

3. ARTÍCULOS SELECCIONADOS EN CONVOCATORIA 2021

3.1

CUBESATS: Aproximaciones, desafíos y utilidades

Por Esp. Lic. Abelaira, Anabel y TT SCD Karner, Claudio Daniel

Resumen

El siguiente artículo busca sondear el estado de la cuestión en el desarrollo de CubeSats (nanosatélites) y conocer las diversas tecnologías disruptivas que este mercado habilita; como Woodsat y RainCubes. Se analizará también cómo este terreno en disputa, atravesado por la geopolítica y la coyuntura, puede inscribir a las Fuerzas Armadas dentro de las prospectivas de esta nanotecnología.

PALABRAS CLAVE: CubeSat, Fuerzas Armadas, Geopolítica, RainCube, Woodsat

FECHA: 4 de agosto de 2021

TIPO DE TRABAJO: Artículo sobre tecnologías estratégicas, emergentes y/o disruptivas

EJES TEMÁTICOS: 3, 4 y 5

“La dificultad es una excusa que la historia nunca acepta”
John F. Kennedy

Introducción

Un antiguo axioma reza que, en momentos de crisis, se responde con lo que se tiene. La propuesta del siguiente artículo entonces, busca explorar cuán pertinente y plausible será contar en el haber de las Fuerzas Armadas (FFAA) con un Cubesat de desarrollo vernáculo y militar, para afrontar los

desafíos y problemáticas que instaura la geopolítica actual, en consonancia con FFAA más ágiles y profesionalizadas en el uso de tecnologías innovadoras, sus usos y alcances.

Abordamos la siguiente producción complejizando sobre el ecosistema Cubesat y sobre qué perspectivas habilitan en relación a las FFAA. A tal fin, proponemos repensar este recorrido a la luz de la metodología para el replanteamiento estratégico de Oxford¹, esto es, diseñar escenarios en el futuro de algo -no predecirlos-, para alguien, con un propósito y uso determinado, para delinear luego campos de acción y observar las oportunidades y peligros que el futuro pueda deparar. Estudio prospectivo desarrollado para las condiciones TUNA, por sus siglas en inglés: Turbulence, Uncertainty, Novelty, Ambiguity, esto es; turbulencia, incertidumbre, novedad y ambigüedad. Por lo que esta metodología trabaja con el futuro para el presente. En definitiva, no vamos hacia el futuro sino que el futuro es porvenir, avanzando hacia nosotros. Por ello, creemos que el desarrollo de un Cubesat, en el marco de un esquema de I+D (Investigación y Desarrollo) dentro de las Fuerzas, responderá de manera estratégica a necesidades en ciernes, incrementando los aprendizajes y saberes, permitiendo la divulgación científica del propio proceso e instaurando un nuevo hito.

¿Por qué CUBESATS?

Hacia fines de la década del 90 se comienza a elucubrar el primer desarrollo del tipo CubeSat entre la Universidad Politécnica Estatal de California y la Universidad de Stanford. Los CubeSats se encuentran inscriptos dentro de los nanosatélites, esto es; un satélite que pesa menos de 10 kilos. Por propiciar el acceso al espacio a un vasto espectro de actores, tales como investigadores, instituciones educativas y científicas, pequeñas empresas y el sector público, es que los CubeSats se han convertido en una interesante innovación en el sector espacial. Dichas plataformas se están utilizando para varias aplicaciones espaciales, como educación, teledetección terrestre, sensado remoto, ciencia y defensa.

En este sentido, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) continúa el desarrollo de un CubeSat, que se transformará en el primer satélite universitario argentino de este tipo en entrar en órbita alrededor de la Tierra. Su primera misión consistirá en la demostración de técnicas con GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), usadas en estudios atmosféricos y del suelo. Este proyecto llamado "Satélite Universitario" consagrará al primer desarrollo de la generación de los CubeSat, realizado íntegramente en el ámbito de una universidad. El objetivo de esta iniciativa es la realización del diseño, construcción, ensayos e integración de satélites pequeños (SmallSats) en instalaciones de la universidad. A su vez, el proyecto prevé la formación de recursos humanos en relación a las tecnologías espaciales.²

Estos trayectos nos permiten forjar escenarios similares dentro de las Fuerzas con fuerte impacto en el campo de la investigación, diseño, ensayo, desarrollo y producción de conocimiento, que se traduce en fortalecimiento de saberes y en los procesos educativos concatenados para fomentar la investigación espacial.

Pero otra variable incide en la importancia de un proceso de I+D de CubeSats; la geopolítica. Entendiendo a ésta como la ciencia que estudia la influencia de los condicionantes espaciales en la vida y los objetivos de los estados. Al ser medio para lograr objetivos políticos, no sólo posee una tarea prescriptiva sino también dinámica; ya que no sólo son cambiantes los escenarios, sino también las alianzas, las amenazas y hasta los propios objetivos políticos. La geopolítica se ocupa principal-

1 Para mayor información sobre la Metodología de Replanteamiento Estratégico de Oxford visitar <https://www.sbs.ox.ac.uk/programmes/executive-education/campus-open-programmes/oxford-scenarios-programme> Webinario disponible del Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación de la Nación.

