

Contexto para el Desarrollo de Nanosatélites

Ing. Israel Angeles Montero¹

Resumen— Se presenta el contexto en el cual se desarrollan los nanosatélites de manera general, con el objetivo de entender el entorno y las mejores prácticas para su desarrollo como son: aspectos regulatorios, la búsqueda de un proveedor de lanzamiento para poder enviar un nanosatélite al espacio, la estación terrena y la metodología para poder desarrollar este tipos de proyectos con mayores probabilidades de éxito. Se estudia la metodología de Ingeniería de Sistemas la cual es usada por la NASA para proyectos espaciales. Como resultado se realiza un modelo de ciclo de vida adaptado del modelo similar al de la NASA, donde se presentan los eventos, hitos, revisiones y otras actividades importantes a considerar en proyectos de nanosatélites.

Palabras clave—Nanosatélites, CubeSat, Ingeniería de Sistemas, Ciclo de vida.

Introducción

El desarrollo y lanzamientos de nanosatélites lo están utilizando diversos países que no cuentan con experiencia en proyectos espaciales o que están incursionando en este sector. Los nanosatélites son una alternativa para emprender misiones académicas, científicas o comerciales, las cuales se encuentran más accesible debido a sus bajos costos y su tiempo de desarrollo es menor respecto al de un satélite de gran escala. Los nanosatélites se encuentra dentro de una clasificación de tipos de satélites de acuerdo a su masa, es decir son satélites pequeños cuya masa se encuentra entre 1 kg hasta 500 kg (INCyTU, 2020). Dentro de la clasificación de nanosatélites están los Cubesats, estos están restringidos a un cubo de volumen de 1000 mm cúbicos aproximadamente, con una masa de 1.33 kilogramos o menos (NOM, 2018).

Cabe señalar que se ha logrado estandarizar la fabricación de CubeSats, gracias a California Polytechnic State University (Cal Poly) que en 1999 logro implementar el primer estándar para este tipo de nanosatélites, el cual define las dimensiones, la masa y la interfaz mecánica de un satélite pequeño con una unidad de despliegue, de esa manera, la interfaz con el vehículo de lanzamiento ya definida, permite a los desarrolladores enfocarse solo en el problema de la carga útil (Agelet y Villa, 2021). Adicionalmente del estándar de CalPoly, se han desarrollado otros estándares como son la norma ISO 17770:2017 y en México la Norma Mexicana NOM NMX-AE-001-SCFI-2018.

Los nanosatélites con propósitos académicos requieren años para su desarrollo, además de una gran cantidad de recursos financieros (NOM, 2018), otros trámites y actividades de manera paralela al desarrollo de un CubeSat, como por ejemplo los trámites de las licencias de radiofrecuencia, la concesión de uso de frecuencias de radioaficionados, el contrato con un proveedor de lanzamiento y la puesta en marcha o adecuación de una estación terrena. Por este motivo es importante entender el contexto en el cual se desarrolla un CubeSat.

Contexto del desarrollo de un CubeSat

Como se mencionó anteriormente la importancia de conocer el contexto en el que se desarrolla un CubeSat, en la figura 1 se describe el entorno para el desarrollo de este tipo de nanosatélites, cada elemento que se debe considerar se describe a continuación:

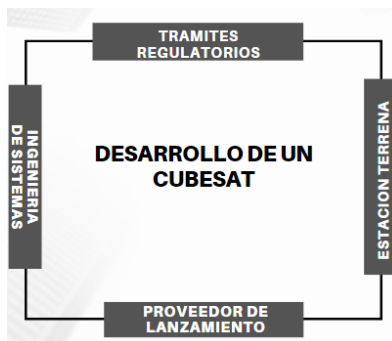


Figura 1 Contexto en el cual se desarrollan los CubeSats. Fuente: Elaboración Propia

¹ El Ing. Israel Angeles Montero es Ingeniero en Mecatrónica y actualmente es estudiante de la Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos de Ingeniería en Posgrados CIATEQ, A.C. Sede Villahermosa, Tabasco.

