

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR - JOSE MIGUEL CARRERA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECÓNOMICA PARA EL
LANZAMIENTO DE UN CUBESAT POR LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Trabajo de Titulación para optar al
título de Ingeniero en Proyectos de
Ingeniería con Licenciatura

Alumno:

Manuel Céspedes Araya

Profesor Guía:

Sr. Mario Salinas Psijas

2023

Dedicatoria

Con profundo aprecio y gratitud, dedico este trabajo a aquellas personas que han sido pilares fundamentales en mi camino durante estos años de estudio, sacrificio y recompensa.

En primer lugar, a mi compañera, amor y fuente de inspiración inagotable, Jessica Gómez. Su apoyo, comprensión y amor han sido fundamentales en cada paso de este viaje. Siendo mi luz en los momentos oscuros y mi alegría en los días de triunfo. Gracias por caminar a mi lado y ser parte esencial de esta travesía.

A mis compañeros de carrera, con quienes compartí largas horas de estudio y trabajo. Gracias por hacer más amenas las jornadas intensas y por todas las experiencias compartidas. Cada uno de ustedes ha aportado a mi vida académica y personal de maneras únicas e inolvidables.

Un agradecimiento especial al equipo de USM CubeSat Team, cuya inspiración y dedicación fueron el motor para desarrollar este proyecto de título, me han mostrado lo que significa ser un verdadero Sansano, transformando mi visión del mundo y redefiniendo mi comprensión de la excelencia, el trabajo en equipo y la importancia de aportar al país y la humanidad.

Mis profesores, que han sido más que educadores, han sido verdaderos guías en el camino del conocimiento. En particular, quiero agradecer al profesor Mario Boada, por enseñarme la importancia de la humanidad, el pensamiento crítico y otorgarme herramientas para hacer que las cosas sucedan; al profesor Patricio Suzarte, por su amor apasionado por las matemáticas que ha sido contagioso y enriquecedor; y a mi profesor guía, Mario Salinas, cuya sabiduría, paciencia y apoyo han sido fundamentales en la realización de este proyecto.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida y en este trabajo. Gracias por ser parte de mi viaje, por sus enseñanzas y por creer en mí.

RESUMEN

KEYWORDS: NANOSATELITE, CUBESAT, STEM, INGENIERIA AEROESPACIAL, PROGRAMA NACIONAL ESPACIAL, LANZAMIENTO

El estudio analiza la prefactibilidad de lanzar un nanosatélite por la Universidad Técnica Federico Santa María, centrándose en aspectos técnicos y económicos. Se investiga cómo este proyecto podría influir en la reputación y capacidad innovadora de la Universidad, evaluando posibles repercusiones económicas, considerando el impacto en educación, investigación y las alianzas estratégicas, además de explorar el potencial de este proyecto para avanzar en la trayectoria aeroespacial de la universidad y enriquecer su aporte a las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)

El estudio se estructura en tres capítulos clave, el capítulo 1, "Antecedentes y Diagnóstico", examina el contexto y la relevancia de los nanosatélites en la industria espacial actual, destacando la posición de diferentes países y el rol económico de los satélites.

El capítulo 2, "Estudio de Mercado y Estudio del Entorno", analiza el mercado de los nanosatélites y el entorno específico para el proyecto, considerando factores globales y locales.

Finalmente, el capítulo 3, titulado "Estudio de Costos, Económico y Financiero", se dedica a una evaluación exhaustiva de los costos relacionados con el proyecto. Se analiza la viabilidad económica y la sostenibilidad financiera, incorporando un estudio detallado sobre la rentabilidad y proyecciones financieras futuras.

ÍNDICE

RESUMEN

1.	CAPÍTULO1: ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO	
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	ANTECEDENTES	4
1.2.1.	La organización Universidad Técnica Federico Santa María	4
1.2.2.	Misión:	5
1.2.3.	Visión:	5
1.2.4.	Ejes valóricos:	5
1.2.5.	Ranking:	6
1.2.6.	Historia:	6
1.2.7.	Rectoría:	8
2.	CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO Y ESTUDIO DEL ENTORNO	10
2.1.	UNIDAD PRODUCTIVA DEL NEGOCIO:	11
2.1.1.	Características de un CubeSat	13
2.1.2.	Sistema de dispensador CubeSat:	14
2.1.3.	Vehículo de lanzamiento:	15
2.1.4.	Diagrama de Gantt	17
2.1.5.	Manera en la cual se desarrollara el proyecto	18
2.2.	APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE ESTUDIO:	18
2.2.1.	Situación base con proyecto Matriz PEYEA	20
2.3.	OBJETIVOS:	24
2.3.1.	Objetivo General:	24
2.3.2.	Objetivos Específicos:	24
3.	CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS, ECONÓMICO Y FINANCIERO	25
3.1.	EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO CUBESAT	26
3.2.	INVERSIONES	28
3.3.	DOCUMENTACIÓN MÍNIMA REQUERIDA EN LAS DIFERENTES FASES:	30
3.4.	ESTIMACIÓN DE COSTOS:	31
3.4.1.	Detalles de las EDT para el Proyecto de Lanzamiento de CubeSat	33
3.4.2.	Importancia y Costos de Instalar una Base Estación de Monitoreo	35
3.4.3.	Costos de Construcción de un CubeSat	37
3.5.	GANANCIAS DEL PROYECTO PARA LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA	39
3.5.1.	Incremento en Matrículas:	40

3.5.2. Educación y Formación:	40
3.5.3. Colaboración y Donaciones:	41
3.5.4. Fondos por Investigación de Postgrados:	42
3.6. TASA DE DESCUENTO	42
3.7. COSTOS VARIABLES	43
3.8. COSTOS FIJOS	43
3.9. COSTOS ADMINISTRATIVOS	43
3.10. FLUJO DE CAJA	44
3.11. ANÁLISIS DEL VALOR ACTUAL NETO EN EL PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA EL LANZAMIENTO DE UN CUBESAT DE LA UNIVERSIDAD FEDERICO SANTA MARÍA	45
3.12. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

INDICE FIGURAS

Figura 1-1 CubeSats de la agencia de Exploración Aeroespacial de Japón	2
Figura 1-2 Organigrama de Rectoría Universidad Federico Santa María	8
Figura 1-3: Organigrama de Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento	9
Figura 2-1: Número de países con un satélite en órbita (lanzado a través de un tercero o de forma independiente entre 1957 y abril de 2018) y número de países que han lanzado un cohete con éxito	12
Figura 2-2: Familia de CubeSat 1U – 12U	13
Figura 2-3: Instalación de un CubeSat (1U) al dispensador de la empresa ExoLaunch	14
Figura 2-4: SpaceX Transporter-1: un Falcon 9 con 143 satélites a bordo y 10 Starlink	16
Figura 2-5: Diagrama de Gantt sobre la planificación en el proyecto para el lanzamiento de un CubeSat	17
Figura 2-6: Diagrama de Metodología, método y forma en la cual desarrollará el proyecto	18
Figura 2-7: Diagrama Matriz PEYEA	20
Figura 2-8: Gráfico de Licencias Federico Santa María	23
Figura 3-1: Desglose de trabajo (EDT)	33

INDICE TABLAS

Tabla 3-1: Principales áreas de Inversión	28
Tabla 3-2: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase A	30
Tabla 3-3: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase B	30
Tabla 3-4: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase C	30
Tabla 3-5: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase D	31
Tabla 3-6: Estimación de costos de las EDT	34
Tabla 3-7: costos de construcción de un CubeSat	37
Tabla 3-8: Resumen de Ganancias del Proyecto	39
Tabla 3-9: Resumen de Ganancias por alumno y retención en el tiempo	40
Tabla 3-10: Flujo de caja expresado en UF, calculado al 31 de Octubre 2023 a \$36.338	44

1. CAPÍTULO1: ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO

1.1. INTRODUCCIÓN

La industria espacial ha estado en una trayectoria de crecimiento ascendente en los últimos años. En el 2021, experimentó su expansión más rápida en mucho tiempo, con un gasto global anual que alcanzó un récord de \$469 mil millones de dólares. (Porterfield, 2022) Los nanosatélites, pequeñas unidades que pesan entre 1 y 10 kg, han ganado una popularidad considerable, con más de 100 lanzamientos anuales en años recientes (Liddle, 2020) (Foust, 2021).

Al considerar la propiedad de estos satélites, se encontró que existen 75 países que poseen al menos uno de estos dispositivos en órbita alrededor de la Tierra. (Rome, 2022) Hasta febrero de 2023, los Estados Unidos mantenían el mayor número de satélites en órbita, contabilizando 6.196, seguidos por la Comunidad de Estados Independientes (anteriormente la URSS) con alrededor de 1.500 satélites, China se ubicaba en el tercer lugar con 606, la Agencia Espacial Europea tiene 93, y más abajo en la lista, Chile, con 6 satélites en órbita. (N2YO, 2023)

Es fundamental resaltar la contribución económica substancial que los satélites aportan a la industria espacial. Según un informe de 2019 realizado por Bryce para la Asociación de la Industria de Satélites de EE. UU., se estima que aproximadamente el 87.8% de los ingresos proyectados, que equivalen a \$277 mil millones de dólares, provienen de actividades intrínsecamente vinculadas a las capacidades de los satélites, (OECD, 2023) este dato refuerza la importancia y el potencial económico de este sector.

Chile, por su parte, ha anunciado el desarrollo de un nuevo Sistema Nacional Satelital que dotará al país con capacidades satelitales propias. Este sistema incluirá la incorporación de tres satélites destinados a mejorar la recolección de imágenes y a expandir el conocimiento y la información de Chile en materia espacial. Adicionalmente, se planifica la construcción de 7 microsátélites en colaboración con el sector de defensa, el ámbito académico y la industria nacional. (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2020) Este avance se enmarca en la creación del Programa Nacional Espacial, impulsado por el gobierno de Chile, (Ministerio de Ciencia, 2022) con una inversión inicial de \$120 millones de dólares y un financiamiento anual del 1% del PIB. (Ministerio de Ciencia, 2022)

En la actual época de avances en exploración y tecnología espacial, la posibilidad de acceder al espacio y realizar misiones científicas y tecnológicas en el ambiente espacial ha aumentado su accesibilidad y atractivo. Esto ha captado el interés de una amplia gama de instituciones, desde universidades hasta empresas privadas. Un factor crucial en esta democratización del acceso al espacio es el desarrollo de los CubeSat: pequeños satélites estandarizados que han transformado la industria espacial gracias a su costo reducido y a su diseño modular.

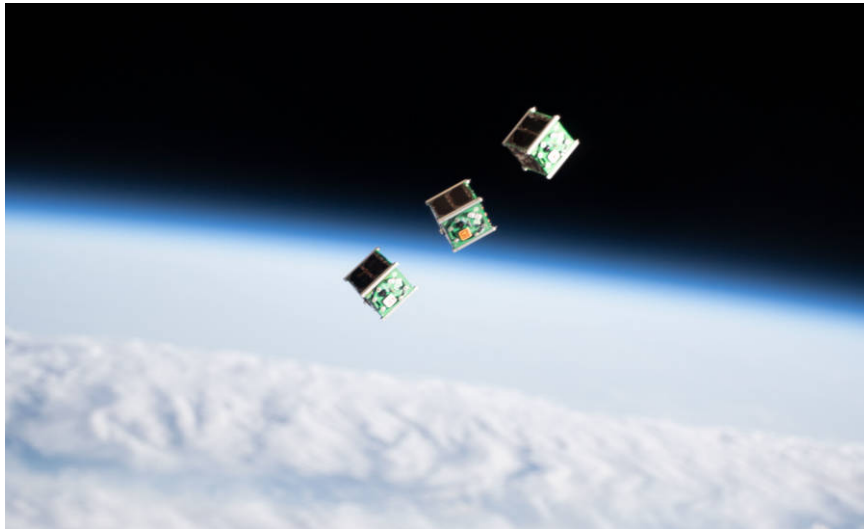


Figura 1-1 CubeSats de la agencia de Exploración Aeroespacial de Japón

Fuente: Imagen Los pequeños satélites de Nepal, Sri Lanka y Japón fueron lanzados a la órbita terrestre para demostraciones tecnológicas. lanzadas desde la Estación Espacial Internacional (NASA, 2019)

El término "CubeSat" proviene de la fusión de las palabras "cubo" y "satélite", haciendo referencia a la forma y estructura modular de estos pequeños dispositivos espaciales. Se componen de unidades cúbicas de 10 centímetros por lado (10 cm x 10 cm x 10 cm), conocidas como "Unidades" (U), y pueden variar en tamaño desde 1U hasta 6U o incluso más, dependiendo de los requerimientos específicos de la misión.

La estandarización de los CubeSats aporta ventajas significativas en términos de integración y lanzamiento. Facilita la incorporación de componentes y sistemas producidos por diferentes fabricantes y optimiza los procesos de lanzamiento al permitir que los CubeSats compartan interfaces comunes con los vehículos de lanzamiento. Este diseño modular y estandarizado subraya la flexibilidad y el enorme potencial que los CubeSats ofrecen en el actual panorama de la tecnología espacial. (NASA, 2017)

En este contexto de creciente adopción de la tecnología CubeSat, una pieza esencial para el éxito de estas misiones es el papel desempeñado por las agencias de lanzamiento y las empresas de cohetes. Estas organizaciones representan el enlace entre el satélite y su destino final: la órbita alrededor de la Tierra.