2 Fuente: "El sueño del satélite propio, cada vez más cerca." Universidades Hoy, 7 de mayo de 2021. Recuperado de: <https://universidadeshoy.com.ar/nota/71378/el-sueno-del-satelite-propio-cada-vez-mas-cerca/>

mente de cómo se debe aprovechar la geografía para aumentar la seguridad, entre otras funciones. Las implicancias de los problemas geopolíticos están relacionados directamente con los objetivos estratégicos nacionales e íntimamente ligados tanto con el perfil productivo de un país, como con sus políticas de Defensa nacional (Berazategui, 2021).

Siguiendo esta línea, por las amplias capacidades que poseen los satélites de radar de apertura sintética (SAR) -en nuestro caso los SAOCOM 1A y SAOCOM 1B-, su información pública podría optimizarse junto con futuros desarrollos de CubeSat. Dado que estos son mayoritariamente satélites ópticos, se enraízan en fuentes confiables para información. La fusión de información geoespacial con otras fuentes la convierte en inteligencia geoespacial (GEOINT). La GEOINT coadyuva a que los usuarios militares de esta tecnología puedan planificar, por ejemplo; misiones militares. La mayoría de los satélites en órbita en la actualidad son comerciales, lo que dificulta que sean asequibles a las Fuerzas Armadas, o que estas puedan asegurarse obtener la imagen del satélite deseada, en el área y en el momento correctos. Además, es crucial contar con ciertos conocimientos previos sobre satélites para poder ordenar y dotar de sentido a las imágenes. Estos desarrollos ayudarán al sector castrense a tener un conjunto de herramientas para traducir la solicitud de información requerida en datos satelitales, localizar proveedores que puedan entregar estos, extraer características de ellos y combinar estas características con productos de información que incluyen fusionarse con otras fuentes, para entregar la información en estándares que son de uso común en los sistemas militares. Ejemplo de convergencia entre cooperación, condicionantes geopolíticos y GEOINT encontramos en el Programa SMART MILSpace; este es un proyecto en el que Noruega y los Países Bajos colaboran estratégicamente en la investigación y tecnología espacial militar y en el uso militar del espacio. Para ello, encargaron dos nanosatélites que volarán en órbita polar LEO (*Low Earth Orbit* -órbita terrestre baja-) en tándem -comparten misma órbita en proximidad, en este caso habrá una separación de 15/25 km- y podrán cubrir cualquier punto de la tierra al menos cuatro veces en un día. Estos nanosatélites buscan demostrar el concepto de un sistema de monitoreo de espectro basado en el espacio para geolocalizar las señales de radar. En este sentido, es el primer sistema conocido de dos satélites que detecta, clasifica y geolocaliza con precisión las señales de radiofrecuencia, incluidos los radares de navegación utilizados en barcos, combinando el ángulo de medición de llegada (AoA) y la diferencia horaria de llegada (TDOA). La detección simultánea de señales de radio, pulsadas por ambos satélites que vuelan en tándem, permite una geolocalización precisa durante todas las condiciones climáticas.³

Esta experiencia de cooperación también permitirá captar señales de radar de navegación del tráfico de barcos. El objetivo es obtener una mejor visión general del tráfico en aguas noruegas, incluidos aquellos que no quieren ser descubiertos, de esta manera ambos nanosatélites podrían utilizarse para capturar diversos tipos de señales de radar, tanto de áreas marítimas como terrestres.

En territorio nacional encontramos profusas situaciones donde el trackeo a estos barcos, que no desean ser vistos, pueda funcionar, en pos del resguardo de la soberanía nacional. La tecnología espacial bajo la órbita de las Fuerzas Armadas sería un excelente insumo de control y defensa.

Aproximaciones a los cubesat: breve dossier

Los satélites suelen nombrarse según sus funciones. En base a la posición orbital que ocupan, el tamaño, masa y carga útil que detentan, varían las especificaciones de los servicios que pueden ofrecer, a saber: estudios sobre fenómenos climáticos que impactan en la tierra, insumo para servicios

³ Fuente: "MILSpace2 Spectrum monitoring dual satellite system". Instituto de Investigaciones de las Fuerzas Armadas Noruegas. Disponible en: <https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/milspace2-bros.spectrum-monitoring-dual-satellite-system>

de seguridad, inteligencia o militares, análisis prospectivos para minería espacial; investigaciones astronómicas del universo, informes meteorológicos, servicios en el área de las telecomunicaciones (telefonía, internet, datos, radio, televisión, etc.) o GPS para la navegación de vehículos terrestres, aviones y misiles (trackeo). La versatilidad de la tecnología satelital y los formidables avances los hacen ser tan grandes como la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés) o tan pequeños como un cubo *rubik*. De esta manera podemos catalogar los satélites según su masa:

1.1 TIPOS DE SATÉLITES. CUADRO DE ELABORACIÓN PROPIA

TIPO DE NAVE	PESO	EJEMPLOS
SATÉLITES GRANDES	+ de 1.000 kg	ARSAT-SAOCOM 1A- 1B
SATÉLITES MEDIANOS	500-1.000 kg	GETSAT 14
SATÉLITES PEQUEÑOS	100-500 kg	SAC B- SAC C
*MINISATÉLITES		
*MICROSATÉLITES	10-100 kg	El SunCube para la observación sinóptica multispectral del sol. Recientemente aprobó la fase de evaluación técnica. ⁴
*NANOSATÉLITES	1-10 kg	CubeSat : fomentan un acceso democratizador y económico al espacio, dado que pueden lanzarse desde una gran variedad de cohetes, lanzadores o desplegarlos desde la ISS. Su desarrollo conlleva plazos más cortos.
*PICOSATÉLITES	-1 kg	PacketQubes : menos de 250g TubeSats : menos de 750 g. El kit incluye el software y hardware necesarios, paneles solares y baterías, antenas de comunicaciones y hasta un microcontrolador. ThinSat : 280gr. Desarrollo para escuelas, ⁵ días de vida útil en órbita y no genera <i>space debris</i> .
*FEMTOSATÉLITES	-100 gr	Diseño de estudiantes de Sastra University (India) para NASA