Regulación de satélites pequeños: Los CubeSats antes de ser lanzados y cumplan una misión, deben pasar por un proceso de licencia para transmitir señales de radio. Obtener licencias para satélites es un proceso largo. Antes de finalizar cualquier diseño de sistema y plan de operaciones, se recomienda revisar las regulaciones e identificar claramente toda la información necesaria para poder obtener una licencia (NASA, 2017). El CICESE desarrollo una guía (CICESE, 2016) que ayuda a entender como tramitar este tipo de licencias y describe los procesos a seguir. En figura se resumen los procesos descritos por la guía y las entidades regulatorias que participan (IFT, 2017). Se recomienda empezar estos trámites una vez se tenga el concepto de la misión del CubeSat. Adicionalmente también se tienen que cumplir otros trámites posteriores al lanzamiento, como el registro del CubeSat dentro de los objetos lanzados al espacio, en la tabla 1 se muestra un resumen general de estos procesos.

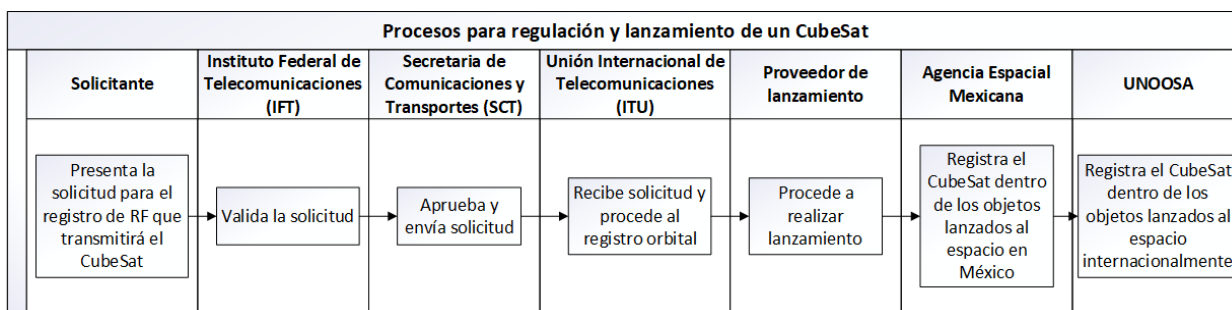


Tabla 1 Resumen de procesos para la regularización de un CubeSat antes y después de su lanzamiento.

Fuente: Elaboración Propia

Estación Terrena: La estación Terrena es un elemento clave para el éxito de cualquier misión CubeSat. Esta brinda soporte al segmento espacial (nanosatélite), transmitiendo datos de la carga útil a los operadores y los usuarios, al mismo tiempo ofrece el seguimiento, la telemetría y el comando tanto para la plataforma como para la carga útil (Chatel, 2011).

Proveedor de lanzamiento: Un tema crucial para cumplir con la misión de un CubeSat es lanzarlo y que sea desplegado en órbita, existen opciones disponibles para lanzarlo, como ser enviado con alguna carga secundaria de algún lanzamiento mayor, un viaje compartido con un grupo de CubeSats conocido como Lanzamientos de Clúster o ir conectado permanentemente a otro satélite (Duarte Muñoz, 2021). Al igual que los tramites regulatorios se recomienda buscar un proveedor de lanzamiento a inicios del ciclo de vida del desarrollo de un CubeSat.

Ingeniería de Sistemas: La Ingeniería de Sistemas es una metodología que ha sido usada para el desarrollo de proyectos espaciales (desde el diseño del sistema espacial, fabricación hasta su despliegue y operación) por instituciones, organizaciones y diversas agencias espaciales a nivel mundial, debido a que este tipos de proyectos se caracterizan por ser complejos, multidisciplinarios, costosos y con un ciclo de vida largo (Agelet y Villa, 2021).

Ingeniería de Sistemas

Generalmente la metodología de Ingeniería de Sistemas ha sido utilizada para proyectos espaciales grandes y complejos por organizaciones como NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA), aplicar la Ingeniería de Sistemas rigurosamente a proyectos de satélites pequeños pudiera ser contra productivo, debido a la gran cantidad de pruebas, requisitos que se tienen que cumplir y documentos que se generan, para el caso de nanosatélites se tiene que adaptar la metodología y la rigurosidad de los documentos (Agelet y Villa, 2021) para gestionar de la mejor manera el proyecto.

