

Estudio de Factibilidad para la primera misión satelital del Paraguay

Enrique Buzarquis¹, Benjamín Barán²

¹Parque Tecnológico Itaipu - Paraguay
Central Hidroeléctrica ITAIPU - Hernandarias - Paraguay

²Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción
Campus Universitario – San Lorenzo - Paraguay.

{enrique.buzarquis}@pti.org.py, bbaran@cba.com.py

***Abstract.** Paraguay is the only South American country without its own satellite, therefore it has initiated activities to enter the aerospace context. Consequently, this paper present a feasibility study that aims to promote Paraguay in the satellite context, proposing, from the evaluation of 3 CubeSat alternatives, the 6U CubeSat development for observation mission of the earth, that could serve as the basis for a project that begins to satisfy the needs identified in 3 Focus Groups whose results are briefly presented. Later, a second telecommunication satellite mission is also proposed.*

***Resumen.** El Paraguay es el único país Sudamericano sin un satélite propio por lo que ha iniciado actividades para lograr ingresar al contexto aeroespacial. En consecuencia, en este trabajo se presenta un estudio de factibilidad que pretende impulsar al Paraguay en el contexto satelital, proponiendo, desde de la evaluación de 3 alternativas de CubeSat, el desarrollo de una misión satelital de observación de la tierra a partir de la construcción de un CubeSat de 6U. Así, a partir de las necesidades relevadas en 3 Grupos Focales cuyos resultados son brevemente presentados, se propone el desarrollo de una segunda misión satelital de utilización comercial del espacio, con el desarrollo de un satélite de telecomunicaciones.*

1. Introducción

Paraguay se encuentra ubicado en el centro de Sudamérica, lindante con Bolivia, Argentina y Brasil. Al año 2013, la población era de aproximadamente de 6.700.000 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional (respecto al 2012), de 1,62% anual. El país posee un Producto Interno Bruto (PIB) per cápita de USD 4.368, siendo el más bajo del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) y uno de los más bajos de la región [BCP, 2013].

En el ámbito del desarrollo aeroespacial, el Paraguay en la actualidad está dando sus primeros pasos. Buzarquis y colegas [Buzarquis et al., 2017] afirman que, desde el tiempo de la cultura indígena precolombina, los indios guaraníes proyectaban su ambiente en el cielo y trataban de explicar así las estrellas y los fenómenos celestes. Concebían a la tierra como una isla o continente que flotaba en un océano plano infinito.

El cielo era el espacio donde estos habitantes concebían su mundo, lo que finalmente se incluyó en parte de la historia e identidad cultural del Paraguay.

Cuentan los autores [Buzarquis et al., 2017] que no fue hasta la llegada de los jesuitas en el año 1600 que se comenzó a explorar de manera científica el cielo guaraní, ya que se tienen registros de observaciones astronómicas y meteorológicas realizadas en las misiones jesuíticas, a partir de la construcción propia de telescopios, lo cual permitió la observación y predicción de eclipses de sol y de luna.

La espiritualidad de los misioneros jesuitas permitió que en el siglo XVII fundaran la reducción de San Cosme y Damián en el sur de Paraguay, con el propósito de evangelizar a los indígenas guaraníes de la región. Entre ellos se destaca Buenaventura Suárez (1679-1750), considerado el primer astrónomo del Paraguay. Suárez se dedicó a la observación de los astros, influido por los conocimientos guaraníes que conocían los ciclos de las estrellas propicios para sembrar o para cosechar. Así, se legaron documentos hoy conservados en Paraguay, como una predicción de las fases y eclipses lunares para un siglo.

Sin embargo, a partir de estos trabajos iniciales, es muy poco lo que se ha avanzado en Paraguay en el campo de la exploración espacial en general y en una misión satelital en particular, ya que recién en el año 2014 fue creada la *Agencia Espacial del Paraguay - AEP* por Ley 5151/2014 (<http://www.aep.gov.py>), a partir de un decreto emanado del mismo poder ejecutivo. Esta institución que aglutina a varios estamentos políticos y civiles, tendría así a su cargo la elaboración de reglamentos en materia aeroespacial y principalmente la implementación de un primer Programa Satelital a nivel nacional que enfoque los esfuerzos mancomunados de la sociedad y el sector público en un desarrollo sustentable del área aeroespacial.

En base a las motivaciones generadas por el hito arriba expuesto y usufructuando el apoyo proveído por el *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* del Paraguay - CONACYT (<http://www.conacyt.gov.py>), el *Parque Tecnológico ITAIPU* – PTI-PY, del Paraguay (<http://www.pti.org.py>) se vincula con el INVAP SE (*Investigación Aplicada, Sociedad del Estado*) de Argentina (<http://www.invap.com.ar>) con el objetivo de desarrollar un estudio de factibilidad para una potencial primera misión satelital del Paraguay. Es en este contexto que el presente trabajo se propone presentar el estado del arte de la exploración espacial realizada por la República del Paraguay.

Este proyecto en particular se encuadra dentro de lo que representa el desafío de los retos tecnológicos vinculados a la exploración espacial, así como el avance en investigación y desarrollo que este permitiría. La tarea de adelantar proyectos en el campo aeroespacial le da al país nuevos límites de progreso tecnológico-científico, que pueden ser potencialmente aplicados incluso a otras áreas.

Para el Paraguay, el desarrollo, la aplicación y el uso de tecnologías espaciales juegan un papel destacado, en la medida que se permita la generación de una industria organizada, el planeamiento y desarrollo territorial; además de impulsar nuevos horizontes técnicos, científicos y tecnológicos, con el objeto de llevar al país a posicionarse internacionalmente en este ámbito.

En efecto, con este proyecto se busca obtener un estudio de factibilidad, con vistas a generar futuros proyectos de desarrollo satelital para el país, más aun teniendo

en cuenta que el Paraguay es el único país de Sudamérica que todavía no cuenta con un satélite propio.

En secciones posteriores, se presenta una memoria sobre la creación de la Agencia Espacial del Paraguay, los avances en el área espacial en la academia, un breve resumen del proyecto “*Estudio de factibilidad para la primera misión satelital del Paraguay*”, para finalmente presentar las principales conclusiones de este trabajo.