Los CubeSats se basan en la unidad estándar de CubeSat, que es una estructura en forma de cubo de 10x10x10 centímetros con una masa de aproximadamente de entre 1 y 1,33 kg. Esta unidad es llamada 1U. Así, por ejemplo; el proyecto "*Satellite Universitario*", mencionado en el apartado anterior, busca desarrollar cinco CubeSats, con un máximo de 20 kilogramos y "seis unidades". Es decir, que seis unidades equivalen a 10 centímetros x 20 centímetros x 30 centímetros; en una configuración 1U x 2U x 3U. La estandarización de los CubeSats abre las puertas al uso de componentes electrónicos comerciales, lo que permite escoger multitud de proveedores de tecnología. Como resultado, los proyectos de ingeniería y de desarrollo de

CubeSats presentan costes sensiblemente inferiores al de otro tipo de satélites. En adición, mientras un satélite grande es producto de años de investigación y diseño, un CubeSat puede estar en órbita en menos de un año, desde que se decide su construcción o integración. Mientras que los satélites de mayor porte no pueden estar actualizados continuamente cuando emerge una nueva oportunidad tecnológica o de mercado, los CubeSats permiten renovar una constelación y permanecer a la vanguardia.

El número de publicaciones técnicas-científicas y el aumento de patentes relacionados con CubeSats son indicadores que demuestran un interés global inusitado, relacionado con el uso de estos para abordar diferentes necesidades; como la detección remota de la Tierra, las aplicaciones científicas, la logística, el desarrollo del IoT (Internet de las cosas), la geolocalización y el monitoreo de señales de radio.

Curiosamente, los CubeSats están siendo desarrollados para proporcionar servicios de observación de la Tierra por compañías privadas. Sin embargo, una de las ventajas de su arquitectura

⁴ Fuente: "La proposta del microsatellite SUN CUBE ONE (SEE), dedicato all'osservazione sinottica multispettrale del sole, presentata in risposta al bando "Future Missioni per CUBESAT" dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha superato la fase di valutazione tecnica". 21 de abril de 2021. Recuperado de: <https://web.uniroma1.it/scuolaingegneriaaerospaziale/en/archivionotizie/sun-cube-one-see-micro-satellite-multispectral-synoptic-observation-sun-see-mission>

abierta y estandarizada es que brinda oportunidades a desarrolladores para producir rápidamente sistemas espaciales. No sólo llegaron para democratizar el acceso al espacio, al dotar de oportunidades a actores otrora relegados, sino que, por su miniaturización y la posibilidad de lanzarlos en constelaciones, los costes son más bajos. Una vez que la nave está lista para operar se pone a orbitar y para ello se puede compartir entre varios propietarios; el uso de cohetes de agencias, lanzadores privados, o hasta recurrir a la ISS. La facilidad de cargar varios en vehículos espaciales deviene de su escaso volumen y peso. No obstante, la irrupción global de microlanzadores volvió muy competitivo los costos de lanzamiento, ya que estos están dedicados exclusivamente a la puesta en órbita de esta nanotecnología. En nuestro país, una empresa en pleno auge como LIA Aerospace, enfoca su plan de trabajo al servicio de lanzamiento de pequeños satélites y para esto planea desarrollar un vehículo diseñado para este mercado. En el marco de proyectos ambiciosos y multidisciplinarios, se encuentran, junto con ingenieros del ITBA (Instituto Tecnológico de Buenos Aires), en etapa de investigación de una plataforma voladora, capaz de probar sistemas de control y estabilidad de cohetes de vuelo⁵.

Los nanosatélites se lanzan en órbitas LEO (400 – 650 kilómetros de altura) y viajan a unos 8 kilómetros por segundo. A esa altura y velocidad, tardan unos 90 minutos en dar una vuelta a la Tierra para completar un total de entre 14 a 16 órbitas por día. Al orbitar en LEO, el *Footprint* -o pisada del satélite- esto es; el área donde tendrá cobertura, será mucho menor que los satélites grandes que operan en GEO (órbita geoestacionaria, a 36.000 kilómetros de la Tierra) o MEO (órbita media terrestre, a 8.000-20.000 kilómetros de la Tierra). No obstante, la potencia necesaria para emitir, al estar en una órbita baja, será menor.

Por orbitar más cerca de la Tierra, los nanosatélites no solo tienen condiciones óptimas para observación terrestre o comunicaciones, sino que están más protegidos de la radiación solar y cósmica. Finalmente, cuando se acerca el fin de su vida útil, vuelven a la atmósfera y se desintegran.