Existen varias empresas y agencias dedicadas al lanzamiento de CubeSats y otros pequeños satélites. Entre las más destacadas se encuentran “SpaceX”, “Rocket Lab”, “Blue Origin”, “Arianespace” y la agencia espacial rusa “Roscosmos”, por mencionar algunas. Estas organizaciones proporcionan los vehículos de lanzamiento y la infraestructura necesaria para transportar los CubeSats al espacio.

El proceso de selección de un proveedor de lanzamiento para un CubeSat implica considerar una serie de factores, como el coste, la fiabilidad del vehículo de lanzamiento, los requerimientos técnicos y operativos del satélite, la ventana de lanzamiento y la órbita deseada. Además, el CubeSat debe ser compatible con el hardware de despliegue del vehículo de lanzamiento, lo que puede implicar la utilización de adaptadores de lanzamiento y desplegados.

Dado el creciente número de CubeSats y la demanda de oportunidades de lanzamiento, han surgido nuevas empresas y servicios que buscan facilitar este proceso. Algunas de estas empresas actúan como intermediarios entre los operadores de satélites y los proveedores de servicios de lanzamiento, ayudando a los primeros a encontrar oportunidades de lanzamiento adecuadas y a navegar por los complejos procesos de contratación y preparación para el lanzamiento. (SatSearch, 2023)

La elección de un proveedor de lanzamiento apropiado es crucial para el éxito de la misión de un CubeSat. Una elección acertada puede asegurar que el CubeSat alcance su órbita objetivo con éxito y comience a cumplir su misión, ya sea recolectando datos científicos, probando nuevas tecnologías o proporcionando servicios de comunicación.

Por lo tanto, el papel de las agencias de lanzamiento y las empresas de cohetes en el floreciente sector de los CubeSats no puede ser subestimado. Su colaboración y servicios son fundamentales para permitir que más organizaciones, incluyendo la Universidad Técnica Federico Santa María, accedan al espacio y contribuyan a la creciente economía espacial.

El principal objetivo de este estudio es evaluar la prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat por parte de la Universidad Técnica Federico Santa María. Este proyecto no solo representa una significativa oportunidad para la institución al integrarse en el campo de investigación y desarrollo dentro de la industria aeroespacial, un sector de creciente importancia a nivel global, sino que también ayuda a identificar posibles amenazas y debilidades futuras, dentro de este campo y la importancia que tomara en un futuro cercano. (Cappelletti B. &., 2020)

Este estudio se centrará especialmente en la etapa de lanzamiento, considerada un aspecto crítico para el éxito del proyecto en la carrera aeroespacial. Actualmente existen iniciativas estudiantiles trabajando en la etapa de construcción del CubeSat, dentro de la universidad, sin embargo, colocarlo en órbita, en particular, en órbitas terrestres bajas (LEO, por sus siglas en inglés), que se extienden desde aproximadamente 160 hasta 2000 kilómetros sobre la superficie terrestre, representa un desafío notable. (Cappelletti B. &, 2020)

La intención es analizar desafíos y oportunidades relacionados con la selección de tecnologías de lanzamiento, la coordinación con agencias y proveedores, las certificaciones necesarias, la gestión de riesgos y el impacto en la comunidad académica y científica. Este estudio también examinará las posibles ganancias, incluyendo el retorno de la inversión en términos de educación, investigación, desarrollo, matrículas, patentes y colaboraciones con el sector espacial.

No obstante, el alcance de los beneficios va más allá de lo tangible: el prestigio y el posicionamiento de la universidad a nivel nacional e internacional también estarán en juego. Mediante este estudio, buscamos que la Universidad Técnica Federico Santa María tenga en sus manos la información necesaria y bien fundamentada para tomar decisiones acerca de la viabilidad y conveniencia de embarcarse en este ambicioso proyecto.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. La organización Universidad Técnica Federico Santa María

La Universidad Técnica Federico Santa María (USM) es una de las principales instituciones de educación superior de Chile, con un destacado rol público y un sólido prestigio en el ámbito de la ingeniería, la ciencia y la tecnología, siendo hoy un referente a nivel nacional e internacional en la creación y difusión de nuevo conocimiento.

La USM cuenta con tres campus: Casa Central Valparaíso, San Joaquín y Vitacura; y dos sedes: Viña del Mar y Concepción. Fue inaugurada en 1931 por la voluntad testamentaria de don Federico Santa María Carrera, con un fuerte compromiso con el desarrollo del país y el apoyo al estudiante meritorio de escasos recursos, de acuerdo con los valores de su benefactor. Por esta razón, su sello científico-tecnológico también incluye las humanidades y el deporte, así como incentivos al desarrollo de proyectos docentes y estudiantiles en temas de solidaridad, emprendimiento y creatividad.

La labor de la institución no es solo formar profesionales con amplios conocimientos técnicos y teóricos, sino además, entregar principios para enriquecer el espíritu humano y engrandecer a la sociedad. Por lo tanto, ciencia, arte y deporte confluyen en un mismo espacio, fundiéndose en el alma de los "sansanos". Una convergencia integral de principios y valores sustentados en el pluralismo y la independencia, que ayuda al aprendizaje y a la construcción de una sociedad más justa y solidaria. (USM, 2022)

1.2.2. Misión:

Formar personas, integral y profesionalmente, en un ecosistema de creación y difusión de conocimiento, innovación, emprendimiento, transferencia e impacto, contribuyendo a la solución de problemas relevantes y complejos en un ámbito científico-tecnológico, aportando al desarrollo sostenible del país y la sociedad. Esta labor se realiza siendo una institución de educación superior con vocación pública, de excelencia e inclusiva, que fortalece su quehacer, su comunidad y su integración al medio, a través del diálogo, la tolerancia, el respeto a la diversidad y al debate de alto nivel, preservando la voluntad testamentaria de don Federico Santa María Carrera.

1.2.3. Visión:

Ser un referente científico-tecnológico nacional e internacional que, integrando una comunidad universitaria de excelencia, estimule la generación y difusión de conocimiento junto a la creación de valor, orientada a impactar significativamente el desarrollo de la sociedad, constituyéndose en una universidad de clase mundial líder en ingeniería, ciencia y tecnología. (USM, 2022)

1.2.4. Ejes valóricos:

- a) Visión de futuro y adaptabilidad: La Universidad Técnica Federico Santa María se adapta a los cambiantes y urgentes desafíos de cada época, extendiendo el aporte sucesivo de nuevas generaciones de personas formadas con su impronta, y la generación de nuevo conocimiento de frontera, contribuyendo al desarrollo y sostenibilidad del país y la sociedad.
- b) Excelencia en un marco de integridad y respeto: La Universidad Técnica Federico Santa María constituye una institución de educación superior de excelencia, que busca evidenciar los más altos estándares de calidad en su quehacer, en un marco de integridad y respeto a las personas, las comunidades y la sociedad en su conjunto.
- c) Compromiso con responsabilidad: La Universidad Técnica Federico Santa María es una institución comprometida y responsable con la sociedad, con el cumplimiento de sus propósitos institucionales, así como con los miembros de su comunidad.

- d) Ética: La Universidad Técnica Federico Santa María adhiere a la búsqueda de la verdad y el nuevo conocimiento, preservando una conducta ética en docencia, investigación, innovación, emprendimiento y transferencia tecnológica." (USM, 2022)

1.2.5. Ranking:

- a) U.S. News Best Global Universities (U.S. News Best Global Universities, 2022)

2° Lugar Universidad chilena en el área de la Física.

3° Lugar Universidad chilena en el área de Ingeniería.

3° Lugar entre las Universidades Chilenas

- b) Center for World University Rankings (CWUR) 2019-2020

4.5% del Top Mundial de Universidades. Más de 2 mil instituciones encuestadas

- c) Times Higher Education Latin America University Rankings (THE). Edición 2021

49o lugar en América Latina y el Caribe. Este reconocimiento refuerza el compromiso del plantel, la calidad de su cuerpo académico y la calidad de sus egresados

- d) Academic Ranking of World Universities (ARWU) o Ranking de Shanghai

101-150 Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Primera de Chile. 101-150 Ingeniería Control y Automatización. Única universidad chilena presente en esta medición.

301-400 en Física y Matemática. Segundo y quinto lugar entre las instituciones chilenas.

1.2.6. Historia:

Desde sus inicios, la USM ha cautelado permanentemente la equivalencia de su quehacer en Campus y Sedes, en el desarrollo de sus actividades de docencia, investigación, vinculación con el medio y gestión. En específico, en el ámbito formativo se ha resguardado el cumplimiento de esta equivalencia para cada nivel y jornada, considerando las orientaciones estratégicas de excelencia, y el monitoreo regular de indicadores y estándares. A continuación se presenta una línea de tiempo de la institución en donde se identifican los principales hitos desde sus comienzos hasta la actualidad. (USM, 2022)

Desde su inicio en 1926 como una Escuela de Artes y Oficios, la Universidad Técnica Federico Santa María ha tenido un profundo impacto en la educación chilena. Siguiendo la visión de su fundador de educar a los más necesitados, la universidad ha cultivado una reputación de excelencia académica y liderazgo en la investigación, enfocándose en ingeniería, ciencias y tecnología. A través de su enfoque en la vinculación con la industria y su compromiso con la innovación y el espíritu empresarial, la universidad ha contribuido significativamente al desarrollo económico y tecnológico de Chile.

A partir de los años 60, la organización fundada con la visión de servir a la comunidad y apoyar el desarrollo del país, comenzó su expansión nacional e internacional. La primera piedra de la Escuela Técnico Profesional, ahora conocida como Sede Viña del Mar José Miguel Carrera, fue puesta en 1966, y comenzó a funcionar en 1969, formando técnicos destacados en varias áreas en respuesta a la necesidad de la época.

En 1966, también comenzó la construcción de la Escuela de Técnicos Universitarios, ahora Sede Concepción Rey Balduino de Bélgica, en agradecimiento al apoyo financiero y técnico del estado belga. Este centro comenzó sus actividades en 1971, con su inauguración oficial en 1972.

Durante los años 70, a pesar de la agitada vida política y la radicalización de los movimientos sociales, la Universidad estableció direcciones de investigación e innovación, poniendo énfasis en la expansión del conocimiento de alto nivel. En 1974, se creó la Vicerrectoría de Investigación y Asistencia Técnica.

La celebración del cincuentenario en los años 80 marcó un tiempo de reorganización y reestructuración académica y administrativa. Además, comenzó a internacionalizarse, estableciendo conexiones con instituciones de nivel superior en Europa y Estados Unidos.

Los años 90 marcaron un nuevo periodo de expansión, con la creación de dos nuevos campus en 1995. En 1996, se estableció el Campus Guayaquil en Ecuador, y se creó la Oficina de Asuntos Internacionales. A partir del año 2000, en alianza con LAN-Chile, se inició la Academia de Ciencias Aeronáuticas, y en 2001, se creó el Instituto Internacional para la Innovación Empresarial (3IE). La Universidad ha experimentado un fuerte crecimiento en la última década, consolidando su liderazgo en ingeniería, ciencia y tecnología. La investigación científica y el número de estudiantes de pre y postgrado han aumentado, y se han realizado inversiones significativas en infraestructura. En 2008, se inauguró el Edificio para la Innovación Tecnológica.

En 2009, se abrió un nuevo campus en Santiago, en la comuna de San Joaquín. Ese mismo año, comenzó la construcción de la primera fase del Edificio Placeres. El crecimiento de las sedes también ha llevado a la creación de nuevas instalaciones en Concepción y Viña del Mar.

La Universidad tiene el objetivo de no sólo proporcionar una formación académica, sino también cultivar principios que enriquezcan el espíritu humano y la sociedad en general. Hoy en día, la Universidad sigue buscando cumplir el legado de su fundador, don Federico Santa María Carrera, y su visión de formar profesionales que pueden contribuir al desarrollo de la sociedad y el país.

1.2.7. Rectoría:

El órgano principal de la USM es la Rectoría, encabezada por el Rector, quien actúa como representante legal y administrativo de la institución. La Rectoría es responsable de establecer y supervisar las políticas y procedimientos académicos, así como de garantizar la calidad de la educación y la investigación realizada en la universidad. Para entender mejor la estructura organizacional de la USM, a continuación se presenta un organigrama de la Rectoría



Figura 1-2 Organigrama de Rectoría Universidad Federico Santa María

Fuente: Elaboración propia, información obtenida de página web rectoría USM (Rectoria USM, 2023)

La tarea de liderar este proyecto recae en la Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento, cuya función primordial es supervisar y administrar los esfuerzos institucionales en materia de investigación, innovación, transferencia tecnológica y emprendimiento, con alcance transversal en toda la institución.

Su objetivo es claro: generar nuevo conocimiento y maximizar su valor a través de la innovación y la transferencia tecnológica, construir un ecosistema empresarial emergente basado en la tecnología, promover la investigación colaborativa y reforzar las relaciones con la industria mediante consultorías técnicas. Con estos propósitos, en 2019 se estableció la nueva Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento, sustituyendo la antigua Dirección General de Investigación, Innovación y Postgrado.