La Ingeniería de Sistemas (SE) se usa ante todo para el obtener un buen diseño, así como gestionar la complejidad del sistema con buenos procesos para lograr el diseño correcto (NASA, 2016). La SE juega un papel clave en la gestión general de un proyecto espacial. Gestionar un proyecto consta de tres objetivos principales: administrar los aspectos técnicos, gestionar el equipo de trabajo del proyecto y gestionar el costo y cronograma (NASA, 2018).

El modelo de SE de NASA se muestra en la figura 2, este modelo describe 3 áreas de competencia: Diseño de sistema, Realización de Producto y Gestión Técnica.

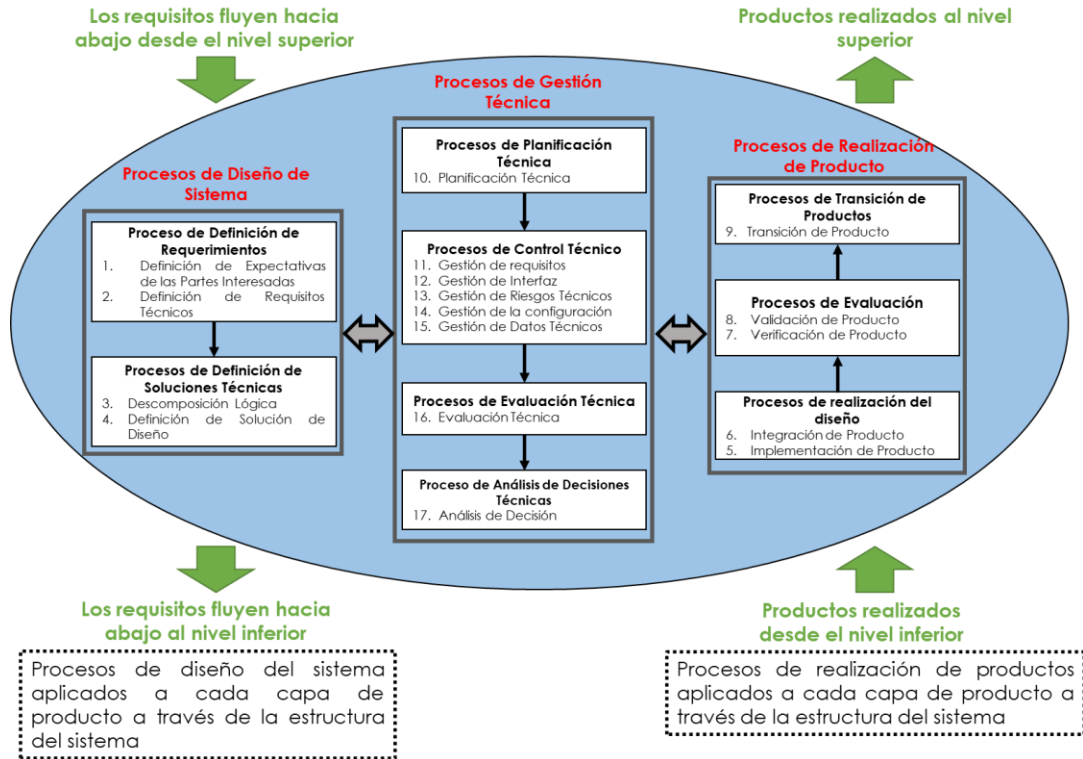


Figura 2 Motor de la Ingeniería de Sistemas de NASA. Fuente: NASA Systems Engineering Handbook

Diseño del Sistema

Entre los objetivos claves de los Procesos del Diseño del Sistema están entender, definir la misión y desarrollar el Concepto de Operaciones (ConOps), estos son importantes para capturar las expectativas de los interesados, para después transformarlos en requisitos del sistema y desarrollar una solución al sistema de interés. Además, está el desarrollar la trazabilidad de los requisitos del sistema, estos deben de ser claros y estar enunciados correctamente para evitar confusión entre el equipo de trabajo de lo que se desea desarrollar (NASA, 2018). También dentro de estos procesos se desarrolla la arquitectura del CubeSat, es decir se definirán cuáles serán los subsistemas y como están conformados cada uno de estos últimos, de esta manera hasta llegar al componente más pequeño, el cual podrá ser comprado, reusado o fabricado. De esta manera se obtendrá un diseño funcional del CubeSat. La figura 3 muestra como estos procesos van desde la idea del concepto de la misión (la cual inicia sin muchos detalles) hasta lograr descomponer como estará conformado el CubeSat (hasta el componente más pequeño). Es necesario resaltar que estos procesos son aplicados de manera recursiva e iterativamente, es decir serán aplicados las veces necesarias (*n* veces) hasta que el CubeSat cumpla la madurez de cada fase en el ciclo de vida del proyecto.