Después de varios años y cientos de misiones lanzadas, es indiscutible que los CubeSats son más que excelentes plataformas para la demostración de tecnología educativa de bajo costo y posibilitadores de producir ciencia de alta calidad. Son satélites capaces de ofrecer perspectivas formidables para llevar a cabo misiones científicas reales, así como comerciales de alto valor. Si bien es impensado que ellos puedan reemplazar por completo las grandes naves tradicionales, indudablemente pueden complementar misiones más complejas, sobresalir en aquellas más específicas y crear nuevas capacidades revolucionarias. Una compañía argentina líder en el rubro y en la exploración de estas capacidades como Satellogic, hoy cuenta con presencia en todo el mundo.

Los CubeSats podrían potencialmente habilitar una futura red de estaciones meteorológicas espaciales, que hará avanzar nuestro conocimiento sobre fenómenos meteorológicos espaciales y, en última instancia, mejorar nuestras capacidades para predecir mejor los efectos peligrosos del clima espacial en las infraestructuras (Poghosyan et.al, 2017).

Entre las ventajas de participar en el proceso de investigación y desarrollo de un CubeSat se encuentra la de poder diseñar, desde las filas de las Fuerzas, canales de comunicaciones entre la nave y las estaciones terrenas, con el fin de que establezcan comunicación y poder enviar datos con las características de una imagen multispectral desde el satélite hasta la tierra. En esta instancia del proceso, también se deberían pensar y diagramar nuevas estaciones terrenas que operen en las bandas afines a los CubeSat. Estas acciones gravitarían en nuevos saberes, conocimientos innovadores y propiciarían sumar expertise en el área. La importancia del sistema de comunicaciones se vuelve crucial dado que provee los elementos necesarios para realizar recepción y transmisión de

⁵ Fuente: Jornada Argentina Aeroespacial. Acceso al Espacio Argentino. Disponible en el canal de YouTube de la Universidad de la Defensa Nacional (Undef) <https://www.youtube.com/channel/UCN1-Z00Tf7VTbZMtKf-Ax7g/videos?view=0&sort=dd&flow=grid>

datos entre el CubeSat y las estaciones terrenas; estos datos corresponden a telemetría y comandos y a las imágenes que el satélite pueda tomar mediante los sensores que se coloquen según la misión para la que haya sido diseñado. El desarrollo de un CubeSat deberá contar con ciertos subsistemas: la **estructura** como dijimos seguirá la nomenclatura utilizada pero, además, debe sortear pruebas de oxidación, esfuerzo, resistencia y simulación del comportamiento térmico. Esta última, es una instancia crítica ya que permite establecer, por ejemplo, que los límites de temperatura definidos por el proveedor son base para determinar y seleccionar el sistema de control térmico necesario y para predecir las variaciones de temperatura en el cuerpo exterior y componentes eléctricos internos del CubeSat para varios escenarios térmicos que el sistema experimentará (Landeta et al., 2014). La **carga útil** (payload); será la encargada de recolectar los datos de la misión. El subsistema de **comunicaciones** es el encargado de recibir y transmitir información a la estación terrena, mediante un receptor y transmisor o en su defecto un transceptor. Las antenas mayoritariamente usadas son dipolo con polarización circular para VHF y UHF. Los CubeSats detentan una **potencia** baja debido a su tamaño, esta es del orden de entre 100 mW a 1 W y cuenta con tasas de transferencia de datos de entre 600 bps y 9600 bps. El subsistema de potencia garantiza un flujo continuo de energía entre los componentes y demás subsistemas siendo la solar la principal fuente de energía, que transforma la radiación solar en energía eléctrica. No obstante, las celdas solares no siempre son capaces de abastecer a todos los subsistemas y se vuelve imperioso contar con una fuente secundaria de energía que sustituye a la fuente primaria mediante baterías de Níquel-Cadmio (NiCd) o Litio-Ion (LiIon). Por último, el **control de posicionamiento** es el encargado de direccionar la posición y orientación para establecer comunicación, estabilizando y orientando la nave en una dirección mediante vectores de alineación y restricción con el uso de sensores.

También se pueden realizar modelos de simulación para los CubeSats; los Sistemas de Simulación proveen un ambiente para ejecutar simuladores/modelos integrados desarrollados para elementos específicos del área de interés. Por ejemplo, un sistema de simulación para una nueva nave incluiría las operaciones necesarias para llevar a cabo el lanzamiento, mantenimiento, y la seguridad. Estos modelos serían ejecutados en redes de simuladores interactivos para apoyar una vista individual de las operaciones (Mendizábal, 2013).

La nave no debe presentar ningún peligro para los CubeSats vecinos, ni para la carga útil primaria, ni para el vehículo de lanzamiento: todas las partes deberán permanecer unidas durante el lanzamiento, la eyección y la operación. Actualmente, estos desarrollos presentan algunas limitaciones; el *space debris* (basura espacial), la baja maniobrabilidad; por no contar con un buen sistema de propulsión en órbita y baja tasa de velocidad de bajada de datos en frecuencias libres. No obstante, los riesgos en el proceso de investigación y desarrollo promueven y aceleran la innovación.

Wood-Sat: Cubes de madera como respuesta ecológica

Teniendo en cuenta el óxido de aluminio reflectante que dejan los dispositivos en desuso y otros estragos a la capa de ozono y el espacio, una start-up finesa comenzó a desarrollar satélites de madera que podrían significar una innovación sustancial en el impacto del space debris. Se trata de un CubeSat de 1U, llamado Wisa Woodsat diseñado y construido en Finlandia que se procura lanzar al espacio a fines del corriente año con un cohete Rocket Lab Electron del complejo de lanzamiento de Nueva Zelanda.