2. Creación de la Agencia Espacial del Paraguay

En el año 2014 fue concebida la Agencia Espacial del Paraguay (AEP), que como ya fuera mencionado fue creada por Ley 5151/2014, a partir de un decreto emanado del poder ejecutivo. Esta institución que abarca a varios estamentos públicos y civiles, tiene a su cargo la reglamentación en materia aeroespacial del Paraguay, así como la elaboración del *Programa Nacional Satelital*.

La creación y funcionamiento de un órgano especializado como la AEP para el uso y aprovechamiento del espacio se constituye así en una potencial puerta de acceso para que el Paraguay fortalezca el conocimiento sobre la tierra y el espacio mediante la utilización de tecnologías modernas que permitan la conectividad y comunicación con todo el territorio paraguayo empleando directa e indirectamente las tecnologías espaciales de telecomunicaciones [Vielman, 2014].

En ese sentido, la importancia del avance en tecnologías aeroespaciales se ha convertido en parte fundamental del desarrollo de las naciones, en los últimos años. Más allá de los retos tecnológicos que representa la exploración espacial y el avance en la investigación y desarrollo, se espera que estos avances brinden al Paraguay nuevos límites de progreso tecnológico que puedan ser incluso aplicados a otras áreas. En consecuencia, la AEP puede propiciar la consolidación de acuerdos con el sector académico y científico para impulsar la investigación, formación y capacitación de los recursos humanos especializados que viabilicen el desarrollo aeroespacial en Paraguay.

3. Primeros avances en el área académica

En un primer intento por motivar a la comunidad en la exploración espacial, fue propuesto el programa *EMOÑEPYRUPY* (génesis en guaraní) apoyando una iniciativa de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay – FPUNA (<http://www.pol.una.py/>). Este primer proyecto utilizando cargas científicas de bajo costo proponía una plataforma basada en globos (<http://www.pol.una.py/?q=node/1164>) [Vielman, 2014].

El objetivo principal del programa *EMOÑEPYRUPY* fue promover actividades relacionadas con el espacio, involucrando a estudiantes de ingeniería y a la sociedad educativa en general. Esta primera actividad se realizó bajo la misión AEP-UNA-GS001. La unidad académica que lideró esta misión fue el Departamento de Aeronáutica de la FPUNA.

La carga útil consistía en dos sistemas diferentes de posicionamiento global, dos dispositivos de captura de imágenes, un sensor de temperatura y un transductor de presión para medir la altitud. Dispositivos similares ya se utilizaron para este tipo de aplicaciones, como la que se presenta en [Sreejith et al., 2014].

El peso total de esta carga útil, incluido un reflector de radar y un paracaídas, era de 8 Newtons. La elevación positiva del globo se midió a 2 Newton. Un globo de látex de 600 gramos fue utilizado para esta misión.

Este lanzamiento se llevó a cabo en la mañana del 27 de enero de 2017, a las 7:38 AM, hora local, 11:38 UTC, en la ubicación Latitud/Longitud -5.3571/-57.2567 (Yvytu), San Bernardino, Paraguay [Kurita et al., 2017].

El tiempo total de vuelo fue de 5 horas aproximadamente. El apogeo se alcanzó en Latitud/Longitud -25.0/-57.7 aproximadamente, alcanzando una altitud máxima de 27.046 metros desde el suelo. Imágenes de diferentes altitudes, así como grabaciones de video fueron capturadas en esta misión. Las grabaciones de datos de vuelo, es decir, datos de posicionamiento global, presiones barométricas y temperaturas, se recuperaron de la tarjeta de memoria instalada en el registrador de datos de vuelo.

Un aporte importante de esta primera misión fue la validación de un software de predicción de aterrizaje, del vuelo espacial de la Universidad de Cambridge. Esta simulación demostró ser muy precisa en esta misión particular ya que coincidió con las dos Fuentes de Posicionamiento Global.

4. Estudio de factibilidad para una misión satelital en Paraguay

Este proyecto identificado como PINV15-1052 es financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de la República del Paraguay (CONACYT), con el Parque Tecnológico ITAIPU – Paraguay (PTI-PY) como la institución líder que para los fines del proyecto se encuentra asociada a la empresa INVAP (Sociedad del Estado) de Argentina.

El proyecto en particular se enfoca en una de las tecnologías transversales para el desarrollo de los sectores productivos, que es la tecnología de la información (IT) y se enmarca dentro de los desafíos tecnológicos asociados a la exploración espacial. En este contexto, se espera incentivar el progreso en investigación y desarrollo, entendiendo que la tarea de desarrollar proyectos en el campo aeroespacial le da al país nuevos conocimientos, sumados al progreso tecnológico-científico, con potencial aplicación a otras áreas, como se irá explicando en ese trabajo.

El desarrollo, la aplicación y el uso de las tecnologías espaciales desempeñan un papel destacado, en la medida en que permiten la generación de una industria organizada, la planificación territorial y el desarrollo tecnológico, además de promover nuevos horizontes científicos y tecnológicos, permitiendo ayudar al país para posicionarse internacionalmente en este campo.

Este proyecto busca obtener un estudio de factibilidad, con miras a generar futuros proyectos satelitales para el país, especialmente considerando el vacío que significa para el Paraguay ser el único país en Sudamérica que todavía no cuenta con su propio satélite.

4.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto PINV15-1052 es proporcionar una base de datos de información (*Estudio de Factibilidad*) que permita un análisis y evaluación de potenciales proyectos, para respaldar la posterior toma de decisión respecto a la

implementación de una misión satelital liderada por el gobierno de la República del Paraguay.

La actividad espacial tuvo un fuerte dinamismo en varios países de América Latina, donde se crearon nuevas instituciones, tanto en las áreas públicas como privadas, se desarrollaron satélites científicos y de comunicaciones, y nacieron muchas empresas basadas en este tipo de tecnología. Sin embargo, el sector aeroespacial en Paraguay difiere particularmente de dichos países de América Latina, principalmente porque en la actualidad no se desarrollan proyectos vinculados a esta línea tecnológica.

El contexto sudamericano descripto crea las condiciones propicias para avanzar hacia una mayor integración de los países en el sector espacial. Su complejidad e importancia estratégica requieren de acrecentar la cooperación multilateral para lograr una mayor autonomía del sector en la región. La importancia del avance en las tecnologías aeroespaciales se ha convertido en los últimos años, en una parte considerable del desarrollo de las naciones.