Figura 3 Descripción de los Procesos de Diseño de Sistemas. Fuente: Elaboración Propia

Realización del Sistema

Los procesos de Realización del Producto comienzan tomando los productos resultantes del Proceso de Diseño del Sistema, y estos productos se verifican y se validan que cumplan con los requisitos y las expectativas de las partes interesadas. Una vez terminada con éxito la verificación y validación, los productos pasan al siguiente nivel superior del sistema, es decir, se toman los componentes más pequeños de la arquitectura del CubeSat para verificarlos y validarlos, después estos productos se integran y posteriormente se realizan estos procesos en el siguiente componente superior de la arquitectura del CubeSat (NASA, 2018). La figura 4 describe como 5 procesos se encargan de la Realización del Producto, hasta llegar entregar el CubeSat terminado al cliente.

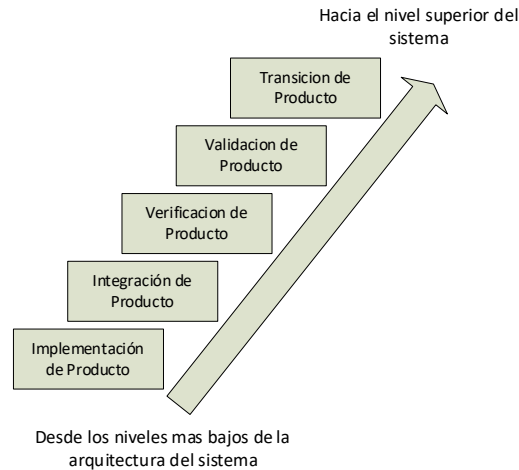


Figura 4 Descripción de los procesos de Realización del Producto. Fuente: Elaboración Propia

Gestión Técnica

Los procesos de Gestión Técnica pueden utilizarse durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la creación del concepto hasta la eliminación o cierre, así mismo pueden utilizarse simultáneamente con cualquiera de los otros procesos. Los procesos de gestión técnica son los puentes entre el Administrador del proyecto y el Ingeniero de Sistemas. Ocho procesos proporcionan las funciones de iteración con los procesos de Diseño del Sistema y Realización del Producto que permiten desarrollar, realizar y operar la solución de diseño. Aunque todos los miembros del equipo técnico pueden no estar directamente involucrados con estos ocho procesos, se ven afectados indirectamente por estas funciones clave. Sin estos procesos transversales, los miembros individuales y las tareas no pueden integrarse en un sistema funcional (NASA, 2018). Los procesos de Gestión Técnica se muestran en la figura 5.

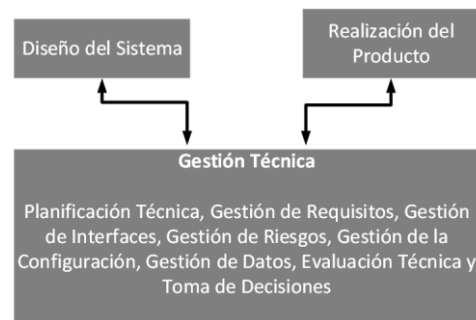


Figura 5 Procesos de Gestión Técnica. Fuente: Elaboración Propia

Adaptación del Ciclo de Vida de NASA

NASA propone un modelo de ciclo de vida para sus proyectos y programas espaciales en general. Analizando el modelo se encuentran 7 fases (Pre-fase A, Fase A, Fase B, Fase C, Fase D, Fase E, y Fase F), también se muestran algunos documentos y eventos importantes como son los puntos clave de decisión (KDP), los requerimientos del proyecto en cada fase de su ciclo de vida (requisitos preliminares del proyecto, los planes

preliminares, la línea base de los planes, entre otros.), como también los hitos principales (el lanzamiento del sistema espacial, el fin de la misión y documentación de datos finales).