Según la empresa, la misión del satélite es probar la aplicabilidad de materiales de madera, concretamente las de tipo contrachapada, en estructuras de naves espaciales y exponerlos a condiciones espaciales extremas, como calor, frío, vacío y radiación, durante un período prolongado de tiempo. En junio pasado, este Woodsat probó por primera vez las condiciones espaciales en un vue-

lo de prueba estratosférico con el propósito de utilizar un modelo funcional del satélite para probar la cámara y el equipo de comunicación del satélite. El vuelo fue exitoso y duró 2:54 horas, alcanzó una altitud de 31,2 kilómetros y contó con sensores suministrados por ESA para analizar el comportamiento de los paneles de madera. Curiosamente, la madera contrachapada, después de secarse en una cámara de vacío, se recubre con una capa muy delgada de óxido de aluminio. Esta contradicción sucede porque es necesario el uso del aluminio para evitar que el oxígeno sobre la atmósfera cause reacciones negativas sobre el satélite; no obstante, al ser solo una fina capa, los efectos sobre la capa de ozono son prácticamente nulos. En el mes de julio, el Woodsat fue sometido a rigurosas pruebas en el Centro Técnico de la Agencia Espacial Europea (ESTEC) en los Países Bajos. De esta manera, el primer satélite de madera del mundo ya está certificado para un viaje en cohete y puede comenzar la fase final previa al lanzamiento. El modelo utilizado para las pruebas fue una copia exacta del satélite real que se lanzará al espacio. Fue sometido a una rigurosa prueba de vibración imitando un viaje al espacio encima de un cohete sacudido por los motores y otra prueba acústica simulando el ruido de los motores, acentuado por las fuerzas aerodinámicas. La estructura y los paneles de madera resistieron de manera óptima y pueden soportar el vuelo espacial desde el punto de vista de la vibración. Solo se produjo un problema mecánico menor, cuando dos tornillos del brazo de la cámara desplegable se aflojaron durante la fuerte sacudida. Con este proyecto se espera reducir también los niveles de dióxido de carbono en la órbita terrestre baja, que hoy en día recibe cerca de 1,9 toneladas de CO₂ por cada tonelada de acero, mientras que son 11,5 toneladas las que se emiten a la capa de ozono por cada tonelada de aluminio que arrojan los satélites actuales.⁶ Con todo, debemos esperar a fin de año para conocer qué perspectivas habilitarían esta innovación.

Raincube: Cubesats y radares en convergencia

El proceso de investigación y desarrollo de los RainCube (Radar in a CubeSat) se llevó a cabo en el JPL (Jet Propulsion Laboratory) y el Instituto de Tecnología de California, bajo un contrato con la NASA. El proyecto tenía tres objetivos principales: desarrollar, lanzar y operar el primer instrumento de radar en un CubeSat (6U) para validar una nueva arquitectura para radares de banda Ka y un sistema ultracompacto (Peral et al., 2017).

Se trata de una arquitectura novedosa que reduce el número de componentes, el consumo de energía y masa respecto de los radares espaciales existentes. Crea una nueva panoplia de opciones en plataformas de naves de bajo costo como CubeSats y SmallSats, con ahorros obvios en la nave y el lanzamiento. De esta manera, se puede considerar desplegar una constelación del mismo instrumento, en diversas posiciones en órbita LEO, para superar los lapsus de observación que dejan abiertos las misiones actuales que requieren capacidad de perfilado vertical de alta resolución. La iniciativa buscó proporcionar validación espacial para un radar de perfil de precipitación en banda Ka (35,75 GHz), a una altitud de plataforma de 400 kilómetros o menos, que demuestre: sensibilidad del radar (20dBZ o mejor), resolución vertical (250 metros) y resolución horizontal (10 kilómetros o mejor).

Los modelos numéricos del clima y del tiempo dependen de las mediciones de los satélites espaciales para completar la validación y las mejoras del modelo. Las capacidades de generación de perfiles de precipitación se limitan actualmente a unos pocos instrumentos desplegados en órbita

⁶ Fuente: "Satélites de madera: la posible solución a la disminución del agujero en la capa de ozono". 21 de junio de 2021. Diario Infobae. Disponible en: <https://www.infobae.com/tecnologia/2021/06/21/satelites-de-madera-la-posible-solucion-a-la-disminucion-del-agujero-en-la-capa-de-ozono/?outputType=amp-type>
Página del Proyecto Wisa WoodSat: <https://www.wisaplywood.com/wisawoodsat/>

LEO, que no pueden proporcionar la resolución temporal necesaria para observar la evolución de los fenómenos meteorológicos en la escala temporal adecuada (es decir, minutos). Los instrumentos de generación de perfiles de precipitación en LEO proporcionarían esta capacidad esencial, pero el costo y el marco de tiempo de las plataformas e instrumentos satelitales típicos hacen que esta solución sea prohibitiva. Por lo tanto, una nueva arquitectura que sea compatible con plataformas satelitales de bajo costo permitirá misiones de constelaciones y revolucionará la ciencia climática y la predicción meteorológica.