Lógicamente, se espera también que el referido proyecto PINV15-1052 promueva la capacitación de investigadores, profesionales y técnicos en este campo, facilitando la integración del Paraguay al contexto aeroespacial que se va creando en Sudamérica.

Por lo tanto, con base en los resultados esperados, la AEP posee una herramienta que le permitirá definir y ejecutar una política espacial para el Paraguay a través de la elaboración e implementación del programa nacional de actividades espaciales. Esto fomentará las tareas de investigación destinadas a la formación de grupos en múltiples disciplinas relacionadas directa o indirectamente con el área aeroespacial.

Asimismo, el proyecto en cuestión permite el acceso a la tecnología espacial y sus aplicaciones, conduciendo el desarrollo nacional en ingeniería avanzada e involucrando importantes campos del conocimiento para alcanzar una tecnología espacial nacional adecuada, promoviendo así mismo la transferencia de tecnología espacial para su aplicación en áreas vinculadas a este sector, como la agronomía, el mapeo de diversas regiones geográficas, la prospección minera, la meteorología, geología y el medio ambiente, la medicina, las telecomunicaciones, la defensa y la industria entre otras posibles áreas.

El proyecto beneficia así a las agencias gubernamentales y al sector privado, por ejemplo, mediante un programa de certificaciones. Otra ventaja de los resultados de este proyecto es la provisión de asistencia técnica para lograr lineamientos de calidad, así como la asistencia al gobierno en materia espacial, entre otras alternativas. Es por todo esto que el proyecto descripto espera aprovechar este primer paso en la inclusión del Paraguay al aprovechamiento de las tecnologías aeroespaciales.

4.2. Metodología propuesta

Para el desarrollo en sí de la metodología se decidió distribuir el Proyecto en tres paquetes de trabajo, donde el primer paquete de trabajo corresponde a las jornadas de intercambio de propuestas, para posteriormente, en el segundo paquete de trabajo, desarrollar el estudio de factibilidad propiamente dicho, apuntando al desarrollo de una

misión satelital, la cual contendría aspectos técnicos, programáticos y económicos, así como también conclusiones y próximos pasos a seguir en el proyecto.

Finalmente, en el tercer paquete de trabajo se pretende llevar a cabo la difusión del trabajo a través de presentaciones a los sectores interesados de la sociedad paraguaya, difundiendo las ventajas de incorporar al Paraguay en el contexto aeroespacial. Un esquema de la metodología propuesta se presenta en la Figura 1.

Por otra parte, se pretende con esta propuesta aprovechar los contactos internacionales generados a lo largo de la existencia del PTI-PY, logrando vínculos con empresas especializadas dedicadas a temas aeroespaciales y por sobre todo experimentadas en lo relativo a este tipo de proyectos. Es en este contexto que el PTI-PY se asocia a Investigaciones Aplicadas (INVAP) para este proyecto considerando que el INVAP cuenta dentro de su plantel con un equipo de profesionales con una vasta experiencia en la gestión de proyectos complejos, relacionados con la industria aeroespacial, habiéndose constituido como contratista principal en la ejecución de proyectos en el área. Entre sus fortalezas se destaca la capacidad de adaptar la solución propuesta, dándole especial importancia a las necesidades del cliente, involucrándose e interactuando fuertemente con el mismo, durante todas las etapas del desarrollo de los proyectos.

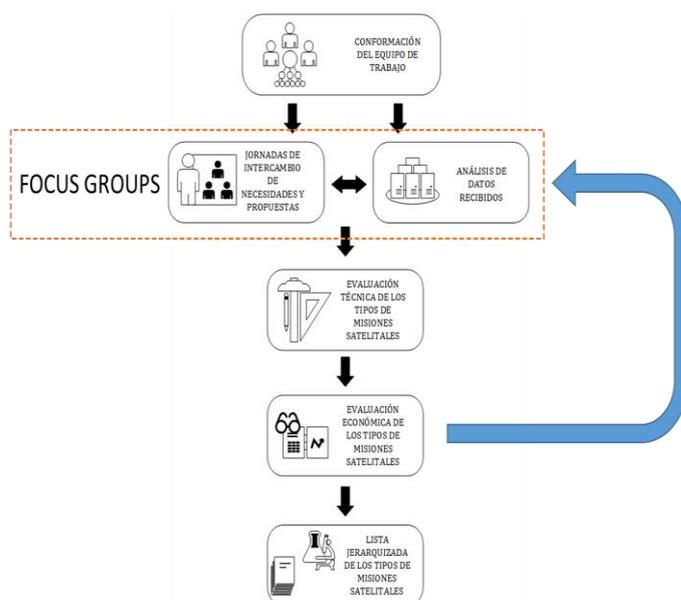


Figura 1: Metodología aplicada

Se plantea la realización de este trabajo de manera conjunta entre el PTI-PY e INVAP, que pone a disposición del proyecto su equipo de profesionales en las distintas áreas relevantes para conformar un esquema de ejecución multidisciplinario basado en la experiencia de haber desarrollado misiones satelitales de distinto tipo. Este estudio permite así conocer cuáles son las potenciales cuestiones a tener en cuenta para la ejecución de una misión espacial en el Paraguay, con un enfoque en los aspectos operativos, técnicos y económicos de una misión. En base a estas consideraciones, se obtiene una recopilación de datos relevantes sobre el potencial desarrollo de una misión

satelital en Paraguay, y con esto se apoya la toma de una decisión razonable en base al estudio desarrollado.

4.3 Acopio de necesidades - Jornadas de Grupos Focales

En la última semana del mes de octubre del año 2017 fueron realizadas tres jornadas de grupos focales del segmento de usuarios con el objetivo de recabar información sobre conjuntos de datos requeridos y sus posibles inter-relaciones, a ser obtenidas por censado remoto a partir de aplicaciones satelitales.

Se buscó evaluar las áreas de servicios de comunicación global e impacto económico y social, para finalmente evaluar la sinergia regional a partir de estas interacciones.