Se muestran también las revisiones técnicas para diversos programas que maneja NASA, como son vuelos espaciales con humanos y misiones robóticas o científicas grandes o pequeñas. Es decir, el modelo que presenta NASA es aplicable para todos sus proyectos, sin embargo, para el caso del desarrollo de un CubeSat se tomaron en cuenta solo las revisiones técnicas y revisiones importantes para vuelos espaciales, debido a que el modelo muestra revisiones para cada tipo de misión (desde proyectos pequeños y grandes y más complejos), de esta manera solo se consideran las revisiones descritas por el NPR 123.1 de NASA el cual describe los documentos que se evaluarán en cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto.

Además, se consideran otros hitos, actividades y gestiones muy relevantes que pueden que se pasen por alto al desarrollar un CubeSat, como son la búsqueda y establecimiento de un contrato con un proveedor de lanzamiento, los tramites regulatorios que debe cumplir el nanosatélite y tener en cuenta que se debe contar con una estación terrena que permita tener comunicación y brindar soporte al CubeSat una vez que este desplegado en órbita y operando. Todas estas consideraciones están basadas en los juicios de expertos, sus experiencias y lecciones aprendidas en el desarrollo de nanosatélites como el AztechSat-1 (Duarte Muñoz, 2020). El modelo de ciclo de vida adaptado del modelo de NASA se muestra en la figura 6.