Dos tecnologías clave se refrendarán en el entorno espacial: un radar de perfil de precipitación en banda Ka miniaturizado que ocupa un volumen de 2,5U y una antena parabólica desplegable de banda Ka de 0,5 metros que se almacena en un volumen de 1,5U. Los instrumentos de radar a menudo se han considerado inadecuados para pequeñas plataformas de satélites debido a su tamaño, peso y potencia. Investigación mediante la arquitectura de los RainCube es compatible con la clase 6U (o superior), impulsada por la simplificación y miniaturización de los subsistemas de radar y reduce el número de componentes, el consumo de energía y la masa con respecto a los radares espaciales existentes. La configuración básica del instrumento para el concepto RainCube es un perfilador fijo que apunta al nadir en la banda Ka con un factor de reflectividad mínimo detectable mejor que +20 dBZ a una resolución de rango de 250 metros.

El requisito clave del RainCube -relevante para la antena- es el *Footprint* RADAR de 10 kilómetros de diámetro, que define la directividad de la antena y ancho de haz.

La antena propuesta proporciona una solución novedosa a la avidez por las misiones de ciencia de la tierra y del espacio profundo con el objetivo de lanzar satélites pequeños y de bajo costo. La antena reflectora de malla de alta ganancia de banda Ka de 0,5 metros emplea óptica Cassegrain para acomodar un mecanismo de despliegue que almacena el reflector y ensamblaje de alimentación en un 1.5U ($10 \times 10 \times 15 \text{cm}^3$) con un volumen restringido. A pesar de estas restricciones mecánicas, la antena demuestra un excelente rendimiento a 35,75 GHz: una ganancia de 42,6 dBi y una eficiencia del 52 por ciento, a su vez, se ha desarrollado un prototipo de antena de RF que demuestra excelentes resultados en la simulación (Chahat et al., 2016).

El tamaño del *Footprint* está determinado por el tamaño de la antena. Para una altitud orbital nominal de 400 kilómetros, la antena RainCube produce un *Footprint* de aproximadamente 8,5 kilómetros.

La nave se basa en una versión personalizada de la corporación Tyvak. Corre bajo Linux y proporciona un data logger para el comando, manejo de datos, sistema de determinación y control de actitud. También interactúa con el módulo de referencia inercial que contiene dos cámaras en estrella, tres ruedas de reacción y tres pares magnéticos. El RainCube está configurado con un paquete de 120Wh para soportar altas corrientes de carga pico y operaciones de carga útil extendida. Dos paneles solares fijos desplegables proporcionan hasta 45 W de potencia máxima. Admite el control térmico activo de la carga útil e incluye un sistema de imágenes para capturar el despliegue de la antena. Las comunicaciones terrestres y el enlace descendente de datos utilizan UHF (RX / TX) y Banda S (TX)⁷.

En síntesis, el RainCube ha validado en el espacio dos nuevas tecnologías: la arquitectura miniaturizada para radares atmosféricos de banda Ka y la antena de banda Ka desplegable ultracompacta. Como tal, el RainCube ha introducido un nuevo paradigma para observar los procesos meteorológicos, ya que abre la posibilidad de una constelación de pequeños radares de precipitación. La nave y el radar del RainCube se mantuvieron en buen estado con los subsistemas térmicos y de

7 Fuente: "Radar in a CubeSat (RainCube)": Recuperado de: <https://www.jpl.nasa.gov/cubesat/missions/raincube.php>

potencia del radar funcionando dentro de los límites esperados con voltajes y temperaturas estables (Peral et al, 2019).

Finalmente, el RainCube fue desplegado por la ISS en julio de 2018 cumplimentando su misión en diciembre de 2020. Aquella *rara avis* demostró la evanescencia de sus limitaciones.

Cubesat & Space Debris: Principales problemas y su mitigación

Desde que a finales de los 50 se consiguió orbitar un objeto artificial alrededor de la Tierra, el ser humano ha lanzado miles de satélites. Aunque no existe un registro completo y unívoco de todos ellos, se calcula que más de 900.000 escombros se han rastreado orbitando la tierra, según estimaciones de la ESA (Agencia Espacial Europea)⁸. A su vez, la Oficina de la ONU para Asuntos Espaciales (UNOOSA), lleva alertando sobre este tópico y todos los objetos lanzados al espacio exterior que se convirtieron en basura; satélites, sondas, cohetes y otros dispositivos. El peligro sustancial es la velocidad a la que se mueven estos objetos; más de 28.000 kilómetros por hora, lo que los constituye en auténticos proyectiles. Podemos avizorar que la revolución de los nanosatélites hará que en los próximos años el número de objetos se multiplique de manera exponencial.

Por ello, a pesar de las ventajas enunciadas, existe la preocupación de que los CubeSats puedan aumentar la cantidad de desechos espaciales. Gracias a bases de datos como la del Mando de Defensa Aeroespacial de Norteamérica (NORAD) se construyeron mapas interactivos en los que podemos observar los tipos de objetos que orbitan cerca de Tierra, y se detecta el *space debris* notificando su altitud, inclinación y velocidad⁹. Con el fin de mitigar este problema y planear la eliminación de varios escombros, se están sugiriendo posibilidades: la adopción del Código Internacional de Conducta para las Actividades en el Espacio Ultraterrestre e ISO 24113: 2019, que define los requisitos de mitigación de los desechos espaciales primarios, por parte de los desarrolladores de CubeSat, pero también aplicables a todos los elementos de los sistemas no tripulados lanzados al espacio cercano a la Tierra o que lo atraviesan, incluidas las etapas orbitales de los vehículos de lanzamiento, las naves espaciales operativas y cualquier objeto liberado como parte de las operaciones normales. Estos requisitos buscan reducir el crecimiento del *space debris* al garantizar que las etapas orbitales de las naves espaciales y los vehículos de lanzamiento se diseñen, operen y eliminen de una manera que evite que generen desechos a lo largo de su vida útil en órbita. Los requerimientos también están destinados a reducir el riesgo de accidentes en tierra asociados con la reentrada atmosférica de objetos espaciales. Estos son insumos para comprometer a la comunidad del CubeSat a lograr un espacio sustentable. Estos protocolos se inscriben en el cumplimiento de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) que la Organización de las Naciones Unidas fijó para la Agenda 2030.