Fueron realizadas tres sesiones de grupos focales con diferentes usuarios a partir de talleres con especialistas de INVAP, además de una revisión bibliográfica y la identificación de potenciales usuarios de información satelital para definir las áreas de aplicación de tecnologías satelitales más relevantes para atender a las necesidades potenciales del Paraguay.

Así, las jornadas de grupos focales fueron desarrolladas según las siguientes áreas de aplicación:

Grupo Focal 1:

- Agricultura
- Recursos Naturales

Grupo Focal 2:

- Sector Forestal
- Gestión de Emergencias
- Gobierno Civil
- Navegación / Hidrología
- Defensa y Seguridad
- Meteorología

Grupo Focal 3:

- Telecomunicaciones

5. Resultados con grupos focales

5.1 Grupo Focal 1

Partiendo de las áreas de interés y de los segmentos de usuarios definidos en el apartado anterior, fueron identificadas las potenciales aplicaciones de servicios satelitales, obteniendo como resultado los siguientes sectores para el desarrollo de las aplicaciones potencialmente más relevantes:

5.1.1 Agricultura

Para el desarrollo de aplicaciones satelitales para este segmento de usuarios es necesario en primer lugar obtener datos fiables de no solamente los tipos, sino también la calidad, cantidad y ubicación de los recursos. La tecnología satelital ha sido un factor muy importante en la mejora de los actuales sistemas para adquirir y generar datos agrícolas y de recursos en este sector.

Los participantes de este grupo focal identificaron las siguientes necesidades de acuerdo a sus experiencias concretas y sus campos de desarrollo:

- Selección de tierras aptas para cultivo.
- Análisis de fertilidad de los suelos.
- Evaluación de extensiones aptas para cultivo.
- Gestión del proceso de producción.
- Clasificación de los cultivos.
- Monitoreo del estado de los cultivos.
- Mapas de rinde de producción.
- Predicción y evaluación de daños en cultivos (ambientales, plagas).
- Gestión de seguros por daños ambientales.

5.1.2 Recursos Naturales-Minería

Las imágenes satelitales y la fotografía aérea han demostrado ser herramientas importantes en el apoyo de proyectos de exploración minera. Su aplicación se presenta en una variedad de formas, principalmente en lo relativo a cobertura de vegetación a través de bloques de exploración y sobre áreas regionales, a partir de las siguientes aplicaciones:

- Actividades de prospección mediante estudios geológicos.
- Determinación de categorías de minerales y distribución de los sitios.
- Planificación y gestión de emplazamientos. Cartografía.
- Monitoreo de infraestructura durante el desarrollo de la explotación.
- Análisis de impacto ambiental.
- Monitoreo de proceso de remediación de sitios.

5.2 Grupo Focal 2

El siguiente grupo focal involucró a entidades tanto públicas como privadas dedicadas al área de Gestión de Emergencias, Gobierno Civil, Defensa y Seguridad, así como Meteorología.

Como resultado de esta jornada focal, se observó la necesidad de adaptación de aplicaciones satelitales en las siguientes áreas:

5.2.1 Navegación / Hidrología

La navegación y la hidrología pueden ser desarrolladas a partir de las siguientes aplicaciones:

- Análisis del flujo de agua.
- Mapas de escurrimiento y de drenaje.
- Mapas de inundación.
- Monitoreo de cuencas hidrológicas.

5.2.2 Sector Forestal

Las imágenes satelitales cubren un importante campo de aplicación, dada la posibilidad que tienen para observar los cambios ocurridos en la vegetación en tiempo real.

Estas imágenes han tenido una gran diversidad de aplicaciones en el sector forestal, sobre todo en la elaboración de la cartografía y la identificación de diversos tipos de bosques. Consecuentemente se detectaron necesidades en los siguientes campos:

- Monitoreo y control de reforestación en cursos de agua.
- Mapas de bosques. Cartografía.
- Monitoreo del estado de bosques.
- Control de actividades forestales. Reforestación y deforestación.

5.2.3 Gestión de Emergencias

La tecnología espacial tiene un gran potencial en la evaluación de daños causados por situaciones de emergencias. Frente a una emergencia, el tiempo es determinante y es indispensable actuar con rapidez. En ese sentido, las potenciales áreas de interés de los usuarios estuvieron enfocadas en:

- Prevención y alerta temprana de catástrofes (pronósticos meteorológicos y observación de la tierra).
- Monitoreo constante, evaluación de daños y localización.
- Incendio de bosques y pastizales.
- Inundaciones y sequías.
- Tornados.
- Monitoreo epidemiológico (dengue).

5.2.4 Gobierno Civil - Defensa y Seguridad

El espacio desempeña una función importante en el área de navegación y comunicación, proporcionando la infraestructura de información necesaria para la seguridad del territorio.

El uso de los satélites de comunicación, constituye la columna vertebral de muchas de las actuales necesidades de comunicación relacionadas con la seguridad. En este sentido, los participantes de este grupo focal resaltaron la necesidad de fomentar la utilización de tecnología satelital en los siguientes campos:

- GeoInteligencia. Recolección de información para agencias de inteligencia y fuerzas de seguridad.
- Análisis de amenazas y vigilancia antiterrorista.
- Monitoreo situacional en escenarios de crisis que requieran alta revisita e imágenes de alta resolución. Detección de cambios.
- Reconocimiento y seguimiento de blancos estratégicos: bases militares, aeropuertos, vehículos, aviones y embarcaciones.
- Detección de aeropuertos clandestinos.

Asimismo, se destacó la necesidad de contar con sistemas de telecomunicaciones para:

- Servicios satelitales móviles (MSS) encriptados.
- Datos móviles.
- Voz satelital móvil.

5.2.5 Meteorología

Los datos medioambientales en tiempo real apoyan los análisis de vulnerabilidad y riesgo mientras que los pronósticos del tiempo apoyan las decisiones que guiarán las operaciones de preparación, protección, respuesta y recuperación. Para el caso del Paraguay, fueron detectadas las siguientes necesidades en el campo de la meteorología:

- Monitoreo de las condiciones meteorológicas y elaboración de pronósticos meteorológicos.
- Imágenes de patrones meteorológicos y de tormentas severas.
- Sistema de alerta temprana de fenómenos meteorológicos.
- Pronósticos de intensidad y seguimiento de huracanes.
- Planificación de rutas de vuelo para la actividad aeronáutica.