El Director General de Investigación, Innovación y Emprendimiento tiene la responsabilidad de supervisar y coordinar directamente las direcciones de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, Emprendimiento, y Asesoría Industrial y Servicios, además de los Centros y la Unidad de Apoyo a la Gestión de Proyectos. (USM, 2022)

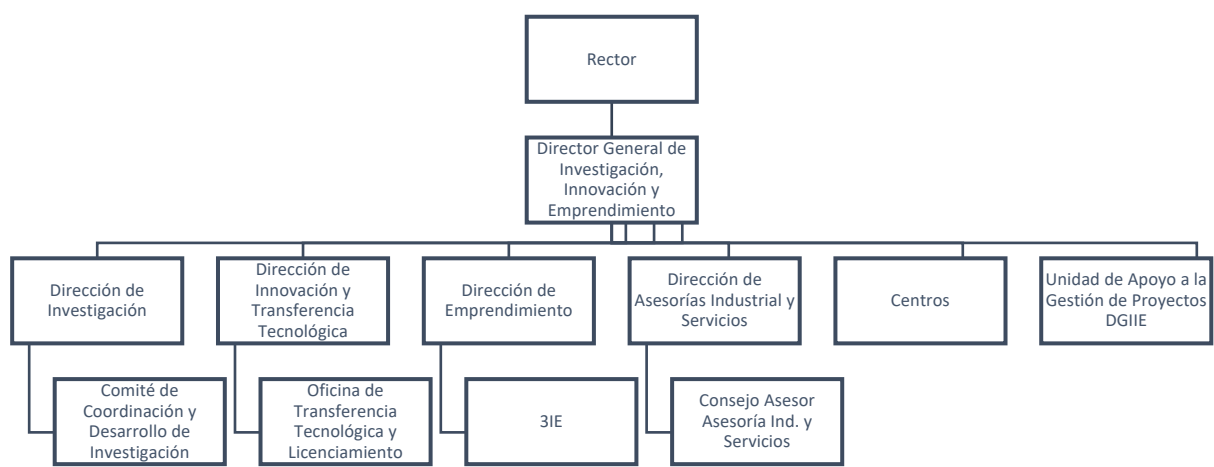


Figura 1-3: Organigrama de Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento

Fuente: Elaboración propia, información obtenida de página web DGIIE USM (DGIIE, 2023)

2. CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO Y ESTUDIO DEL ENTORNO

2.1. UNIDAD PRODUCTIVA DEL NEGOCIO

El "Estudio Prefactibilidad Técnica y Económica para el Lanzamiento de un CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María" se centrará en la Unidad de Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento, dentro de esta estructura, el Instituto Internacional para la Innovación Empresarial "3IE" jugará un papel crucial, (3ie, 2023) es por el cual se desea generar el proceso de desarrollo de un departamento o iniciativa que controle todo el proceso que conlleva poder generar la tramitación, programación y control a posterior del lanzamiento de un CubeSat

El "Estudio Prefactibilidad Técnica y Económica para el Lanzamiento de un CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María" buscará enfocar sus esfuerzos principalmente en la Unidad de Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento de la universidad, en el corazón de esta estructura institucional se encuentra el Instituto Internacional para la Innovación Empresarial "3IE", que desempeñará un papel fundamental en la realización de este ambicioso proyecto.

Este estudio se propone abordar y generar un plan detallado y cuidadoso para la creación de una nueva rama departamental o iniciativa en el seno de la universidad, esta rama estaría dedicada exclusivamente a manejar y supervisar todos los aspectos involucrados en la tramitación, programación y control posterior del lanzamiento de un CubeSat.

Además, esta iniciativa no solo fortalecería la capacidad investigativa y educativa de la universidad, sino que también ayudaría a posicionar a la institución como un actor líder y proactivo en el creciente sector aeroespacial, contribuyendo a su visión de innovación continua y excelencia académica.

La investigación y el desarrollo de nanosatélites ofrecen múltiples oportunidades para mejorar la producción, productividad, eficiencia y eficacia en diversos campos, incluyendo las comunicaciones, la observación de la Tierra, la investigación científica y la exploración espacial (NASA, 2017)

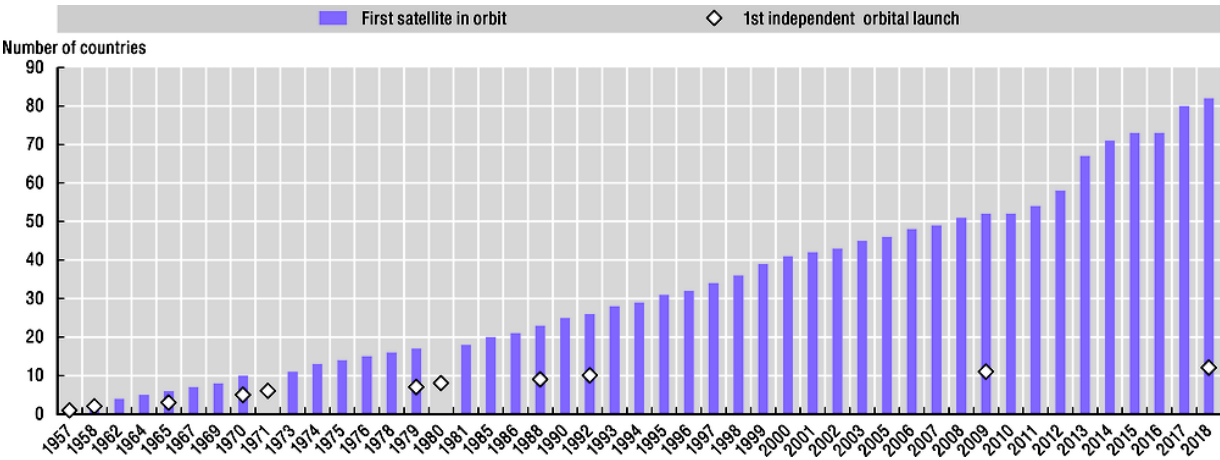


Figura 2-1: Número de países con un satélite en órbita (lanzado a través de un tercero o de forma independiente entre 1957 y abril de 2018) y número de países que han lanzado un cohete con éxito

Fuente: Imagen extraída de biblioteca de la OCDE (OECD, 2023)

La Universidad Técnica Federico Santa María ha reconocido la importancia de participar en el sector espacial y esto se ve reflejado en la alianza internacional formada con el Instituto Nacional de Investigación Espacial del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación del gobierno de Brasil (INPE), esto por medio del Centro Científico Tecnológico de Valparaíso, (CCTVal, 2023) algunas colaboraciones fueron impartir cursos y charlas sobre la tecnología aeroespacial y satélites, en conjunto con la Universidad de Chile y la Fuerza aérea, liderada por la Universidad Técnica Federico Santa María a través del programa: proyecto de fomento y vinculación internacional de ANID “Strengthening Aerospace Engineering in Chile” (Rojas C. M., 2022), y el apoyo por parte de la Dirección de Relaciones Estudiantiles de la universidad y también el programa “Semillero” a la iniciativa estudiantil "USM CUBESAT TEAM" que tiene el objetivo de construir un CubeSat, dentro de los logros de este grupo formado desde el 2019, está el tercer lugar obtenido en la competencia latinoamericana “CUBE DESIGN 2022” realizada por el Instituto de Investigación Espacial de Brasil, en la categoría MBSE (modelo base y sistema de ingeniería) (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, 2023).

2.1.1. Características de un CubeSat

Para comprender mejor el término "CubeSat", es útil contrastarlo con la categoría más amplia de "satélites pequeños". Generalmente, se considera como "pequeño" a cualquier satélite que pese menos de 300 kg, sin embargo, los CubeSats están sujetos a requisitos específicos que rigen su forma, tamaño y peso.

La especificidad de los estándares para CubeSats tiene el propósito de minimizar los costos, dicha estandarización permite a las empresas fabricar componentes a gran escala y suministrar piezas listas para montar, como consecuencia, la ingeniería y el desarrollo de CubeSats son menos costosos en comparación con los satélites pequeños que requieren personalización exhaustiva. Asimismo, la forma y el tamaño estándar disminuyen los gastos relacionados con su transporte y despliegue en el espacio.

Los CubeSats están disponibles en diversos tamaños, todos ellos basados en la "unidad" estándar de CubeSat, conocida como 1U. Un CubeSat 1U es un cubo de 10 cm de lado, con un peso de entre 1 y 2 kg. Desde la concepción de los CubeSats, se han popularizado tamaños más grandes, tales como 1.5U, 2U, 3U, 6U y 12U. En la figura 2-2 se presentan ejemplos de CubeSats (NASA, 2017)

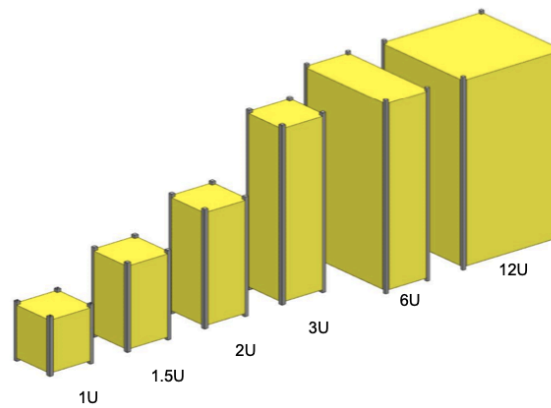


Figura 2-2: Familia de CubeSat 1U – 12U

Fuente: Imagen obtenida de documento de la Universidad Politécnica Estatal de California (Cal Poly SLO, 2022)

2.1.2. Sistema de dispensador CubeSat:

El dispensador de CubeSats actúa como una interfaz entre el CubeSat y el vehículo de lanzamiento. Este componente se acopla al vehículo de lanzamiento, también conocido como cohete, y juega un papel crucial en proteger al CubeSat durante el lanzamiento, además de liberarlo al espacio en el momento preciso.

Existe una diversidad de modelos de dispensadores disponibles en el mercado, cada uno con características únicas, pero todos diseñados para albergar satélites que cumplan con la forma estándar de un CubeSat.

Para ampliar la información, los dispensadores de CubeSat cumplen con una serie de funciones esenciales. En primer lugar, proporcionan una interfaz segura y robusta entre el CubeSat y el cohete, garantizando que el satélite permanezca seguro durante las fuerzas extremas del lanzamiento, en segundo lugar, los dispensadores mantienen el CubeSat en posición hasta que alcanza la órbita deseada, momento en el que se activa un mecanismo de liberación para desplegar el CubeSat en el espacio. Los dispensadores también están diseñados para minimizar las posibilidades de contaminación, tanto del entorno espacial como del propio CubeSat.

Por lo tanto, el dispensador de CubeSat no es solo un simple contenedor, sino una pieza integral y crucial del sistema de lanzamiento que contribuye significativamente a la exitosa puesta en órbita del satélite (NASA, 2017)



Figura 2-3: Instalación de un CubeSat (1U) al dispensador de la empresa ExoLaunch

Fuente: Imagen obtenida página web ExoLaunch (ExoLaunch, 2023)

2.1.3. Vehículo de lanzamiento:

Una de las características que distingue a los CubeSats de otros tipos de satélites es la abundancia de oportunidades de lanzamiento disponibles para ellos. Desde sus primeras apariciones en la escena espacial a principios del 2000, los CubeSats han revolucionado la industria al aprovechar eficientemente el enfoque de la carga útil compartida.

En lugar de requerir un lanzamiento exclusivo y costoso, estos ingeniosos dispositivos han permitido a las organizaciones espaciales lanzar múltiples satélites en una sola misión, este innovador método de lanzamiento ha sido ampliamente adoptado en la industria, lo que ha llevado a la puesta en órbita de más de mil CubeSats en el transcurso de las dos décadas siguientes. Esta tendencia refleja no sólo el auge de los CubeSats, sino también la adaptabilidad y flexibilidad que han introducido en el campo de la exploración espacial.