Los desafíos de estas constelaciones no sólo devienen del aumento del *space debris*, sino también del incremento de probabilidades de colisión, congestión para la descarga de datos y contaminación óptica o de radio frecuencia.

A modo de cierre

Esperamos que este recorrido sucinto pueda brindar no sólo el estado de cosas en el área de los nanosatélites, sino un abordaje a los CubeSat como tecnología en desarrollo y a los WoodSat y RainCubes como tecnologías disruptivas. A decir de Vilela et al. (2019) los CubeSats probablemente jugarán un papel importante en el contexto espacial internacional en un futuro próximo.

⁸ Fuente: "Basura espacial: ¿ha llegado el momento de empezar a cuidar el cosmos?" Recuperado de: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/basura-espacial>. Webinario de ESA sobre Space Debris <https://www.youtube.com/watch?v=QMACn43z4zo>

⁹ Mapa interactivo utilizando tecnología WebGL en 3D. Disponible en: <http://stuffin.space/>

Podemos elucubrar que ello se debe a las perspectivas que habilitan; como permitir monitorizar las señales de radio que se emiten desde la tierra en caso de desastre, pudiendo tener información preliminar sobre el grado de impacto y de las zonas más afectadas. De esta manera logran una organización más ágil en las labores de rescate y recuperación. Por otro lado, la existencia de grandes zonas productivas vulnerables a catástrofes naturales y los factores climáticos, entre otros aspectos, permiten afirmar que la Argentina no puede prescindir de las tecnologías espaciales. Para lograr este objetivo deberá seguir invirtiendo recursos con la intención de hacer un uso intensivo de los productos de la ciencia y las aplicaciones espaciales, ya que la gestión de activos como; aviones, barcos o vehículos terrestres puede ser imposible o sumamente costosa en zonas sin cobertura terrestre. Gracias a los servicios de geolocalización, una constelación de nanosatélites puede monitorizar a diferentes grupos de activos en cualquier parte del planeta de manera inmediata. Los nanosatélites pueden complementar las redes terrestres en actividades logísticas complejas, por ejemplo, a la hora de desplegar tropas y equipos militares. La experiencia de Noruega demuestra como una caja de 6 kilos a 600 kilómetros del suelo y volando a 27.000 kilómetros por hora 15 veces al día, puede sobrevolar el mar de Barents enviando mensajes a las estaciones terrenas sobre lo que ve. Este verdadero informante en el espacio trabaja captando el Sistema de Identificación Automática -AIS, por sus siglas en inglés- que todos los barcos de más de 300 toneladas tienen a bordo gracias a un transmisor. Este proporciona datos sobre la identidad, la posición, el rumbo y la velocidad de la embarcación. La información se puede trazar en un mapa electrónico o en la pantalla de radar de los barcos cercanos. El sistema es importante tanto para la seguridad en el mar como para monitorear el tráfico de barcos. Esta posibilidad de trackeo de los CubeSat es vital, no sólo para resguardar la soberanía nacional sino para producir inteligencia estratégica. Paralelamente, debemos concluir, desde la geopolítica y sin ambages, que la capacidad de GEOINT de las Fuerzas Armadas puede ser competitiva a la de los países que comprenden, por ejemplo, la vanguardia de los nanosatélites y el proceso de investigación y desarrollo que encierran.

Además, los nanosatélites son la base del desarrollo del IoT a nivel global, que permite comunicaciones con las zonas sin cobertura terrestre a través de una infraestructura espacial. Para conectar las constelaciones de satélites a la arquitectura IoT, existen dos maneras según la necesidad de potencia recibida: acceso directo - comunicación entre grupos de objetos IoT y satélite- y acceso indirecto a través de un nodo concentrador o Gateway (Prescornitoui Dragos, 2019). Cada vez habrá más objetos sensorizados y redes con necesidad de comunicación a nivel planetario. En este sentido, el Instituto Civil de Tecnología Espacial (ICTE) con colaboraciones multidisciplinarias se encuentra transitando un proceso de investigación y desarrollo de un nanosatélite a modo de laboratorio espacial, para abastecer de servicios de IoT. Esta experiencia es inédita en la región ya que permitirá comunicar barcos, aviones y vehículos terrestres en zonas inhóspitas¹⁰.

Dentro de las implicancias del desarrollo de un CubeSat podemos incluir su incidencia en los ODS de la Agenda 2030 de la ONU, que es un dato no menor. Entre las metas del objetivo Industria, Innovación e Infraestructuras, se incluyen: “desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano y apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales”¹¹. El desarrollo sustentable de nuestra región necesita de la utilización intensiva de las tecnologías geoespaciales, tanto como fuentes de información, como metodologías de análisis así como catalizador de investigación y desarrollo interdisciplinario.