5.3 Grupo Focal 3

La tercera jornada de los grupos focales estuvo enfocada al área de las telecomunicaciones. En esta ocasión, fueron partícipes las entidades públicas y privadas de esta área, incluyendo a los organismos encargados de la regulación de este sector.

Como resultado, se encontró la oportunidad de desarrollar aplicaciones satelitales en las siguientes áreas:

- Servicios de consumo masivo:
 - Televisión satelital.

- Radio satelital.
- Banda ancha satelital.
- Datos satelitales.
- Servicios satelitales dedicados:
 - Servicio de uso de transponders.
 - Servicio de Gestión de redes.
 - Servicios de gestión de misiones.
- Servicios satelitales móviles:
 - Datos móviles.
 - Voz satelital móvil.
 - Servicios de navegación global.

5.4 Factibilidad de misiones satelitales

Una vez detectadas las necesidades, y observados los requerimientos necesarios, fueron evaluadas las alternativas de misiones satelitales que satisfagan estos requerimientos, y que además brinden un beneficio tangible a la sociedad en general.

Así, como resultado del proyecto, se proponen dos misiones satelitales. La primera misión de observación de la tierra y la segunda Misión es de Uso Comercial del Espacio - Satélite de telecomunicaciones.

Se destaca que la importancia de contar con un satélite para el Paraguay radica en que brinda una herramienta importante para el desarrollo social y económico del país a partir de actividades científicas, de investigación, desarrollo e innovación tecnológica.

Por ello, las propuestas que tanto técnicamente como financieramente resultan factibles son las siguientes misiones satelitales:

5.4.1 Desarrollo y construcción de un satélite para observación de la tierra

A partir de los resultados obtenidos en las jornadas de grupos focales, se observó que el Paraguay es un país que está iniciando su desarrollo en el sector espacial considerando la relevancia de la información de origen espacial para el pleno desarrollo de sus actividades productivas y sociales, el monitoreo de los recursos naturales y el tratamiento de diversas problemáticas ambientales como: pesca, agricultura, minería, monitoreo de bosques y emergencias ambientales.

Además, el Paraguay tiene desarrollos primarios extensivos, considerable extensión geográfica, distribución desparramada de la población, es vulnerable a desastres naturales, y además necesita fomentar el desarrollo económico y su inserción regional. A pesar de esto, en la actualidad el Paraguay no aprovecha adecuadamente la tecnología espacial.

El desarrollo y construcción de un primer satélite paraguayo busca satisfacer las necesidades relevadas, las cuales forman parte de una misión satelital, junto con la

infraestructura de tierra y la capacitación de recursos humanos, que han sido identificados como un primer paso habilitante de futuros proyectos de tecnología espacial más ambiciosos y complejos.

En ese sentido, el siguiente desafío a encarar es el desarrollo y construcción de un satélite para observación de la tierra, de manera a obtener imágenes para su posterior procesamiento. Además, se prevé también la implementación de:

- un laboratorio de tecnologías de satélite; así como
- una estación terrena para la operación de satélites.

El aspecto fundamental de estas cuestiones es su complementariedad, de manera que individualmente podrían cumplir un propósito relevante, pero en conjunto logran un objetivo mucho más amplio.

Todos estos elementos, en conjunto, conforman la primera misión satelital del Paraguay, cuya finalidad primaria es la creación de capital humano e infraestructura orientada al uso de tecnología espacial para satisfacer necesidades sociales y económicas del país.

A partir de una evaluación primaria, se estudiaron 3 alternativas iniciales como posibilidad básica para una primera misión satelital. El detalle de las características de estos 3 posibles satélites es presentado en la Tabla 1, donde se resumen las principales características de las 3 alternativas de CubeSat (https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csl_i_cubesat_101_508.pdf) consideradas.

En primer lugar, se evalúa un CubeSat de 1U, el cual presenta el costo más bajo que se tomará como referencia, es decir, tendrá un costo referencial de una Unidad Financiera (1 UF). En este primer caso, el control del satélite está dado por un sistema B-DOT, el cual utiliza el magnetismo terrestre para su orientación [Capo-Lugo et al., 2013]. Para la estación terrena, se sugiere la utilización de un sistema UHF/VHF. La carga útil en este caso es simplemente un sistema de colecta de datos.

En segundo lugar, se considera un satélite de 3U, donde el costo es 1.5 veces el costo referencial de un CubeSat de 1U, ya que, en este caso, se propone un instrumento óptico para el estudio de la tierra; específicamente enfocado sobre Paraguay, capaz de brindar información sobre Geología, Agricultura y Ganadería, así como el sector forestal. En este caso, la carga útil sería una Cámara de Espectro Visible (VIS, del inglés Visible Camera), con una resolución espacial (GDS del inglés Ground Data Systems) de al menos 12 metros, con 5 bandas - RGB+B&W+NIR - (del inglés: Red, Green and Blue + Black & White + Near Infrared) y un ancho de barrido de 135 kilómetros. Al ser un CubeSat con prestaciones superior al CubeSat de 1U, la plataforma de servicios debe ser diferente al primer caso. En efecto, se evaluó la posibilidad de que el CubeSat cuente con control en tres ejes, ruedas de reacción, baterías y paneles solares desplegables. La estación terrena para el monitoreo y descarga de datos se sugiere sea similar al CubeSat de 1U.

Finalmente, la tercera alternativa presentada corresponde a un CubeSat de 6U, donde a diferencia del caso anterior, ya posee mejores prestaciones, por lo que la calidad de las imágenes y sus potenciales aplicaciones serían claramente superiores.

Tabla 1: Resumen de características de CubeSats evaluadas.