Los CubeSats son desplegados al espacio utilizando vehículos de lanzamiento o cohetes. Estos pueden variar en tamaño y capacidad, pero a menudo se lanzan como carga secundaria en misiones más grandes. Algunos de los vehículos de lanzamiento que se utilizan con frecuencia para CubeSats incluyen:

- a) Falcon 9 y Falcon Heavy de SpaceX: SpaceX ofrece un programa de rideshare que permite a los CubeSats ser lanzados como carga secundaria. Los precios para este servicio comienzan en \$275.000 dólares para 50kg hacia la órbita sincrónica al sol (SSO), con masa adicional a \$5.500 dólares / kg. (SPACE X, 2023)
- b) Electron de Rocket Lab: Especializado en el lanzamiento de CubeSats, Rocket Lab tiene un vehículo de lanzamiento llamado Electron, que tiene una capacidad de carga útil a la órbita terrestre baja (LEO) de 300 kg. La característica única de Electron es su etapa Kick, que puede entregar pequeños satélites a órbitas precisas y únicas además, Electron es el único cohete orbital pequeño reutilizable, lo que permite un mayor ritmo de lanzamientos sin expandir la producción y reduce los costos de lanzamiento. (RocketLab, 2023)

- c) PSLV de la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO): La ISRO ha estado lanzando comercialmente CubeSats extranjeros como cargas secundarias desde 2009. En 2017, ISRO estableció un récord mundial al lanzar 103 CubeSats a bordo de su Vehículo de Lanzamiento de Satélite Polar (PSLV) para varias empresas extranjeras. (ISRO, 2023)
- d) Ariane 5 y Vega de Arianespace: Arianespace es una empresa europea que ofrece lanzamientos a través de sus vehículos Ariane 5 y Vega. (Arianespace, 2023)

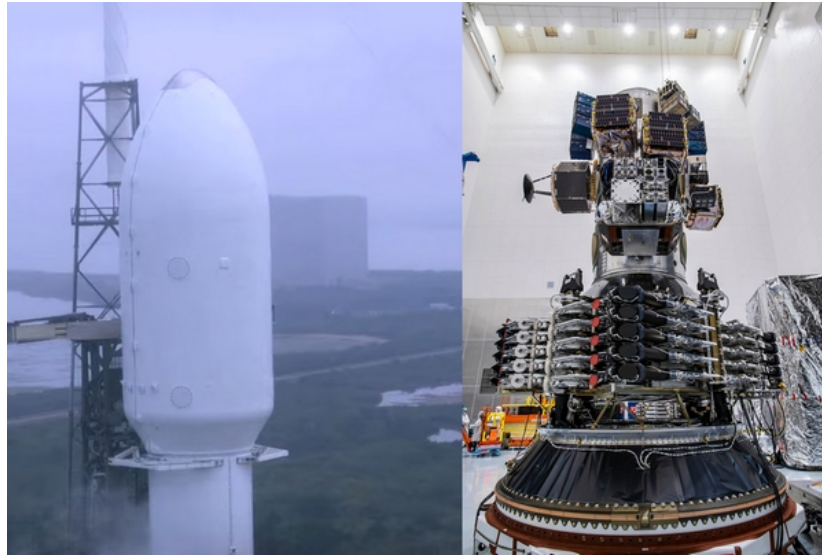


Figura 2-4: SpaceX Transporter-1: un Falcon 9 con 143 satélites a bordo y 10 Starlink

Fuente: Imagen obtenida de la revista digital italiana Hardware Upgrade (Speroni, 2021)

2.1.4.Diagrama de Gantt

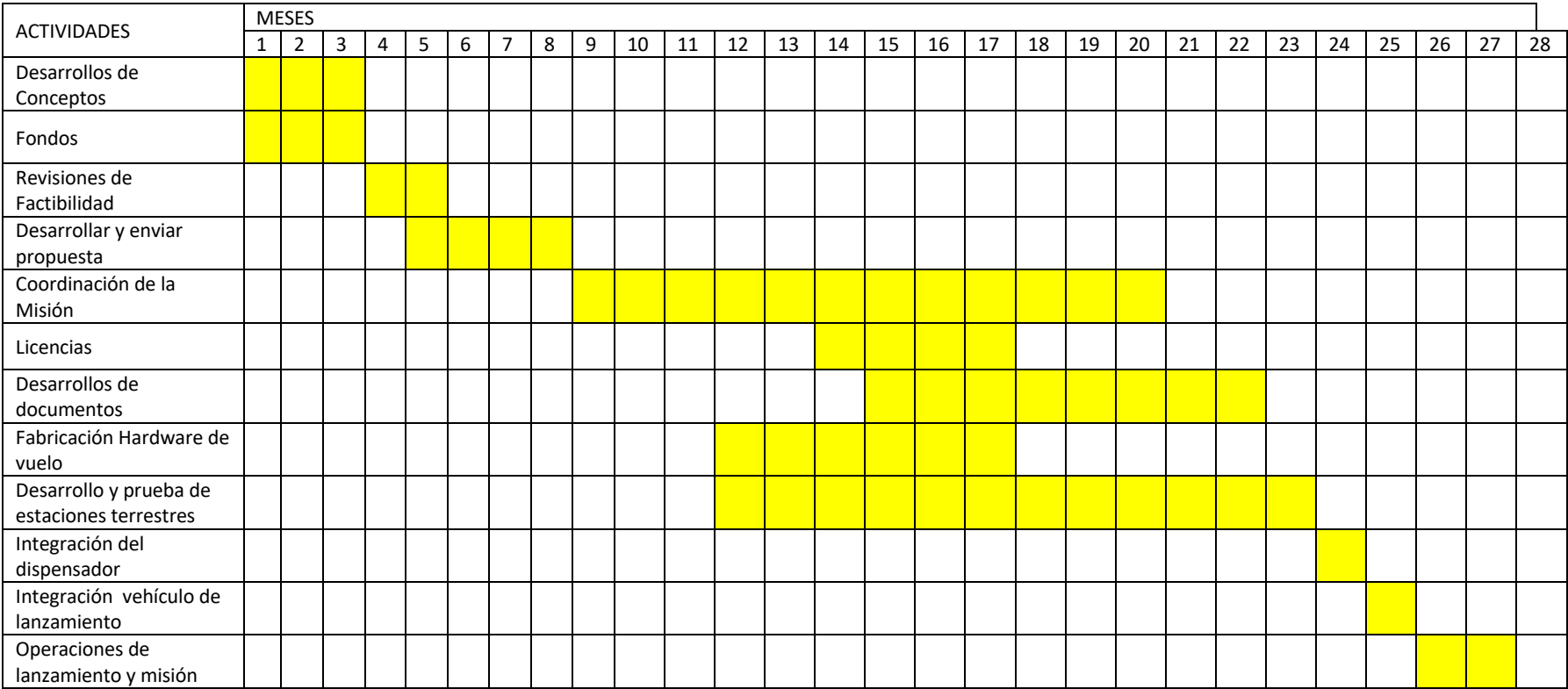


Figura 2-5: Diagrama de Gantt sobre la planificación en el proyecto para el lanzamiento de un CubeSat

Fuente: Elaboración Propia, basado en información extraída de manual “Conceptos básicos y procesos para Desarrolladores de CubeSat por primera vez (NASA , 2017)

2.1.5.Manera en la cual se desarrollara el proyecto

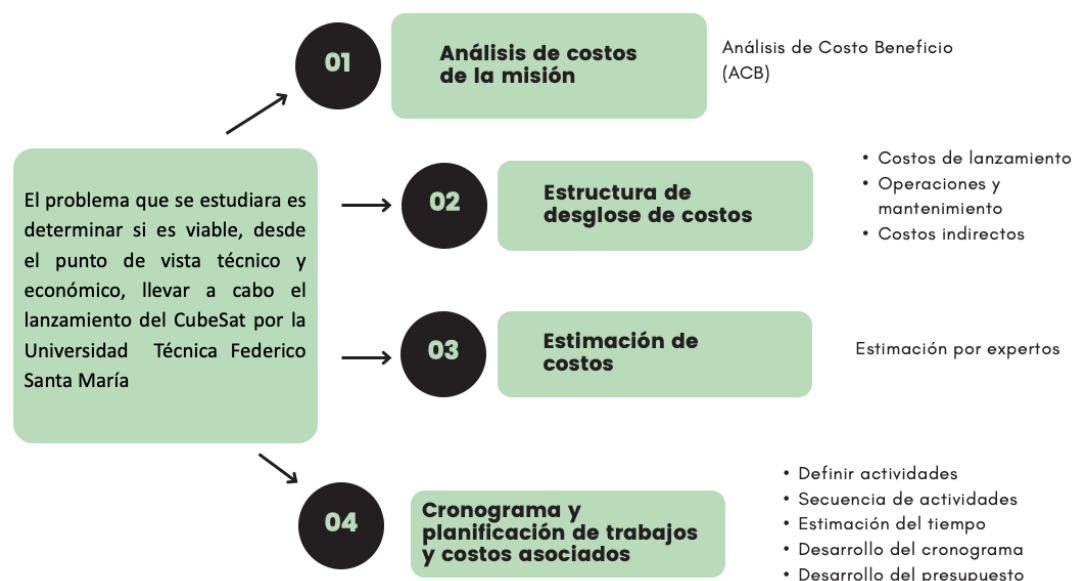


Figura 2-6: Diagrama de Metodología, método y forma en la cual desarrollará el proyecto

Fuente: Imagen elaboración propia

2.2. APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE ESTUDIO

El problema que se desea estudiar es determinar si es viable, desde el punto de vista técnico y económico, llevar a cabo el lanzamiento del CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María, el estudio se centrará en la etapa de lanzamiento, ya que actualmente existen las iniciativas estudiantiles que trabaja en la etapa de construcción del CubeSat, en donde la etapa de poner en órbita se considera un aspecto crítico para el éxito de sus proyectos, esto corresponde a orbitas terrestres bajas (LEO, por sus siglas en ingles), que se extienden desde aproximadamente 160 a 2000 kilómetros sobre la superficie terrestre.

Se analizarán desafíos y oportunidades en la selección de tecnologías de lanzamiento, coordinación con agencias y proveedores, certificaciones, gestión de riesgos y el impacto en la comunidad académica y científica. El estudio también examinará las ganancias potenciales, incluyendo el retorno de inversión en educación, investigación, desarrollo, matrículas, patentes y colaboraciones con el sector espacial. Asimismo, se evaluarán beneficios intangibles como el prestigio y posicionamiento de la universidad a nivel nacional e internacional. Este estudio permitirá a la universidad tomar decisiones informadas y fundamentadas sobre la viabilidad y conveniencia de emprender este ambicioso proyecto.

La Universidad Técnica Federico Santa María (USM) se enfrenta a una serie de desafíos críticos en relación a su Programa de Investigadores de Alta Productividad, manejado por la Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento. A la fecha, la universidad ha identificado tres áreas clave que necesitan ser fortalecidas (USM, 2022)

- e) El reclutamiento, atracción, retención, renovación y sostenibilidad de los investigadores;
- f) La necesidad de una visión institucional en el proceso de selección de académicos que complemente la perspectiva departamental, para cumplir con las metas y objetivos del Plan Estratégico Institucional
- g) La débil difusión y visibilización de los resultados de I+D+i+e, para lograr impacto en la opinión pública a nivel nacional, proporcional al nivel de logros obtenidos.

Por otra parte, la industria aeroespacial está experimentando un crecimiento rápido y significativo, lo cual representa tanto una oportunidad como una amenaza para la USM, la universidad hasta ahora no se ha destacado en esta área, lo que podría llevar a una disminución en la reputación, la capacidad de investigación, la posición en los rankings universitarios, y la capacidad de atraer a mejores estudiantes, investigadores y profesores.

Adicionalmente, este estancamiento podría impactar negativamente en las oportunidades de colaboración, los ingresos por proyectos de investigación y desarrollo, y la capacidad de influencia en las políticas relacionadas con la industria aeroespacial.

Para abordar estos problemas, proponemos un enfoque multi-disciplinario que incluye la realización de un estudio de prefactibilidad técnica y económica para evaluar el lanzamiento de un CubeSat por parte de la USM. El lanzamiento de un CubeSat puede ayudar a la universidad a posicionarse como un líder en la industria aeroespacial, además de atraer y retener a investigadores de alta calidad, adicionalmente, la publicidad y el reconocimiento resultante del lanzamiento exitoso de un CubeSat ayudarán a la universidad a incrementar la visibilidad de sus resultados de I+D+i+e.

En resumen, la USM se enfrenta a desafíos significativos en su programa de investigación, innovación y emprendimiento. La falta de visibilidad en la industria aeroespacial y la necesidad de mejorar la retención de investigadores de alta productividad son amenazas que deben ser enfrentadas, a través de la realización de un estudio de prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat, se busca dar solución a estas problemáticas y alinearse con las metas de la universidad.

2.2.1.Situación base con proyecto Matriz PEYEA

De acuerdo con los resultados preliminares obtenidos de la matriz PEYEA (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal), la Universidad Técnica Federico Santa María podría encontrarse ante una valiosa oportunidad en el mercado aeroespacial. Sin embargo, es importante resaltar que estos resultados son preliminares y que se requiere un análisis más profundo para confirmar esta hipótesis.

La matriz PEYEA sugiere que, a pesar de los posibles desafíos y la competencia existente, la USM podría beneficiarse de adoptar un enfoque proactivo hacia las oportunidades en el mercado aeroespacial. Las estrategias agresivas parecen ser las más prometedoras en este sentido, incluyendo la exploración de la factibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat.

Este enfoque podría permitir a la USM fortalecer su Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento y alinear mejor sus actividades con las metas estratégicas de la universidad. Sin embargo, dado el carácter preliminar de estos hallazgos, es imprescindible realizar un estudio exhaustivo para determinar la viabilidad y la conveniencia de emprender este ambicioso proyecto.