10 Fuente: Jornada Argentina Aeroespacial. Acceso al Espacio Argentino. Disponible en el canal de YouTube de la Universidad de la Defensa Nacional (Undef) <https://www.youtube.com/channel/UCNI-Z00Tf7VTbZMtkf-Ax7g/videos?view=0&sort=dd&flow=grid>

11 Los ODS para la Agenda 2030 se encuentran disponibles en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Como aseveran Bitar et al. (2021) los decisores y los organismos de planificación no solo deben tener en cuenta la data, la información y el conocimiento para la adopción de medidas. Es importante pensar estratégicamente para ampliar las miradas del mundo y la capacidad de entender holísticamente lo que está sucediendo.

En suma, las experiencias en el proceso de investigación y desarrollo de pequeñas empresas y del sector educativo nos demuestran lo asequible que puede ser el CubeSat y la masiva compatibilidad en diferentes proyectos.

Como señalan Da Ponte et al. (2019) la educación tecnológica y técnica de calidad en el nivel secundario y universitario, articulada en una red sólida de interrelaciones entre la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica nacional son activos estratégicos en el siglo XXI. En la medida que la investigación, el desarrollo y la producción para la Defensa estén integrados a dicha red y a la política económica, el funcionamiento sectorial exhibirá otros resultados.

En este tiempo de liminalidad -apertura y ambigüedad- la serendipia se encarama en las perspectivas para las Fuerzas Armadas. Habida cuenta del aumento de confianza en la sociedad, por la tarea desplegada durante la pandemia y considerando que un estudio elaborado por la consultora *Management & Fit* en 2020, reveló al Ejército como una de las instituciones más confiables para los argentinos,¹² se presenta una oportunidad estratégica para repensar posibilidades de reequipamiento, reforzando no sólo la Defensa sino también las misiones subsidiarias, como el apoyo a la comunidad y la ayuda humanitaria. En ambos casos, la participación militar en un proceso de investigación y desarrollo de un Cubesat es un aporte a la soberanía geoespacial, que instaura una formidable posibilidad de inculcar la cultura del desarrollo y la producción de tecnología de punta, de la que las Fuerzas cuentan con conspicuos pergaminos.

Bibliografía

- > Berzategui, A. (2021). *¿Qué es la Geopolítica? Su objeto de estudio y por qué debería importarnos*. Nomos, Filosofía y Pensamiento estratégico. Disponible en: <https://nomos.com.ar/2021/06/03/que-es-la-geopolitica-su-objeto-de-estudio-y-por-que-deberia-importarnos/>
- > Bitar, S., Máttar, J., & Medina Vásquez, J. E. (2021). *El Gran Giro de América Latina: Hacia una región democrática, sostenible, próspera e incluyente*.
- > Chahat, N., Sauder, J., Hodges, R., Thomson, M., Samii, Y. R., & Peral, E. (2016, April). Ka-band high-gain mesh deployable reflector antenna enabling the first radar in a CubeSat: RainCube. In *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1-4). IEEE.
- > Da Ponte, A., & Ocón, A. L. (2019). *Política internacional y defensa en el Siglo XXI: entre la incertidumbre, la ciencia ficción y las nuevas dinámicas tecnológicas*. Relaciones Internacionales.
- > Kovács, R., & Józsa, V. (2018). *Thermal analysis of the SMOG-1 PocketQube satellite*. *Applied Thermal Engineering*, 139, 506-513.
- > Landeta P., Olmedo F. & Fernández E. (2014). *Análisis y simulación del comportamiento térmico del sistema integrado, estructura y componentes electrónicos del prototipo del satélite Cubesat*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- > Mendizábal, L. C. R. (2013). *Usando Simulación en los Sistemas Astronáuticos y Aeroespaciales*. *Espacio I+ D: Innovación más Desarrollo*, 2 (2).

¹² Fuente: "Un estudio posicionó al Ejército como una de las instituciones más confiables para los argentinos". 7 de mayo de 2020. Recuperado de: <https://elcanciller.com/confianza-en-el-ejercito-nacional-por-la-ayuda-durante-la-pandemia/>

- > Peral, E., Imken, T., Sauder, J., Statham, S., Tanelli, S., Price, D., ... & Williams, A. (2017). *RainCube, a Ka-band precipitation radar in a 6U CubeSat*.
- > Peral, E., Tanelli, S., Statham, S., Joshi, S., Imken, T., Price, D., ... & Williams, A. (2019). *RainCube: The first ever radar measurements from a CubeSat in space*. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13 (3), 032504.
- > Poghosyan, A., & Golkar, A. (2017). *CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions*. *Progress in Aerospace Sciences*, 88, 59-83.
- > Prescornituiu Dragos, B. G. (2019). *Estudio y diseño de constelaciones de nanosatélites en el marco de las comunicaciones IoT* (Bachelor's thesis)
- > Toorian, A., Diaz, K., & Lee, S. (2008, March). *The cubesat approach to space access*. In *2008 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-14). IEEE.
- > Villela, T., Costa, C. A., Brandão, A. M., Bueno, F. T., & Leonardi, R. (2019). *Towards the thousandth CubeSat: A statistical overview*. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2019.

Sitios de interes

<https://www.cubesat.org/>

<https://nanoavionics.com/>

<http://lia-aerospace.com/>

<http://www.albaorbital.com/>