Tamaño	Plataforma de servicios	Carga útil	Costo [Unidad Financiera]
1U	Control simple B-DOT	Sistema colecta de datos	1 UF
3U	Control en tres ejes, Ruedas de reacción, Baterías y paneles solares desplegados	VIS Camera, RGB+B&W+NIR 12m GSD @500km, ancho barrido 135 km	1.5 UF
6U	Control en tres ejes, ruedas de reacción y Star Tracker, Baterías y paneles solares desplegados	VIS Camera, RGB+NIR, 470 a 900 nm 6 m GSD @500km, ancho barrido 80 km Cámara Hiperespectral 40m GDS, con 20 bandas	3.4 UF

Esta alternativa es 3.4 UF, más costosa que una de 1U, ya que se evaluó la posibilidad de dotarla con una Cámara *VIS* de resolución espacial (GDS) 6 a 8 m, 4 bandas -RGB y NIR- y un ancho de barrido de 80 kilómetros y; una cámara hiperespectral con resolución espacial (GDS) de 40 m, con 20 bandas.

La plataforma de servicios ubicada en el satélite contaría con control en los tres ejes, ruedas de reacción y StarTracker, baterías y paneles solares desplegados. La estación terrena para este tipo de satélite será equipada con instrumentos de Banda S y Software de Control Automático de pasada.

Se destaca que las 3 alternativas, al ser CubeSats, se ubicarán en una órbita baja terrestre, es decir, serían satélites del tipo LEO (*Low Earth Orbit*).

Para este caso, posterior a la evaluación técnica y económica, se propone la construcción de un satélite de 6U (Seis Unidades), capaz de alojar como carga útil dos poderosas cámaras, una de ellas de alta resolución y la segunda, una cámara hiperespectral única a ser desarrollada para el proyecto. Estas cámaras, presentan una muy buena relación Precio/Prestaciones. La Cámara de Alta Resolución (la cual es una tecnología madura), es una herramienta fundamental para la gestión sustentable de recursos naturales y remediación ecológica.

A su vez, la cámara hiperespectral (una tecnología novel con un gran potencial de aplicación), es en este momento materia de investigaciones científicas y aplicadas para materializar las aplicaciones y pasar a la fase de uso extendido.

Además, el objetivo de esta misión es la de formar capacidades y avanzar en el desarrollo de infraestructura para el control de esta y otras misiones a ser desarrolladas en el futuro.

El análisis económico de esta misión se resume en el siguiente Modelo de Inversión:

La construcción del satélite requerirá de una inversión total de USD 2.500.000, a ser erogado en un plazo de 3 años. Además, para el funcionamiento y control del satélite se estiman gastos de Operación y Mantenimiento de USD 300.000 mientras dure la vida útil de la misión satelital. Esto da una erogación total a 3 años de USD 2.800.000, lo cual, actualizado al Valor Actual Neto (VAN), considerando una tasa de retorno del 12%, brinda una erogación total de USD 2.738.134.

Si se compara con el servicio a proveer imágenes satelitales de todo el Paraguay, por lo menos una vez por año, es decir si se obtienen ingresos por la venta de las imágenes generadas, se espera que el costo de construcción del satélite sea por lo menos igualado por el valor de ventas de estas imágenes, es decir que el VAN, muestra una leve ventaja financiera a favor del modelo de construcción del satélite de observación de la tierra.

Bajo estas condiciones, el proyecto resulta ser Factible, tanto Técnica como Financieramente, ya que en el Modelo de Inversión, el Conocimiento, los Desarrollos, la infraestructura y el Capital Humano quedan en Paraguay. Con todo esto, cabe enfatizar que en el Modelo de Pago por Uso no es necesario un desembolso importante de capital al inicio del Proyecto.

5.4.2 Planificación para la construcción del satélite de observación

El proyecto propuesto, a priori prevé la construcción simultánea de las partes con la participación de profesionales paraguayos bajo la dirección técnica de INVAP.

Como ejemplo, en Paraguay se construiría la plataforma de servicio y se realizarían los ensayos funcionales de la plataforma. Una vez concluidos satisfactoriamente estos ensayos, la plataforma se transportará a los laboratorios de INVAP en Bariloche para su integración con las cargas útiles.

Mientras se construye el satélite en Paraguay, se desarrollarían las cámaras en el laboratorio de óptica de INVAP, con la participación de profesionales y técnicos de Paraguay. Este personal de Paraguay también participaría en la integración de las cámaras al satélite, lo que se espera realizar en el laboratorio de integración de satélites de INVAP. Así mismo, los profesionales paraguayos participarían en los ensayos ambientales a realizar en el Centro de Ensayos de Alta Tecnología en INVAP.

Una vez calificado el satélite satisfactoriamente, se lo transportará al sitio de lanzamiento, donde un equipo conjunto llevará a cabo la campaña de lanzamiento.

Se estima que el desarrollo, construcción y prueba de este satélite, llevaría un tiempo de 24 meses (8 trimestres), detallándose las principales actividades en la Figura 2.

Tareas	Plazo							
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 5	Trimestre 6	Trimestre 7	Trimestre 8
Desarrollo de satélite								
Ingeniería Básica: Requerimientos de la misión, diseño de arquitectura.								
Especificaciones técnicas de componentes								
Proceso de Adquisiciones								
Recepción de componentes								
Ingeniería de detalle								
Trámites relacionados con aspectos regulatorios								
Contratación de servicio de lanzamiento								
Integración, puesta en marcha y ensayos de subsistema de potencia								
Desarrollo de software del satélite								
Integración, puesta en marcha y ensayos de computadora de abordaje								
Integración, puesta en marcha y ensayos de subsistema de comunicaciones								
Ensayos y configuración de Subsistema de control de apuntamiento								
Integración del Modelo de Vuelo								
Ensayos funcionales Modelo de Vuelo								
Ensayos funcionales modelo de ingeniería y segmento terreno								
Desarrollo del sistema óptico								
Ingeniería Básica de las Cámaras								
Selección de los componentes de las cámaras								
Proceso de Adquisiciones								
Recepción de componentes								
Espacialización de componentes electrónicos								
Desarrollo de componentes								
Integración de cámaras y ensayos funcionales								
Ensayos ambientales específicos								
Caracterización de y calibración en laboratorio								
Integración de las cámaras en el satélite								
Ensayos ambientales Modo de Vuelo								
Campaña de Lanzamiento								

Figura 2: Cronograma para el proyecto de satélite de 6U para Observación del territorio paraguayo

5.4.3 Misión de uso comercial del espacio - Satélite de telecomunicaciones

A partir de los grupos focales, se pudo identificar la necesidad de disminuir la brecha digital existente entre las distintas poblaciones a nivel nacional. Esta brecha digital se percibe principalmente en el interior del país, debido a la distancia que los separa de los principales centros urbanos, no cuentan con un servicio de comunicación aceptable.

