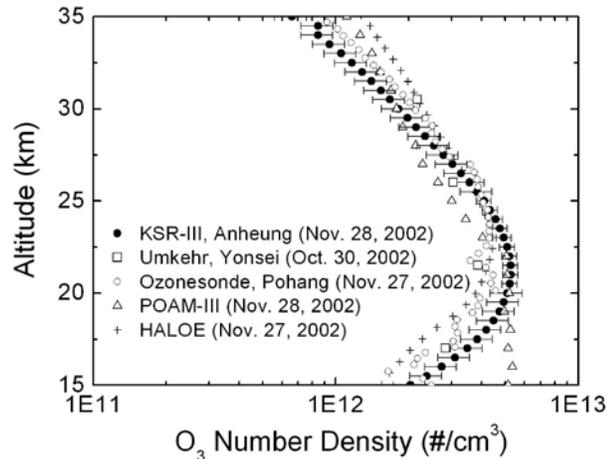


Figura 4. Perfil de Ozono obtenido por el instituto de desarrollo aeroespacial de Corea, utilizando cohetes sonda [5]

4. **Composición microbiológica:** Toma de muestras de aire atmosférico a diferentes alturas para su análisis en laboratorios especializados para la identificación de microorganismos presentes [6]. Un ejemplo de estos estudios son la identificación a 41 km de altura de microorganismos tipo Cocci [3], los cuales se ilustran en la siguiente figura:

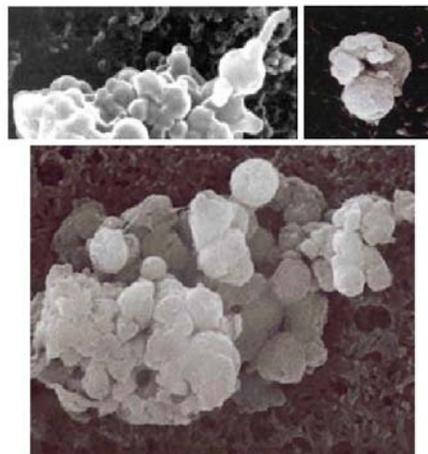


Figura 5. Microorganismos presentes en la estratósfera identificados con microscopía electrónica de barrido [3].

5. **Inducción de lluvia:** Esparcimiento de núcleos cristalinos de condensación, en nubes ubicadas entre 4 y 8 km de altura, con el fin de obtener lluvias en tiempo de sequía.

A continuación se presenta un cuadro resumen de las aplicaciones de los cohetes sonda serie ULA para estudios atmosféricos:

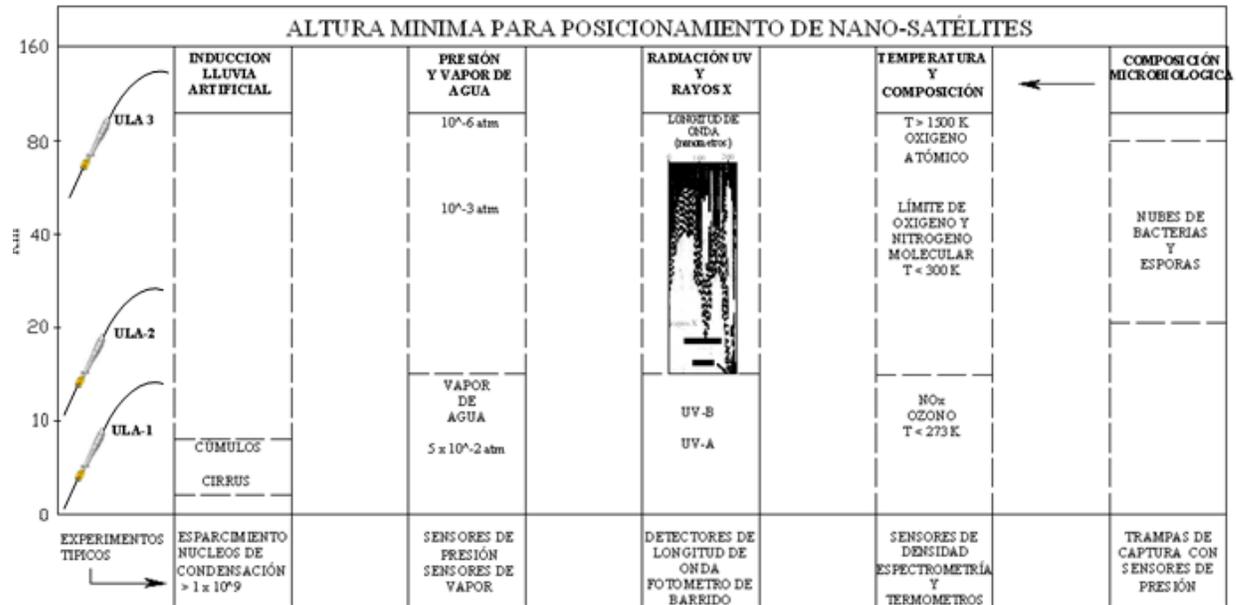


Figura 6. Resumen sobre las aplicaciones de los cohetes sonda ULA en estudios atmosféricos

III. CONCLUSIONES

1. Los cohetes sonda serie ULA constituyen una herramienta de uso científico para llevar a cabo investigaciones relacionadas con las ciencias atmosféricas y espaciales, con la cual se pueden ubicar a diferentes alturas una carga útil, la cual puede ser recuperada y reutilizada.
2. El combustible utilizado por los cohetes sonda ULA son de bajo impacto ambiental y de bajo costo, lo cual los hace atractivos para llevar a cabo estudios que requieran una serie de lanzamientos a la atmósfera.
3. Debido a la utilización de materiales y el conocimiento de la tecnología utilizada, el costo de los cohetes sonda ULA es bajo en comparación con tecnologías foráneas.

4. Con la experiencia alcanzada hasta el presente se desarrollarán próximamente cohetes sonda serie ULA capaces de alcanzar mayores alturas, con los cuales se pretende realizar estudios atmosféricos especializados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al FONACIT y a la Aviación Militar Bolivariana. De igual manera, al Profesor Manuel Aranguren, Vicerrector Administrativo de la Universidad de Los Andes y a todo el personal que labora en dicha dependencia y a todo el personal del Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial de la Aviación Militar Bolivariana por su apoyo durante las pruebas de rendimiento aerodinámico y de propulsión de los cohetes sonda ULA.

IV. REFERENCIAS

- 1) MARCANO, V., BENÍTEZ, P., LA ROSA C., LACRUZ L., PARCO M., FERREIRA J., ANDRESSEN R., SERRA VALLS A., PEÑALOZA M, RODRIGUEZ L., CÁRDENAS J. E., MINITTI V., ROJAS J.J. 2009.- Progresos alcanzados en el proyecto universitario cohetes sonda serie ULA. Universidad, Ciencia y Tecnología 13, 305-316.
- 2) FREEMAN, M., 2002, Iberoamérica en el Espacio, EIR Ciencia y Tecnología, Resumen Ejecutivo, 13-38; Docampo, C. 1993, Desarrollo de vectores espaciales y tecnología misilística en Argentina: el Cóndor II, EURAL, Buenos Aires).
- 3) WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION 2004; GUIDELINES ON BIOMETEOROLOGY AND AIR QUALITY FORECASTS No. 1184.
- 4) WAINRIGHT, M., WICKRAMASINGHE, N. C., NARLIKAR, J. V., RAJARATNAM, P., 2002; Microorganisms cultured from stratospheric air samples obtained at 41 km. FEMS Microbioloy Letters 10778, 1-5.
- 5) JHOON KIM, 2007; Retrieval Error Estimate for Vertical Ozone Profiling by KSR-III Rocket Sounding. Journal of the Korean Physical Society 50, 1256-1264.
- 6) NARLIKAR, J. V., WICKRAMASINGHE, N. C., WAINWRIGHT, M., RAJARATNAM, P., 2003; Detection of microorganisms at high altitudes. Current Science 85, 23-29.