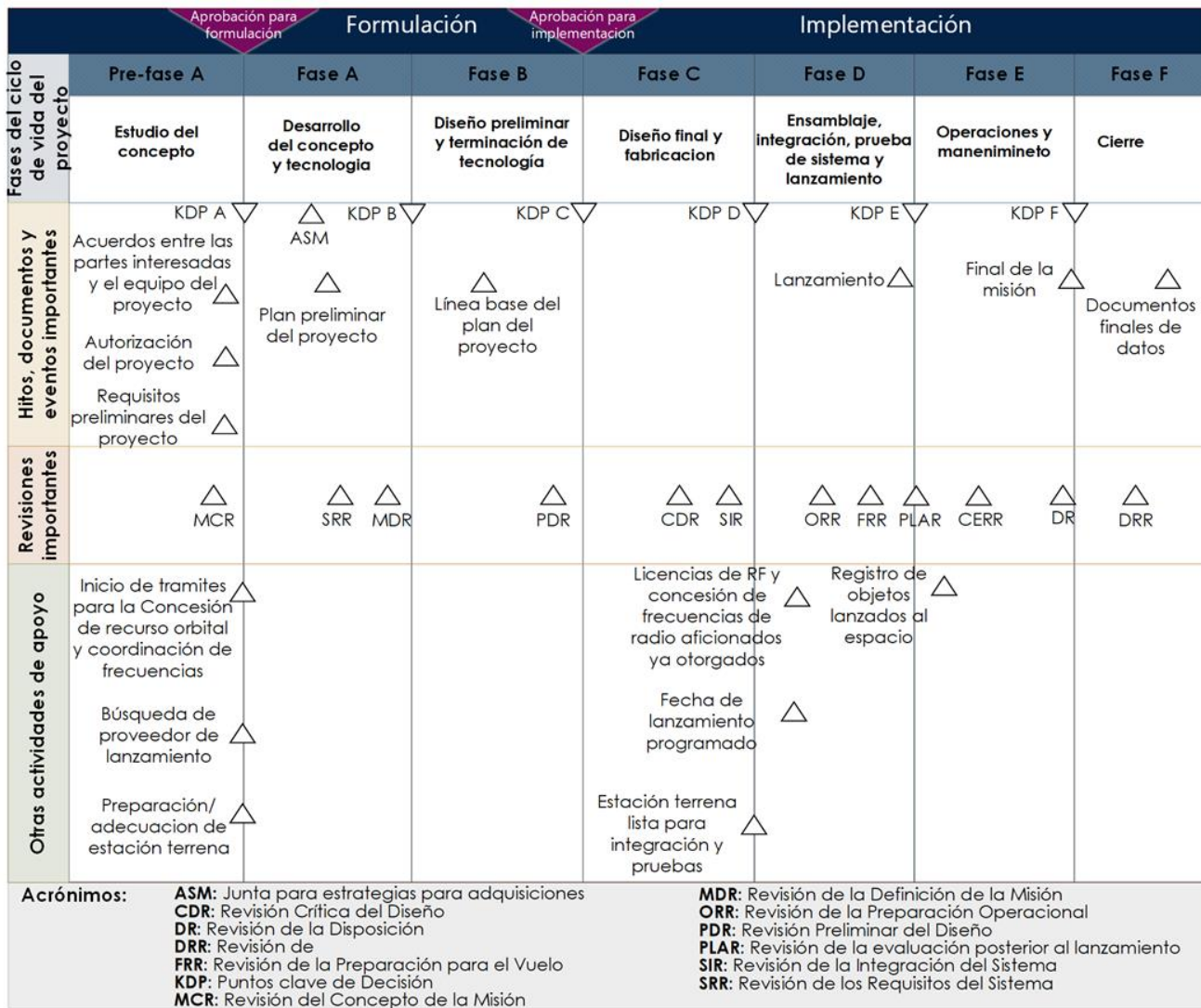


Figura 6 Modelo de Ciclo de Vida para el Desarrollo de un CubeSat adaptado del modelo de NASA

Comentarios finales

Como resultado del presente trabajo, se tiene una propuesta de un modelo de ciclo de vida para el desarrollo de nanosatélites que aspire ser utilizada por especialistas y organizaciones en el sector espacial para este tipo de proyectos, además engloba los temas relevantes que pudieran retrasar o incluso impactar en la cancelación de la misión de un CubesSat si no se consideran en tiempo y forma estas actividades. Seguir y tomar en cuenta cada una de las revisiones, hitos y otras actividades mostradas en el modelo propuesto tendrá como resultado enfocar los esfuerzos del equipo de trabajo en las buenas prácticas.

Otro tema para considerar es implementar la metodología de Ingeniería de Sistemas como las bases para el desarrollo del nanosatélites desde la creación del concepto de la misión hasta lanzarlo y operarlo, generalmente los proyectos espaciales tienden a integrar un equipo de trabajo multidisciplinario donde cada disciplina desarrolla una parte del nanosatélite. Es de suma importancia que todo esté en su lugar cuando se integre cada elemento del sistema, cualquier detalle pasado por alto tendrá como consecuencia un sistema que no cumple con los requisitos o no es operable como se había pensado.

Por último, es de suma importancia entender el contexto en el que se ve involucrado el desarrollo de un nanosatélite, no tener en cuenta algún elemento tendrá resultados negativos al querer finalizar, lanzar u operar el proyecto.

Referencias

- AGELET, F.A. y VILLA, A.E., 2021. Introduction. *Cubesat Handbook*, pp. 1-31. DOI 10.1016/b978-0-12-817884-3.09989-6.
- CHATEL, F., 2011. Ground Segment. *Spacecraft Systems Engineering, Fourth Edition*, pp. 467-494. DOI 10.1002/9781119971009.ch14.
- CICESE, 2016. Guía de orientación regulatoria. *Guía de orientación regulatoria para satélites pequeños no sujetos a coordinación* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 116. Disponible en: http://smallsats.cicese.mx/wiki/index.php/Página_principal.
- DUARTE MUÑOZ, C., 2020. AzTechSat1 Lecciones Aprendidas. *AEM*. S.l.: s.n.
- DUARTE MUÑOZ, C., 2021. *Lanzamiento de Ssatélites Pequeños, Aspectcos Administrativos y Rregulatorios*. 2021. S.l.: AEM.
- IFT, 2017. Referencias de Regulación de Satélites (pequeños). *Simposio Internacional de Satélites UIT S.C.Bariloche, Argentina*. S.l.: s.n.,
- INCYTU, 2020. Satelites pequeños. *NOTA-INCyTU NUMERO 038*,
- NASA, 2016. Expanded Guidance for NASA Systems Engineering Volume 1 : Systems Engineering Practices. , vol. 1, no. March.
- NASA, 2017. Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers. *NASA CubeSat Launch Initiative*. , no. October, pp. 86.
- NASA, 2018. *NASA Systems Engineering Handbook: NASA/SP-2016-6105 Rev2* [en línea]. S.l.: Independently Published. ISBN 9781790620739. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=LbpqvwEACAAJ>.
- NOM, 2018. *Norma Mexicana NMX-AE-001-SCFI-2018*. 2018. S.l.: s.n.