También fueron evaluadas las capacidades locales referidas tanto para el capital humano como para el despliegue de la infraestructura, actividades de suma importancia para el desarrollo de una misión satelital inicial.

Una vez detectadas las necesidades, y observados los requerimientos necesarios, fueron evaluadas las alternativas de misiones satelitales de telecomunicaciones que satisfagan estos requerimientos, y que además brinden un beneficio tangible a la sociedad en general.

Así, como resultado de las reuniones de Grupos Focales y del análisis del Plan Nacional de Telecomunicaciones 2016-2020 y del Plan de Desarrollo Paraguay 2030, fueron identificados los siguientes objetivos:

- brindar cobertura en todo el Territorio Nacional;
- mejorar la Conectividad y Calidad de los Servicios;
- reducir el Precio a los Usuarios;
- disminuir Brecha Digital;
- generar Mayor Inclusión Social;

Para alcanzar estos objetivos, se propone la implementación de un satélite de telecomunicaciones, hecho a medida para las necesidades relevadas a partir de las entrevistas con los principales actores y posibles beneficiarios.

En ese sentido, se propone el desarrollo de una misión del tipo HTS (*High Throughput Satellite*) o satélite de alto rendimiento.

Con el mismo, se podrá brindar una cobertura a 60.000 usuarios (función del Mix de Productos), lo cual estaría abasteciendo a más de 1.600.000 personas, con una alta calidad, ya que se brindará una Banda Ancha Satelital @ 10 Mbps (por usuario promedio).

Este satélite tendrá capacidad para brindar entre 13 y 16 Gbps de Servicio sobre Paraguay (ver Figura 3). Se destaca que la vida útil del satélite es de unos 15 años, y el recupero de la inversión se logrará en 5 años (1/3 de su vida útil).

De manera preliminar, se propone que la carga útil de este satélite tenga las siguientes características:

- DVB-S2X standard (Digital Video Broadcasting).
- 1 antena Ka Band con 1.8m diametro
- 13 Spot beams (Ancho de banda del Gateway Incluido)
- Consumo aproximado de la carga útil: 1.5 kW.
- Capacidad disponible para colocar una segunda antena para broadcasting en banda Ku.
- Ancho de haz de spot 0.43°
- User Terminal 1 m o 75cm.
- Antena del Terminal Gateway 7m.

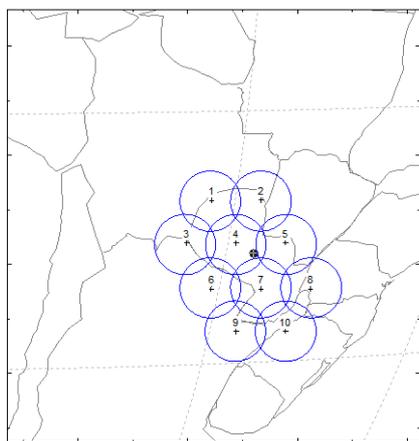


Figura 3: Cantidad de haces (solo referencial) necesarios para iluminar la totalidad del territorio nacional.

5.4.4 Planificación para la construcción del Satélite GEO

Con la información del Mercado Objetivo se define la Misión, que consiste en un conjunto de iteraciones en las que se van depurando las características técnicas y requerimientos finales que deberá cumplir el satélite, como se resume a continuación.

- Definición de Requerimientos de Misión y Generación de Propuesta Técnica: Programa de trabajo conjunto entre los referentes de Paraguay y de INVAP.
- Compras: Se lanza el proceso de compra de todos los elementos que se requieren para la fabricación del Satélite, así como elementos de soporte a la Integración y Ensayos. Los tiempos de entrega son diferentes entre unidades y suelen condicionar los procesos de fabricación e integración, por lo que resulta necesario definir cuanto antes las compras y proceder de inmediato a realizarlas.
- Fabricación de Componentes: Se procede a producir y ensayar los componentes del Satélite y elementos asociados de manera individual.
- Integración y Ensayos: Se procede a ensamblar las partes y ensayarlas, primero de forma parcial (a nivel subsistema) y luego como un conjunto (sistema integrado).
- Campaña Ambiental: Una vez integrado y ensayado el sistema completo a nivel funcional, se procede a hacer la Campaña de Validación de vida en el espacio exterior (Termo-vacío), de Vibraciones y Presión acústica que deberá soportar en el lanzador (Shaker y Acústico) y de Compatibilidad Electromagnética (EMI-EMC). Al final de esta campaña se puede empaquetar y enviar al sitio de lanzamiento.

Se estima que el desarrollo, construcción y prueba de este satélite, llevaría un tiempo de 36 meses (12 trimestres), detallándose las principales actividades en la Figura 4.

Tareas	Plazo											
	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4	Trim 5	Trim 6	Trim 7	Trim 8	Trim 9	Trim 10	Trim 11	Trim 12
Desarrollo de satélite												
Tareas Previas												
Estudio del mercado paraguayo	■											
Definición del mercado objetivo (Productos y servicios, Zonas de Cobertura, Tecnologías)		■										
Construcción del Satélite GEO												
Requerimientos de la misión y Propuesta Técnica			■									
Proceso de Adquisiciones				■								
Recepción de componentes					■							
Fabricación de componentes						■						
Integración y Ensayos							■					
Campaña Ambiental								■				
Campaña de Lanzamiento												
Lanzamiento												■
Segmento Terreno												
TT&C (Telemetry, Tracking & Control)								■				
Gateway									■			

Figura 4: Cronograma referencial del proyecto de un Satélite Geoestacionario paraguayo para servicios de telecomunicaciones

6. Conclusiones

En el marco de las actividades científicas, a través del desarrollo de un satélite de observación de la tierra, se obtendrán imágenes detalladas de la superficie del Paraguay. A partir del adelanto tecnológico que ofrece a los gobiernos y particulares la tecnología satelital, es posible transmitir información a gran escala, lo cual puede traducirse en beneficio económico para el país.