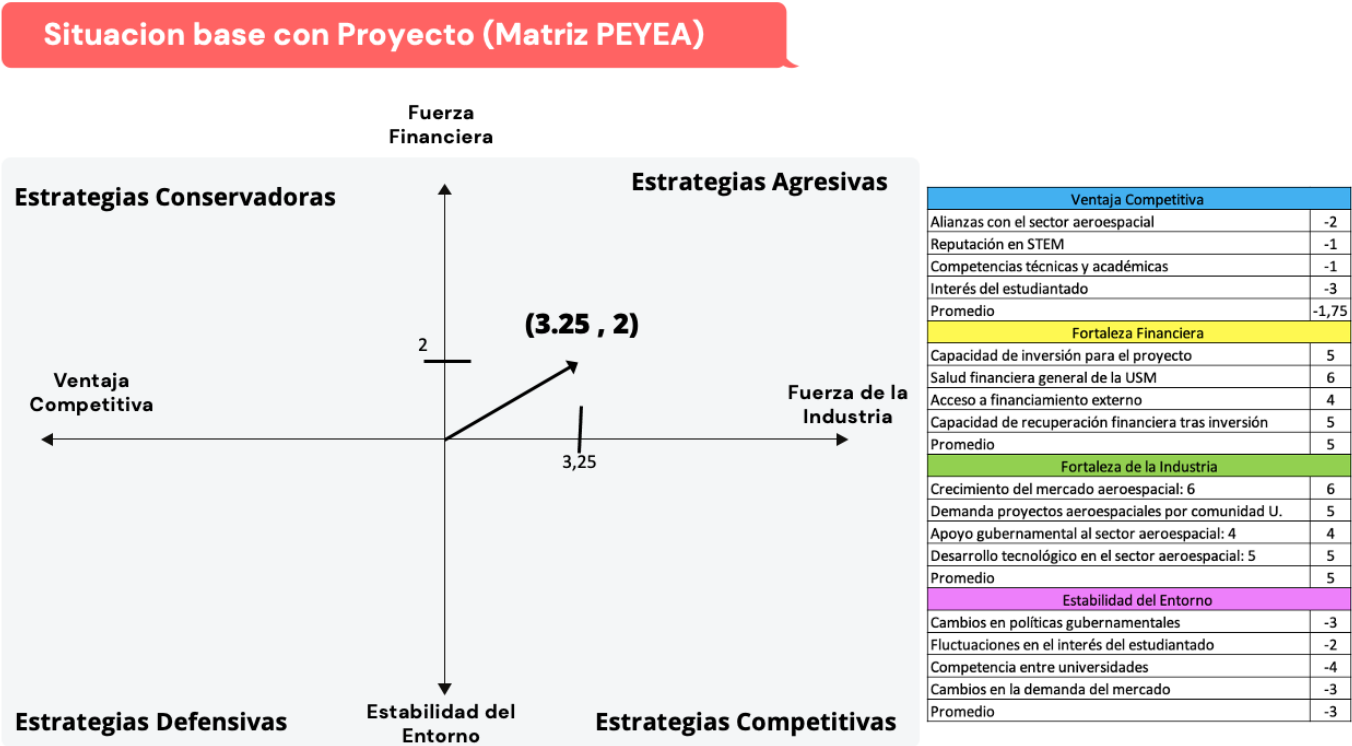


Figura 2-7: Diagrama Matriz PEYEA

Fuente: Diagrama elaboración Propia

Justificación de Puntajes en la Matriz PEYEA:

La presente matriz PEYEA se fundamenta en una evaluación meticulosa de diversos factores estratégicos que determinan la posición actual de la Universidad Técnica Federico Santa María en relación con el proyecto de lanzamiento de un CubeSat. Los puntajes asignados reflejan un análisis integral basado en datos financieros, competitivos, del entorno y de la industria. A continuación, se detallan las justificaciones de cada puntaje asignado:

Fuerza Financiera (FF):

- Capacidad de inversión para el proyecto (5): Este puntaje refleja la liquidez y reservas financieras que la Universidad posee, evidenciadas por su capacidad para financiar proyectos ambiciosos y su historial de manejo eficiente de los recursos disponibles para la investigación.
- Salud financiera general de la USM (6): Los estados financieros de la Universidad demuestran una posición económica robusta, con un flujo de efectivo saludable y un nivel de endeudamiento controlado, permitiendo asignar un puntaje superior en este aspecto.
- Acceso a financiamiento externo (4): La Universidad ha establecido relaciones sólidas con entidades financieras y ha obtenido financiamiento para proyectos anteriores, lo que indica una capacidad favorable para acceder a fondos externos.
- Capacidad de recuperación financiera tras inversión (5): Basado en la diversificación de sus ingresos y el potencial de retorno de inversión de proyectos de investigación, se espera que la Universidad se recupere eficientemente de la inversión inicial.

Ventaja Competitiva (VC):

- Alianzas con el sector aeroespacial (-2): Se asigna un puntaje negativo, reconociendo la necesidad de fortalecer las alianzas estratégicas con la industria aeroespacial para potenciar las oportunidades del proyecto.
- Reputación en STEM (-1): A pesar de la reconocida fortaleza en las áreas de STEM, existe un margen de mejora comparativo que se refleja en este ligero puntaje negativo.
- Competencias técnicas y académicas (1): La Universidad cuenta con capacidades técnicas y académicas respetables que son fundamentales para el desarrollo del proyecto, lo que justifica un puntaje positivo.
- Interés del estudiantado (-3): El desinterés observado entre la población estudiantil en participar en proyectos de esta naturaleza motiva la asignación de un puntaje negativo, señalando un área de mejora en la captación de estudiantes.

Estabilidad del Entorno (EE):

- Cambios en políticas gubernamentales (-3): La asignación de un puntaje negativo se debe a la incertidumbre que suponen los cambios recientes y potenciales en las políticas gubernamentales que podrían afectar la financiación y regulación del proyecto.
- Fluctuaciones en el interés del estudiantado (-2): La variabilidad en las tendencias de matriculación y participación estudiantil en los programas STEM sugiere una estabilidad menor de lo ideal en este grupo demográfico.
- Competencia entre universidades (-4): Un entorno altamente competitivo en el ámbito educativo obliga a asignar un puntaje negativo, lo que refleja el desafío de mantener una posición líder frente a otras instituciones.

Fuerza de la Industria (FI):

- Crecimiento del sector aeroespacial (6): Un sector aeroespacial en plena expansión promete múltiples oportunidades para proyectos como el CubeSat, justificando así un puntaje elevado.
- Demanda por microsátélites para la comunidad (5): Dada la creciente demanda de microsátélites en el ámbito académico y científico, se otorga un puntaje que refleja este interés significativo.
- Apoyo gubernamental al sector aeroespacial (4): Un nivel de apoyo gubernamental beneficioso para el proyecto, aunque con cierta incertidumbre, motiva la asignación de este puntaje.
- Desarrollo tecnológico en el sector aeroespacial (5): La innovación y el avance tecnológico

A continuación, se expone uno de los problemas actuales que enfrenta la Universidad Técnica Federico Santa María y cómo la propuesta del estudio de prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat puede ayudar a resolver estos problemas.

Una licencia en el contexto de la propiedad intelectual es un permiso concedido por el titular de una tecnología protegida para que un tercero pueda usarla o explotarla comercialmente. Este permiso suele formalizarse mediante un contrato de licencia, que establece los términos bajo los cuales la tecnología puede ser utilizada por el licenciataria.

El concepto de transferencia tecnológica se refiere al procedimiento por el cual una entidad que ha desarrollado tecnología la pone a disposición de un tercero para que éste la use o explote. La Universidad Técnica Federico Santa María ha llevado a cabo este proceso con éxito, celebrando 12 contratos de licenciamiento con empresas nacionales e internacionales entre 2016 y 2021, mostrando su capacidad de transformar innovaciones en aplicaciones prácticas y comerciales.

Sin embargo, se ha registrado una tendencia a la baja en la generación de nuevas licencias, lo que plantea preocupaciones sobre el impacto en la reputación y la sostenibilidad financiera de la universidad. Ante este desafío, la iniciativa de lanzar un CubeSat promete ser un catalizador para el rejuvenecimiento de la generación de licencias. Desarrollar y poner en órbita su propio CubeSat no solo potencia la posibilidad de generar nuevos contratos de licencia sino que también promueve la emergencia de innovaciones secundarias que podrían ampliar el alcance de la transferencia tecnológica de la universidad. (USM, 2022)

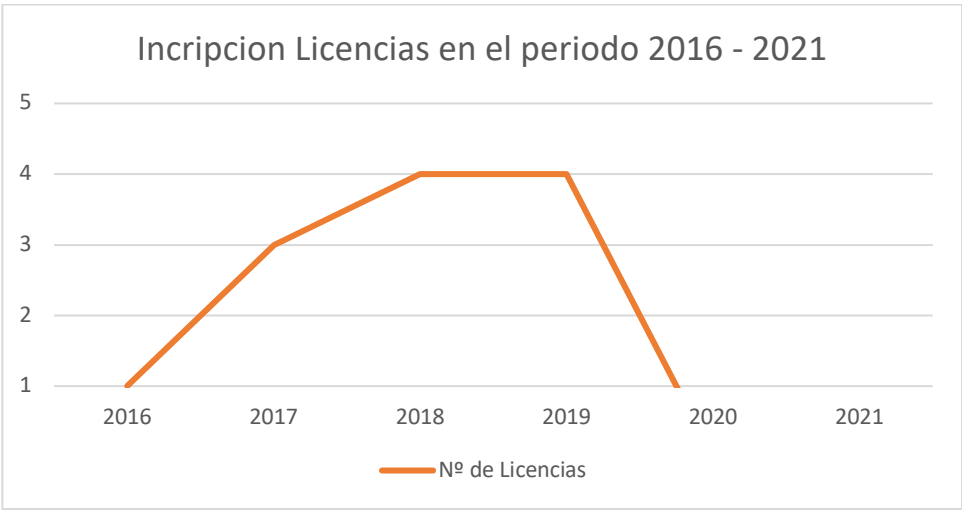


Figura 2-8: Gráfico de Licencias Federico Santa María

Fuente: Elaboración Propia, información extraída de Informe de Autoevaluación Institucional 2022 (USM, 2022)

2.3. OBJETIVOS

La perspectiva metodológica empleada en este estudio se centra en la investigación y análisis de datos relevantes, así como en la evaluación y comparación de opciones técnicas y económicas. El producto final es un documento al que se aspira es un estudio detallado que proporcione información y recomendaciones sólidas sobre la prefactibilidad del lanzamiento del CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María

2.3.1. Objetivo General:

Evaluar la prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María

2.3.2. Objetivos Específicos:

- a) Diagnosticar las oportunidades y los retos a los que se enfrenta la institución en el marco del dinámico y en constante expansión sector aeroespacial.
- b) Evaluar las tecnologías y alternativas de lanzamiento disponibles, considerando su adecuación a los requisitos del CubeSat de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- c) Estimar los costos y beneficios asociados con el lanzamiento del CubeSat, considerando el retorno de la inversión en términos de educación, investigación, desarrollo y colaboraciones.

En cuanto a las limitaciones y suposiciones, este estudio se basará en información y datos disponibles hasta la fecha del análisis, lo que podría no incluir cambios futuros en el sector aeroespacial o en las tecnologías disponibles. Además, las estimaciones de costos y beneficios estarán sujetas a ciertas suposiciones y variaciones, ya que factores externos pueden influir en los resultados

3. CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COSTOS, ECONÓMICO Y FINANCIERO

3.1. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO CUBESAT

La evaluación financiera es un componente esencial en la planificación y ejecución de cualquier proyecto, y en el caso del proyecto CubeSat de la Universidad Federico Santa María, adquiere una relevancia particular. Esta evaluación no solo permite determinar la viabilidad económica del proyecto, sino que también proporciona una hoja de ruta clara para la asignación de recursos, la gestión de costos y la maximización de los retornos sobre la inversión.

El proyecto CubeSat, al ser una iniciativa que involucra la puesta en órbita de un satélite, presenta desafíos y consideraciones financieras únicas, desde la inversión inicial en diseño, construcción y lanzamiento, hasta los costos operativos y de mantenimiento durante su vida útil, cada etapa del proyecto tiene implicaciones financieras que deben ser cuidadosamente evaluadas y gestionadas, este proyecto se centrará en el lanzamiento, pero sin dejar de lado los puntos anteriormente mencionados.

El horizonte de evaluación financiera para este proyecto se ha establecido en 5 años, que coincide con la vida media del satélite en órbita. Este período representa el tiempo durante el cual se espera que el satélite esté operativo y generando valor, ya sea en términos de datos recopilados, impacto educativo, o cualquier otro beneficio derivado de su misión. Al establecer un horizonte de 5 años, se busca tener una visión completa del ciclo de vida del proyecto, desde su concepción hasta el final de sus operaciones en órbita.

A lo largo de esta evaluación, se abordarán aspectos clave como la estructura de costos, las fuentes de financiamiento, las proyecciones de ingresos y los posibles riesgos financieros. Además, se analizarán las oportunidades de generación de valor y los beneficios tangibles e intangibles que el proyecto puede aportar a la universidad y a la comunidad en general.

La ambición de lanzar un CubeSat al espacio no es una tarea menor, es un proyecto que requiere una meticulosa planificación, recursos adecuados y una estrategia bien definida. En este capítulo, se centrará en establecer los recursos necesarios para llevar a cabo este ambicioso proyecto, se aplicará la ingeniería en términos conceptuales para definir las estrategias de solución que nos permitirán alcanzar el objetivo.

Es esencial recalcar que el núcleo de este proyecto se centra en el lanzamiento del CubeSat, sin embargo, en paralelo y de manera distinta, existen dos iniciativas que están en marcha en este preciso momento, por un lado, la iniciativa USM CUBESAT TEAM está gestionando la construcción del CubeSat, esta iniciativa estudiantil, en su fase actual, se está utilizando principalmente en la creación de tecnología y desarrollo del CubeSat. Por otro lado, el Centro Tecnológico Aeroespacial de la USM está trabajando en el laboratorio de pruebas y seguimiento del CubeSat una vez que esté en órbita.

Este proyecto, en su primera etapa de estudio, está liderado por María José Escobar, quien también desempeña el papel de Directora de Vinculación con el Medio de la universidad.

Es crucial entender que, aunque ambas iniciativas están en marcha, ninguna de ellas está diseñada específicamente para el lanzamiento del CubeSat. El Centro Tecnológico, en su estado actual, no tiene planes inmediatos para lanzar el CubeSat al espacio, sin embargo, ambas iniciativas comparten una visión común: reconocen la importancia de que la universidad se inserte en el mundo aeroespacial.

En consecuencia, el estudio de prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento del CubeSat representa la tercera dimensión esencial que la universidad requiere para consolidar su posición en la carrera aeroespacial. Mediante este análisis, no solo se garantizara la presencia del CubeSat en órbita, sino que también la capacidad de desarrollar tecnologías de vanguardia, llevar a cabo investigaciones pioneras y generar beneficios económicos para la institución.

En conclusión, la evaluación financiera del proyecto CubeSat es una herramienta vital para garantizar su éxito y sostenibilidad. Al comprender a fondo las implicaciones económicas y financieras del proyecto, la Universidad Federico Santa María estará mejor posicionada para tomar decisiones informadas y maximizar el impacto positivo del CubeSat durante su vida operativa en el espacio.

3.2. INVERSIONES

Para llevar a cabo el lanzamiento exitoso de un CubeSat, es esencial considerar una serie de inversiones que garantizarán no solo la ejecución del proyecto, sino también su sostenibilidad y éxito a largo plazo. A continuación, se detallan las principales áreas de inversión:

Tabla 3-1: Principales áreas de Inversión

Área de Inversión	Detalles
Desarrollo y Construcción del CubeSat	Hardware y Software: Costos asociados con componentes esenciales, sistemas de control, sistemas de comunicación, etc.
	Mano de obra especializada: Ingenieros y técnicos
	Pruebas y Validaciones: Laboratorios y centros de pruebas.
Lanzamiento	Servicios de Lanzamiento: Contratación de empresas especializadas.
	Seguros: Cobertura para eventualidades durante el lanzamiento.
Operaciones en Órbita	Estación Terrestre: Infraestructura y equipo.
	Operadores y Técnicos: Personal capacitado.
	Mantenimiento y Actualizaciones: Fondos para actualizaciones o solución de problemas.
	Cursos y Talleres: Formación continua.
Formación y Capacitación	Colaboraciones con Instituciones Externas: Alianzas con otras universidades o centros de investigación.
Contingencias	Reserva de un porcentaje del presupuesto para imprevistos o eventualidades.

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida de entrevista Rodrigo Cassinelli (Cassineli, 2023)

Para la estructuración y planificación de este proyecto, se utilizará como principal referencia el libro "CubeSat Handbook: From Mission Design to Operations" (Cappelletti C. , 2020). Este manual proporciona una guía detallada sobre la planificación de misiones CubeSat, abordando aspectos esenciales como las fases del proyecto, la documentación necesaria y los procesos de revisión. El proyecto se estructurará en siete fases distintas, comenzando con la fase 0 y continuando con las fases que van desde la letra A hasta la F. Cada una de estas fases tendrá actividades específicas asociadas, que se alinearán con las directrices y recomendaciones del "CubeSat Handbook". Estas actividades serán cruciales para garantizar que cada etapa del proyecto se desarrolle de manera eficiente y efectiva.

Es importante destacar que, a diferencia de la carta Gantt presentada en la figura 2-5, este nuevo diagrama se centrará exclusivamente en las fases del proyecto, sin asignar duraciones específicas entre ellas. El propósito de esta estructura es permitir una mayor flexibilidad en la planificación y, posteriormente, asignar los valores de inversión necesarios para cada fase. Además, cada fase tendrá un responsable designado, garantizando que haya un punto de contacto y supervisión clara para cada etapa del proyecto.

Con esta estructura en mente, el siguiente paso será detallar las actividades específicas de cada fase, asignar los recursos financieros necesarios y designar a los responsables. Esta planificación meticulosa asegurará que el proyecto CubeSat se desarrolle con éxito y cumpla con todos los objetivos establecidos.

- a) Fase 0: Esta fase se centra en la etapa inicial de conceptualización del proyecto. Es una fase exploratoria donde se evalúan las ideas iniciales y se determina la viabilidad del proyecto.
- b) Fase A: Durante esta fase, se elaboran los requisitos funcionales del sistema. Se identifican y definen las funciones principales que el sistema debe realizar para cumplir con la misión o propósito del proyecto.
- c) Fase B: En esta fase, se elaboran los requisitos técnicos del sistema. Se identifican y definen las especificaciones técnicas y los conceptos del sistema que se utilizarán para cumplir con los requisitos funcionales establecidos en la Fase A.
- d) Fase C: Esta fase comprende el desarrollo de los segmentos espaciales y terrestres del proyecto. Se lleva a cabo el diseño detallado y se inicia la construcción o implementación de los componentes del sistema.
- e) Fase D: Durante esta fase, se realiza la calificación de los segmentos espaciales y terrestres desarrollados en la Fase C. Esto implica pruebas y validaciones para asegurar que los componentes del sistema cumplan con los requisitos establecidos.
- f) Fase E: Esta fase abarca todas las actividades relacionadas con el lanzamiento, puesta en marcha, utilización y mantenimiento de los elementos orbitales. Una vez que el sistema está en operación, se monitorea y gestiona para asegurar su correcto funcionamiento.
- g) Fase F: En esta fase final, se llevan a cabo todas las actividades necesarias para concluir el proyecto. Esto puede incluir la disposición de los diferentes segmentos del sistema de acuerdo con las regulaciones nacionales e internacionales, así como cualquier actividad de cierre o desactivación del sistema.

3.3. DOCUMENTACIÓN MÍNIMA REQUERIDA EN LAS DIFERENTES FASES

Fase A: Revisión PRR (Revisión de Requisitos del Proyecto)

Tabla 3-2: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase A

Documento	Estado
Plan de Organización del Proyecto	Nuevo
Documento de Requisitos de la Misión	Nuevo
Documento de Concepto de Operación de la Misión	Nuevo
Definición de la Arquitectura del Sistema	Nuevo
Documento de Requisitos del Sistema	Nuevo
Análisis de Presupuesto	Nuevo

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida del libro CubeSat Handbook (Cappelletti C. , 2020)

Fase B: Revisión PDR (Revisión de Diseño Preliminar)

Tabla 3-3: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase B

Documento	Estado
Plan de Organización del Proyecto	Actualizado
Documento de Requisitos de la Misión	Finalizado
Documento de Concepto de Operación de la Misión	Actualizado
Definición de la Arquitectura del Sistema	Actualizado
Documento de Requisitos del Sistema	Finalizado
Especificación Técnica de la Nave Espacial	Nuevo
Especificación Técnica del Segmento Terrestre	Nuevo
Análisis de Presupuesto	Actualizado
Plan AIV	Nuevo
Solicitud de Frecuencia	Nuevo y finalizado

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida del libro CubeSat Handbook (Cappelletti C. , 2020)

Fase C: Revisión CDR (Revisión de Diseño Crítico)

Tabla 3-4: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase C

Documento	Estado
Plan de Organización del Proyecto	Finalizado
Documento de Concepto de Operación de la Misión	Actualizado
Definición de la Arquitectura del Sistema	Finalizado
Especificación Técnica de la Nave Espacial	Finalizado
Especificación Técnica del Segmento Terrestre	Finalizado
Análisis de Presupuesto	Finalizado
Plan y Procedimientos AIV	Finalizado
Documento de Control de Verificación	Nuevo
Aceptación de Solicitud de Frecuencia	Nuevo
Procedimientos de Operación de la Misión	Nuevo

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida del libro CubeSat Handbook (Cappelletti C. , 2020)

Fase D: Revisión AR (Revisión de Aceptación)

Tabla 3-5: Documentación Mínima requerida en la entrega de la fase D

Documento	Estado
Informes de Prueba	Nuevo/finalizado
Documento de Control de Verificación	Finalizado
Documento de Concepto de Operación de la Misión	Finalizado
Procedimientos de Operación de la Misión	Finalizado

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida del libro CubeSat Handbook (Cappelletti C. , 2020)

3.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS

La estimación de costos se realizara de acuerdo a las técnicas utilizadas en el PMBOK sexta edición (Project Management Intitute, 2017), como lo son:

- a) Juicio de expertos: donde una persona o un grupo de personas que han trabajado en proyectos similares tienen la experiencia suficiente para estimar el costo.
- b) Estimación análoga: que utiliza un costo de proyecto conocido, con características similares, para estimar los gastos para este proyecto.
- c) Estimación paramétrica: que utiliza información estadística para crear modelos de estimación.
- d) Estimación de abajo hacia arriba: consiste en determinar el costo de cada paquete de trabajo.
- e) Estimación de tres puntos: que se utiliza para tener en cuenta la incertidumbre y el riesgo. Se consideran tres estimaciones diferentes: más probable, optimista y pesimista. Luego, el costo esperado se obtiene mediante una fórmula que depende del modelo de distribución deseado.
- f) Herramientas de estimación de software: que son específicas para diferentes áreas de especialización.

En el desarrollo de proyectos relacionados con el ámbito espacial, como el presente estudio de prefactibilidad técnica y económica para el lanzamiento de un CubeSat, se han establecido directrices para expresar la incertidumbre en las estimaciones de costo, esto según el Manual de Estimación de Costos de la Nasa (NASA, 2015)

- a) Fase 0: El costo se estima con un margen de $\pm 20\%$ a $+40\%$.
- b) Fases A y B: El costo se estima con un margen de $\pm 15\%$ a $+35\%$.
- c) Fase C: El costo se estima con un margen de $\pm 10\%$ a $+15\%$.
- d) Fase D y fases subsiguientes: El costo se estima con un margen de $\pm 5\%$ a $+10\%$.

A medida que el proyecto avanza hacia su madurez, las estimaciones tienden a ser más precisas. Es imperativo documentar y comunicar adecuadamente las incertidumbres asociadas a dichas estimaciones, las fuentes de incertidumbre pueden abarcar aspectos como: negociaciones en curso, concurrencia, riesgos asociados al cronograma, requisitos de rendimiento aún no consolidados, y suposiciones críticas, entre otros.

El registro de riesgos del proyecto debe ser considerado como un elemento esencial al realizar la estimación de costos, la materialización de riesgos identificados puede resultar en desviaciones significativas del cronograma y costo planificados.

Además, es esencial considerar las "reservas de gestión" en la estimación, estas reservas, previamente acordadas con la organización, se destinan a cubrir desviaciones no anticipadas, se recomienda un margen del 10% en las etapas iniciales del proyecto, aunque estas reservas se incluyen en la estimación inicial, no deben ser contabilizadas al monitorear el costo efectivo del proyecto.

Dada la naturaleza dinámica de proyectos como el lanzamiento de un CubeSat, donde la incertidumbre en los requisitos puede ser alta, es crucial adoptar un enfoque modular en la estimación de costos. A pesar de los desafíos, es necesario realizar una estimación integral en la fase de planificación, utilizando presupuestos detallados para garantizar la adaptabilidad a escenarios cambiantes.