El beneficio de uso de las tecnologías satelitales de telecomunicaciones radica en que la población disfruta de sus beneficios desde el punto de vista de la conectividad, obteniendo una comunicación segura, confiable y a menor costo, destacando además

que el desarrollo de estas misiones satelitales permite que el conocimiento, los desarrollos, la infraestructura y el Capital Humano queden en Paraguay.

A partir de los grupos focales descritos, se realizó la evaluación de la información destacada que permite al proyecto avanzar en el cumplimiento de sus objetivos.

Se detectó que además de las aplicaciones satelitales potencialmente desarrollables, se deben cubrir otros aspectos fundamentales para el desarrollo de la primera misión satelital del Paraguay. Entre estos se destacan:

- el desarrollo del capital humano y la infraestructura necesaria;
- el uso comercial del espacio;
- integración regional; así como
- la gestión sustentable de recursos naturales / remediación ecológica.

Es importante señalar que, en la actualidad el Paraguay está iniciando el desarrollo de capital humano dedicado a proyectos satelitales, lo cual permitirá en el corto tiempo el desarrollo de una misión satelital. En consecuencia, se pretende desplegar una misión espacial completa, incluyendo:

- segmento espacial (satélite) y selección del vehículo lanzador;
- segmento terreno (Centro de Control de Misión); así como
- segmento usuario (Aplicaciones).

Con el objetivo de fortalecer el desarrollo de capacidades locales, tanto para el capital humano como para el despliegue de la infraestructura necesaria, se hace necesaria la integración de las fuerzas vivas obrantes en los distintos centros de formación como ser: el Parque Tecnológico ITAIPU – Paraguay, la Agencia Espacial del Paraguay, así como las Universidades y Centros de Investigación.

El desarrollo de una misión satelital abarca una serie de procesos con fortalecimiento de la capacidad de los recursos humanos involucrados para dedicarse en tareas como:

- Ingeniería de la misión y del satélite.
- Proceso de compras.
- Desarrollo del software de Comando y manejo de datos.
- Desarrollo del software de Comando y manejo de datos de la Estación terrena.
- Proceso de integración.
- Proceso de Verificación y Validación.
- Campaña de lanzamiento.
- Operación.
- Aplicaciones de productos de la misión.

Así, como parte componente de las distintas misiones satelitales, los técnicos nacionales deberán tener en cuenta los siguientes elementos:

- Comando y manejo de datos (Hardware y Software).
- Control de apuntamiento.
- Comunicación y antenas.
- Paneles solares y sistema de potencia.
- Estructura / Pod de lanzamiento.
- Cámara.
- Estación terrena.
- Equipo de apoyo en tierra.
- Entrenamiento y simuladores.

Además, a partir de las jornadas de grupos focales, se verificó el interés de los diversos actores nacionales en contar con un satélite que permita satisfacer sus necesidades comerciales. Por ejemplo, por parte de las empresas vinculadas al sector de telecomunicaciones se discutió sobre la oportunidad de contar con un satélite geo-estacionario de telecomunicaciones. Así mismo, se analizó los distintos servicios que estas entidades vienen prestando y que podrían ser optimizados optando por una tecnología satelital, mejorando costos, como por ejemplo con el servicio de Televisión por IP (IPTV) y la Televisión Satelital entre otros potenciales servicios.

En ese sentido, con el uso comercial del espacio, es posible lograr los siguientes objetivos:

- brindar el servicio comercial de comunicaciones;
- proveer un servicio de conectividad confiable y perdurable a los sectores estatales en todo el territorio del Paraguay;
- se lograría una asociación público – privada con sinergia; así como
- el desarrollo de la infraestructura de tierra y espacial.

Como el rendimiento de una misión satelital de estas características no es lo suficientemente atractivo para el sector meteorológico, se pretende integrar al Paraguay en el proyecto del *Satélite Meteorológico Regional*, logrando con esto la sinergia e integración regional. Para esto, las informaciones relevadas en los grupos focales muestran que:

- Latinoamérica está en una situación de dependencia con respecto al uso de datos meteorológicos.
- Estos datos son imprescindibles para el desarrollo social y económico de una nación moderna.
- Además, los datos satelitales se vuelven críticos para el manejo de emergencias.
- Sumar a Paraguay al proyecto de satélite meteorológico regional que están impulsando la mayoría de los países de la región resultaría sumamente atractivo.

Asimismo, en cuanto al área de recursos naturales, se detecta que existen oportunidades y necesidades que requieren una acción en el corto plazo.

Finalmente, en este trabajo se presenta una planificación en etapas para la construcción de un satélite LEO de 6U y un Satélite GEO, desarrollado de acuerdo a las necesidades recabadas durante la realización de los Grupos Focales. Dada la envergadura de este proyecto, en este proyecto se describen las etapas y los tiempos estimados estadísticamente a fin de alcanzar el objetivo de que el Paraguay pueda disponer de su satélite propio

Referencias

Informe Económico (2013, Dic.). Banco Central del Paraguay. Asunción, Paraguay. [En línea]. Disponible: https://www.bcp.gov.py/userfiles/files/Presentacion_Cierre_preliminar_2013vf.pdf

Pueblos originarios, biografía. Buenaventura Suárez (2017). <http://pueblosoriginarios.com/biografias/suarez.html>

Vielman, L (2014). Génesis de la AEP. Agencia Espacial del Paraguay. Primera edición.

Sreejith A.G., Mathew J., Sarpotdar M., Mohan R., Nayak A., Safonova M., Murthy J. (2014) A Raspberry Pi-Based Attitude Sensor. *Journal of Astronomical Instrumentation*, 3, 1440006: 1-10.

Buzarquis E., Amarilla A., Kurita J., Barán B. (2017) Space exploration in Paraguay: The first satellite mission, a historical review. 1st IAA Latin American Symposium on Small Satellites: Advanced Technologies and Distributed Systems. Marzo 7 - 10, 2017. San Martín, Buenos Aires, Argentina.

Kurita J. H., Jara A., Kanazawa F., Vielman L. (2017) An Overview of the First Paraguayan Near Space Exploration Using a High Altitude Balloon. Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción.

Capo-Lugo P., Rakoczy J., Sanders D. (2013). The B-dot Earth Average Magnetic Field. NASA Technical Report Server. NASA Marshall Space Flight Center; Huntsville, AL, Estados Unidos.