Se Utilizara la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) para descomponer el trabajo en partes más pequeñas y manejables

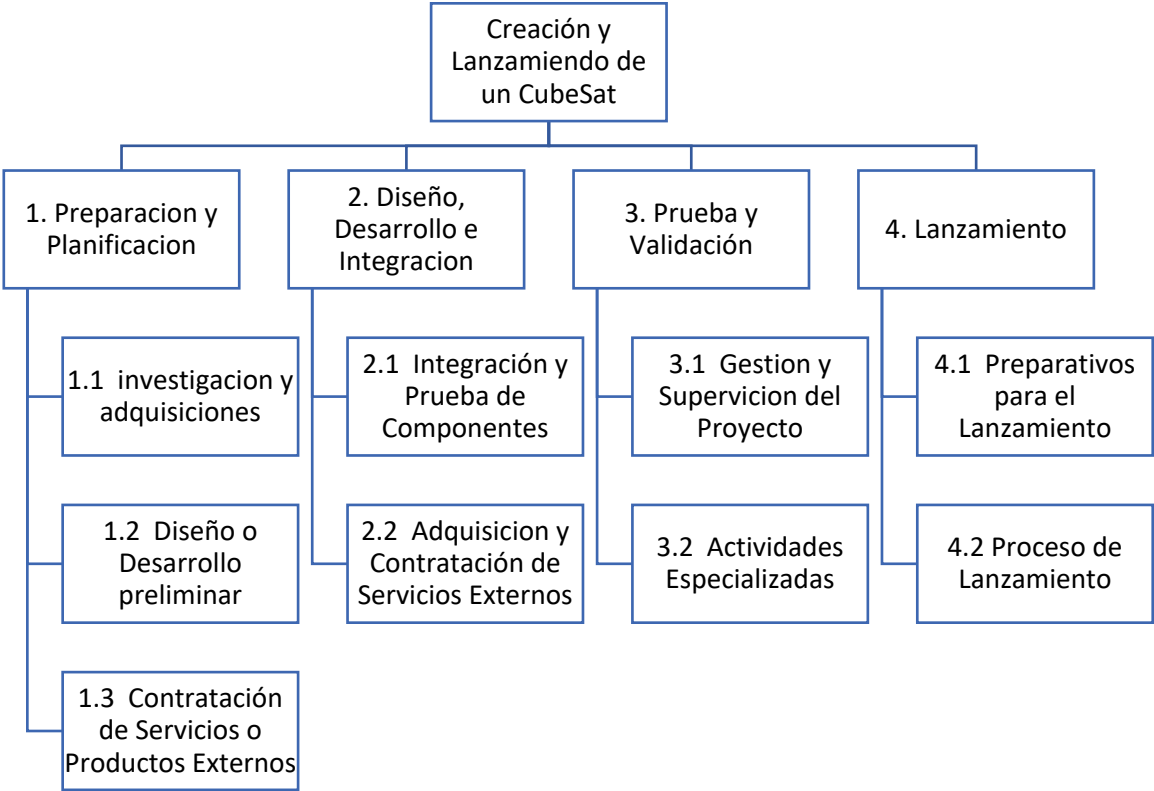


Figura 3-1: Desglose de trabajo (EDT)

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida de entrevista Rodrigo Cassinelli (Cassinelli, 2023)

3.4.1.Detalles de las EDT para el Proyecto de Lanzamiento de CubeSat

1.0 Preparación y Planificación

- 1.1 Establecimiento de Fundamentos y Primeras Adquisiciones
 - Investigación inicial
 - Definición de requisitos iniciales
- 1.2 Diseño o Desarrollo Preliminar
 - Análisis detallado de los requisitos
 - Definición del concepto de la misión
- 1.3 Contratación de Servicios o Productos Externos
 - Adquisición de componentes clave
 - Subcontratación de servicios especializados para el lanzamiento

2.0 Diseño, Desarrollo e Integración

- 2.1 Integración o Prueba de Componentes
 - Desarrollo de componentes del sistema
 - Fabricación de componentes del sistema

- 2.2 Adquisición de un Sistema Completo o Contratación de un Servicio Externo de Gran Envergadura
 - Evaluación y selección de proveedores
 - Contratación y adquisición

3.0 Pruebas y Validación

- 3.1 Gestión o Supervisión del Proyecto
 - Integración de componentes
 - Realización de pruebas integrales
- 3.2 Actividades Especializadas
 - Uso de laboratorios especializados
 - Uso de centros de pruebas

4.0 Lanzamiento

- 4.1 Preparativos para el Lanzamiento
 - Coordinación con la entidad de lanzamiento
 - Verificación final del CubeSat
- 4.2 Proceso de Lanzamiento
 - Integración del CubeSat en el vehículo de lanzamiento
 - Monitoreo y seguimiento del lanzamiento

Tabla 3-6: Estimación de costos de las EDT , expresado en peso chileno (CLP) y UF, calculado al 31 de Octubre 2023 a \$36.338

Código	Recurso Humano (CLP)	Instalaciones (CLP)	Suministros, Servicios Externos (CLP)	Subcontratos (CLP)	Costos Indirectos (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
1.1	8.450.000	4.225.000	2.535.000	—	422.500	15.632.500	430
1.2	1.690.000	—	2.112.500	—	845.000	4.647.500	128
1.3	—	—	—	42.250.000	—	42.250.000	1.163
2.1	2.535.000	422.500	16.900.000	—	422.500	20.280.000	558
2.2	2.112.500	—	—	126.750.000	1.690.000	130.552.500	3.593
3.1	4.225.000	1.690.000	—	—	2.535.000	8.450.000	233
3.2	422.500	8.450.000	—	—	1.690.000	10.562.500	291
4.1	—	—	—	235.000.000	—	235.000.000	6.467
4.2	—	—	9.600.000	—	—	9.600.000	264
costo final	—	—	—	—	—	476.975.000	13.126

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida de entrevista, Rodrigo Cassinelli (Cassinelli, 2023), Manual de Estimación de Costos de la Nasa (NASA, 2015)

3.4.2.Importancia y Costos de Instalar una Base Estación de Monitoreo

La implementación de una estación terrena para nanosatélites tipo CubeSat, especialmente en la banda de 2.4 GHz, es un componente crucial para garantizar una comunicación y monitoreo eficientes del satélite una vez que está en órbita. Aunque el seguimiento puede realizarse mediante radioaficionados o contratando servicios de agencias externas especializadas en monitorear CubeSats, establecer una estación terrena propia ofrece ventajas significativas en términos de autonomía, control, y gestión de datos. (Rojas J. , 2016)

Importancia:

1. Control Autónomo: Tener una estación terrena propia permite a la Universidad Federico Santa María tener control directo sobre las operaciones de monitoreo y comunicación con el satélite, facilitando la realización de ajustes en tiempo real y asegurando la integridad de los datos transmitidos y recibidos.
2. Gestión de Datos: La estación terrena permite gestionar de manera eficiente y segura los datos recopilados por el satélite, asegurando que la información sea procesada, almacenada y utilizada de manera óptima para fines de investigación y aprendizaje.
3. Desarrollo Educativo: La estación terrena sirve como una herramienta educativa invaluable, ofreciendo a los estudiantes y al personal académico la oportunidad de interactuar directamente con tecnologías de comunicación satelital y participar activamente en misiones espaciales.

Costos:

La implementación de una estación terrena implica varios costos asociados con equipos, infraestructura y personal:

a) Equipo Transceptor: Radio USRP 2922

- Costo: Entre \$1.816.000 y \$3.632.000.
- Nota: Estas radios definidas por software pueden tener un costo que varía ampliamente dependiendo del proveedor y las especificaciones exactas.

b) Antena y Sistema de Posicionamiento: Antena parabólica modelo Kaultronics S-7.5

- Costo: Entre \$908.000 y \$2.724.000.

c) Instalación y Configuración

- Costo: Entre \$908.000 y \$1.816.000 CLP.

d) Mantenimiento

- Costo: Entre \$363.200 y \$817.200 CLP anuales.
- Nota: El mantenimiento anual, que incluye inspecciones regulares, reemplazo de piezas desgastadas y actualizaciones de software, podría costar alrededor del 10% del costo inicial.

e) Infraestructura

- Costo: Entre \$4.540.000 y \$9.080.000 CLP.
- Nota: Si se necesita construir o adaptar un espacio para albergar la estación terrena, los costos podrían variar ampliamente. Una estimación conservadora podría ser de \$4.540.000 para adaptaciones menores en un edificio existente.

f) Licencias y Permisos

- Costo: Entre \$454.000 y \$1.362.000.
- Nota: Dependiendo de las regulaciones locales, podría haber costos asociados con licencias de operación o permisos.

g) Personal

- Costo: Variable, dependiendo del nivel de experiencia y la cantidad de personal necesario.
- Nota: Es esencial contar con personal capacitado para operar la estación terrena, gestionar los datos y realizar mantenimiento y actualizaciones del sistema.

La inversión en una estación terrena, aunque significativa, fortalece la capacidad de la universidad para gestionar y controlar de manera autónoma las operaciones del satélite, maximizando los beneficios educativos y de investigación derivados del proyecto CubeSat.

3.4.3.Costos de Construcción de un CubeSat

Dentro del ámbito espacial, la viabilidad técnica y económica de los proyectos es fundamental para determinar su factibilidad, en este sentido, se ha tomado en consideración diferentes opciones en cuanto a la obtención de los insumos necesarios.

Es imperativo aclarar que la tabla que se presenta a continuación considera los costos en el contexto de adquirir componentes ya fabricados y el subsiguiente ensamblaje de estos en el laboratorio que ha sido acondicionado para tal propósito. Esta opción, si bien puede ofrecer ciertas ventajas en términos de calidad y garantía, también conlleva un costo económico significativo. Se incluído en el análisis dos cotizaciones provenientes de reconocidas empresas en la industria de CubeSats: EnduroSat y PumpkinSpace.

No obstante, la esencia de este informe es destacar una alternativa más asequible y enriquecedora: la creación de un CubeSat desde cero, aprovechando equipos especializados y las iniciativas estudiantiles existentes dentro de nuestra universidad. Esta opción, al implicar un proceso de fabricación interno, representa una reducción considerable en los costos, pero más allá del ahorro económico, este enfoque tiene el potencial de generar investigación valiosa, permitir a los estudiantes adquirir experiencia práctica y promover la innovación tecnológica, además, el control total sobre el proceso de fabricación otorga la flexibilidad necesaria para simplificar y optimizar los procedimientos, lo que se traduce en reducciones adicionales de costos y en la creación de tecnología propia.

Tabla 3-7: costos de construcción de un CubeSat, expresado en peso chileno (CLP) y UF, calculado al 31 de Octubre 2023 a \$36.338

Componentes	EnduroSat (CLP)	EnduroSat (UF)	PumpkinSpace (CLP)	PumpkinSpace (UF)
Estructura CubeSat 1U	1.768.900	49	1.131.165	31
Transmisor para comunicación	30.071.300	828	26.068.000	717
Antena	9.123.800	251	10.241.000	282
Computador a bordo + Licencia	10.892.700	300	16.123.058	444
Batería	4.189.500	115	2.327.500	64
paneles solares	3.165.400	87	2.327.500	64
Estabilizador	4.655.000	128	4.003.300	110
Total (CLP)	63.866.600	1758	62.221.523	1712

Fuente: Elaboración Propia, Información obtenida en páginas web de EnduroSat (Endurosat, 2023) y PumpkinSpace (PumpkinSpace, 2023)

A continuación, se detallan los costos vinculados a la construcción de un CubeSat. Sin embargo, a diferencia del cuadro previo, estos valores corresponden a un proyecto gestionado a través de una iniciativa estudiantil. Los montos presentados se basan en cotizaciones realizadas por la Iniciativa Estudiantil “USM CubeSat Team”. Estas cotizaciones tienen como objetivo la obtención de financiamiento a través del programa Semillero, los fondos de Iniciativas Estudiantiles PIE>A y la postulación a fondos del programa Ingeniería 2030.

Es relevante destacar que, gracias a este enfoque estudiantil y a las diversas fuentes de financiamiento exploradas, se logra una reducción significativa en los costos, que se estima en un ahorro de alrededor del 50%. Esto arroja un costo total de \$30.000.000, donde se incluyen las pruebas, validaciones y gastos operativos asociados al proyecto.

a) Materiales y Componentes del CubeSat: \$15.000.000 CLP

- Descripción: Costo de los materiales y componentes necesarios para construir el CubeSat.
- Justificación: Los materiales y componentes (como paneles solares, baterías, transmisores, etc.) son esenciales para la construcción del satélite.

b) Manufactura y Ensamblaje: \$5.000.000 CLP

- Descripción: Costos asociados con la manufactura y ensamblaje de partes del CubeSat.
- Justificación: Aunque parte del trabajo puede ser realizado por estudiantes o personal de la universidad, algunos componentes pueden requerir manufactura especializada.

c) Pruebas y Validaciones: \$4.000.000 CLP

- Descripción: Costos relacionados con la realización de pruebas para validar el diseño y funcionamiento del CubeSat.
- Justificación: Las pruebas son cruciales para asegurar que el CubeSat funcione correctamente en el espacio, estas se realizarán en laboratorios externos.

d) Logística y Transporte: \$3.000.000 CLP

- Descripción: Costos de logística y transporte de componentes y del CubeSat terminado.
- Justificación: Es necesario transportar componentes entre proveedores, laboratorios y, finalmente, al sitio de lanzamiento.

e) Gastos Operativos en Tierra: \$2.000.000 CLP

- Descripción: Costos operativos para el seguimiento y operación del CubeSat una vez esté en órbita.
- Justificación: Incluye costos de operación de estaciones terrestres, uso de antenas, y otros recursos para operar el CubeSat en el espacio.

f) Gastos de Comunicación y Datos: \$1.000.000 CLP

- Descripción: Costos asociados con las comunicaciones y transmisión de datos desde y hacia el CubeSat.
- Justificación: Es vital mantener una comunicación constante con el CubeSat para recibir datos y enviar comandos.

3.5. **GANANCIAS DEL PROYECTO PARA LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

Considerando que se trata de un proyecto universitario y no necesariamente de una empresa con fines de lucro, la prioridad podría ser recuperar la inversión y generar un excedente que pueda ser reinvertido en futuros proyectos o en la misma universidad. La implementación del proyecto CubeSat no solo representa un avance significativo en términos de investigación y desarrollo para la Universidad Federico Santa María, sino que también se traduce en diversas fuentes de ingresos que pueden ser capitalizadas para fortalecer y expandir aún más sus iniciativas académicas y científicas.

Tabla 3-8: Resumen de Ganancias del Proyecto, expresado en peso chileno (CLP) y UF, calculado al 31 de Octubre 2023 a \$36.338

Ganancias del Proyecto	0	1	2	3	4	5
Ingreso por matriculas nuevas (CLP)		16.217.025	30.242.806	44.733.090	59.695.774	75.138.889
Donaciones (CLP)		25.384.240	25.815.772	26.254.640	26.700.969	27.154.886
Fondos por Investigación de Postgrados (CLP)		183.309.440	186.425.700	189.594.937	192.818.051	196.095.958
Educación y Formación (CLP)		43.389.880	44.127.508	44.877.676	45.640.596	46.416.486
Total (CLP)		268.300.585	272.861.695	277.500.344	282.217.850	287.015.553
Total (UF)		7.383	7.509	7.636	7.766	7.898

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1. Incremento en Matrículas:

- Ganancia: \$16.217.025 CLP primer año. (tabla N.º 3-8)
- Detalle: Gracias al proyecto CubeSat, se estima de manera conservadora un aumento del 2% en las matrículas de carreras de pregrado y programas de postgrado vinculados al proyecto. Dado que la ganancia neta por alumno es de \$134.025 anualmente (Vicerrectoría de Asuntos Económicos y Administrativos, 2023) y se espera un incremento de 121 estudiantes adicionales, la universidad anticipa una ganancia de \$16.217.025 para el primer año. Esta cifra se prevé que se repita durante los cinco periodos siguientes, para este cálculo, se ha considerado una tasa de crecimiento anual del 1,7%. Adicionalmente, se proyecta que, del total de estudiantes que ingresen el primer año, solo el 82% continuará al segundo periodo, el 69% de estos avanzará al tercer periodo, y el 55% persistirá durante el resto de su carrera (USM, 2022), Con estos números en perspectiva, el futuro financiero relacionado al proyecto CubeSat se presenta prometedor y beneficioso para la universidad.

Tabla 3-9: Resumen de Ganancias por alumno y retención en el tiempo

Ganancia por alumno (CLP)	134.025
Alumnos nuevos por periodo	121
Retención de alumnos 2º año	82%
Retención de alumnos 3º año	69%
Retención resto de la carrera	48%

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Educación y Formación:

- Ganancia: \$43.389.880 CLP anuales. (tabla N.º 3-8)
- Detalle: Anticipando un aumento conservador del 2% en los ingresos generados por programas de extensión, diplomados, cursos, seminarios y congresos, se proyecta una ganancia adicional de \$43.389.880 CLP para la institución. Esta cifra refleja el potencial financiero de fortalecer y expandir las actividades académicas y de extensión. En particular, el Departamento de Aeronáutica de la Universidad Técnica Federico Santa María ha mostrado un crecimiento notable, impulsando una transferencia tecnológica significativa mediante capacitaciones (USM, 2023), preparando a profesionales claves para el desarrollo del sistema nacional satelital de Chile.

Como parte de esta expansión educativa, la Universidad ha implementado y continuará desarrollando cursos y seminarios especializados en el mundo aeroespacial, vinculados directamente con CubeSat y otros aspectos del sector, por ejemplo, desde el segundo semestre de 2022, el Departamento de Aeronáutica ha llevado a cabo un programa de entrenamiento académico básico, abarcando tanto aspectos teóricos, como modelos físicos y matemáticos, como prácticos, dirigidos a constructores, operadores e interpretadores de imágenes del sistema nacional espacial de Chile. Este programa se ha diseñado en cuatro módulos y continuará evolucionando en los próximos años.

Además, la Universidad ha participado activamente en iniciativas como el proyecto de fomento y vinculación internacional de ANID “Strengthening Aerospace Engineering in Chile”, colaborando con instituciones como Universidad de Chile y INPE, y liderado por el Dr. Rodrigo Cassineli del Departamento de Ingeniería Mecánica y CCTVal. Este esfuerzo culminó con el ciclo de formación iniciado en junio y finalizado en diciembre de 2022.

Otro evento destacado ha sido el seminario de capacidades aeroespaciales organizado en junio de 2023 por la Dirección General de Vinculación con el Medio de la Universidad. Estas actividades no solo enriquecen la formación académica ofrecida por la Universidad, sino que también contribuyen al Sistema Nacional de Satélites (SNSat), proporcionando profesionales y técnicos altamente capacitados y facilitando el acceso a tecnología de vanguardia en el sector espacial.

3.5.3. Colaboración y Donaciones:

- Ganancia: \$25.384.240 CLP anuales. (tabla N.º 3-8)
- Detalle: Tomando en cuenta una proyección conservadora, se anticipa un aumento del 2% en las donaciones recibidas debido a la mayor visibilidad que obtendrá la universidad al tener el CubeSat en órbita. Este incremento representaría un ingreso adicional de \$25.384.240 para la institución. Es esencial mencionar que esta estimación resalta el potencial de crecimiento en el ámbito de donaciones, enmarcado en el Artículo 46° DL N°3.063, Artículo 69° Ley N°18.681, las generosas contribuciones de exalumnos, así como donaciones privadas de propiedades, planta y equipos destinados a proyectos. Esta fuente de ingreso ya es reconocida como parte fundamental de los beneficios financieros que recibe la Universidad Técnica Federico Santa María, reflejado en el monto del año 2022, que ascendió a \$1.269.212.000. Con el CubeSat en órbita, la universidad fortalecerá su posición y atractivo para futuros donantes.

3.5.4. Fondos por Investigación de Postgrados:

- Ganancia: \$183.309.440 CLP anuales. (tabla N.º 3-8)
- Detalle: Considerando una estimación conservadora, se espera un aumento del 2% en los ingresos debido a aportes y subvenciones fiscales. En este contexto, es relevante destacar los montos provenientes de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID) y Corfo. Según esta proyección, se sumarían ingresos adicionales de \$150.339.300 por parte de ANID y \$32.970.140 de Corfo. Es importante mencionar que estos valores se basan en los aportes realizados por dichas instituciones en el año 2022

El proyecto CubeSat no solo eleva el perfil académico y científico de la Universidad Federico Santa María, sino que también se convierte en un motor de ingresos multifacético que impulsa tanto la educación como la investigación. La reinversión de estas ganancias en la universidad puede fomentar un ciclo positivo de crecimiento y desarrollo, asegurando la sostenibilidad de futuras iniciativas y solidificando la posición de la universidad como un pilar en la comunidad científica y académica.

3.6. TASA DE DESCUENTO

La gestión financiera es esencial en cualquier proyecto, siendo su objetivo principal proyectar la rentabilidad y el retorno de la inversión. En el caso del CubeSat de la Universidad Federico Santa María, esta evaluación es crucial para garantizar una gestión adecuada durante los 5 años de vida útil del satélite en órbita.

En este contexto, la elección de la tasa de descuento, un elemento vital en el análisis financiero y en el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), requiere una cuidadosa consideración. La tasa de descuento representa el costo de capital y el riesgo asociado al proyecto, determinando el valor actual de los flujos de efectivo futuros.

Para este proyecto, se decidió utilizar una tasa de descuento del 15%. Esta decisión se basó en varios factores clave:

- R_f (Tasa libre de riesgo) de 7,5%: Extraída de datos proporcionados por el Banco Central de Chile.
- R_m (Retorno de mercado) de 14,9%: Calculada a partir de los datos de los últimos 24 meses del IPSA.
- Beta de 1,02: Esta cifra corresponde al sector aeroespacial, defensa y mercados emergentes, lo que indica el comportamiento del proyecto frente a las fluctuaciones del mercado.

Es crucial recalcar que la tasa de descuento del 15% fue elegida considerando la información citada y deberá ser validada en función de las condiciones actuales del mercado y las especificidades del proyecto CubeSat. Este porcentaje es fundamental en la evaluación de la rentabilidad del proyecto y en la toma de decisiones de inversión. Este enfoque riguroso en la evaluación financiera permitirá a los gestores del proyecto tomar decisiones bien fundamentadas sobre la asignación de recursos y la estrategia financiera durante todo el proyecto.

3.7. COSTOS VARIABLES

Para el primer año de implementación del proyecto, se ha presupuestado un monto de \$20.000.000 CLP en concepto de costos variables. Estos costos engloban aquellos gastos que están directamente asociados con el nivel de actividad del proyecto y que, en consecuencia, varían conforme a la operatividad del satélite. Dentro de estos costos se incluyen, pero no se limitan a, costos de transmisión de datos, mantenimiento de sistemas en órbita, y otros gastos operativos esenciales para garantizar la funcionalidad y la obtención de datos de calidad del CubeSat.

3.8. COSTOS FIJOS

Los costos fijos para el primer año se han establecido en \$29.000.000 CLP. Estos costos representan gastos que no varían con el nivel de producción o actividad del proyecto, independientemente del funcionamiento del satélite. En esta categoría se contemplan gastos como arriendos, servicios básicos, seguros y servicios informáticos, esenciales para el laboratorio encargado del seguimiento y descarga de datos del CubeSat durante su vida operativa.

3.9. COSTOS ADMINISTRATIVOS

En el ámbito administrativo, se han presupuestado \$34.200.000 CLP para el primer año. Estos costos están relacionados con la gestión general del laboratorio y del proyecto, e incluyen gastos como materiales de oficina, asesorías, capacitación, gastos de representación, sueldos, entre otros. Estos son fundamentales para asegurar una gestión efectiva y un adecuado seguimiento del proyecto durante sus 5 años de duración.

Cabe destacar que todos estos montos han sido determinados basándose en estimaciones y suposiciones iniciales, extraídas de los estados financieros de la Universidad Federico Santa María año 2022 (Vicerrectoría de Asuntos Económicos y Administrativos, 2023) y entrevista con un experto, asesor de proyectos en la Fuerza Aérea de Chile (Fach) y fundador de Spacely+ (Spacely, 2023), Cristian Gallegos (Gallegos, 2023). Estas cifras se ajustarán conforme al desarrollo real del proyecto, permitiendo una gestión financiera precisa y alineada con las necesidades operativas y administrativas del laboratorio y del satélite.

3.10. FLUJO DE CAJA

Para el flujo de caja, la universidad no presenta un gasto por impuesto de primera categoría, ya que sus fuentes de ingreso corresponden a servicios educacionales, los que se encuentran exentos de impuesto a la renta (Ministerio de Hacienda , 2023).

Adicionalmente, para la proyección de costos futuros, el flujo de caja está expresado en Unidades de Fomento (UF). Esta elección de utilizar la UF como unidad de medida ofrece ventajas significativas, especialmente en contextos donde la inflación juega un papel relevante. Al expresar los flujos de caja en UF, se asegura que los valores reflejen de manera más precisa el poder adquisitivo real a lo largo del tiempo, la UF es una unidad de cuenta reajutable según la inflación, lo que significa que su valor se actualiza diariamente en función de la variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC). Al utilizar la UF, los cálculos financieros se vuelven más robustos frente a las fluctuaciones inflacionarias, proporcionando una evaluación más fidedigna de la rentabilidad y viabilidad del proyecto.

Tabla 3-10: Flujo de caja expresado en UF, calculado al 31 de Octubre 2023 a \$36.338

PERIODO	0	1	2	3	4	5
Ganancias	-	7383	7509	7637	7766	7898
Costos fijos	-	-798	-798	-798	-798	-798
Costos variables	-	-516	-526	-535	-544	-553
Gastos Administración	-	-908	-935	-963	-992	-1022
Margen	-	5161	5250	5341	5432	5525
UAI	-	5161	5250	5341	5432	5525
Impuestos	-	-	-	-	-	-
UDI	-	5161	3942	5341	5432	5525
Inversión	-12862	-	-	-	-	-
Flujo de caja	-12862	5161	5250	5341	5432	5525
Flujo de caja actualizado	-12862	4488	3970	3512	3106	2747
Flujo de caja actualizado acumulado	-12862	-8374	-4404	-893	2213	4960

Fuente: Elaboración Propia

Indicadores Claves

Valor Actual Neto:	4.960 UF
Tasa Interna de Retorno:	30%
Periodo de Recuperación de la Inversión:	4
Tasa de Descuento:	15%
Impuestos	0%

3.11. ANÁLISIS DEL VALOR ACTUAL NETO EN EL PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA EL LANZAMIENTO DE UN CUBESAT DE LA UNIVERSIDAD FEDERICO SANTA MARÍA

El Valor Actual Neto (VAN) es una métrica financiera crucial que nos brinda herramientas para evaluar la rentabilidad y viabilidad de una inversión, teniendo en cuenta el valor temporal del dinero y una tasa de descuento del 15%. En el contexto del proyecto CubeSat de la Universidad Federico Santa María, el VAN ha sido determinado en 4.958 UF, mostrando un resultado positivo que merece ser resaltado.

Un VAN positivo, como el obtenido, sugiere que los flujos de efectivo futuros del proyecto, descontados al presente, exceden la inversión inicial. Esto significa que el proyecto no solo recuperará su inversión inicial, sino que también generará un excedente económico. Dadas las proyecciones y suposiciones realizadas, el proyecto CubeSat emerge como una inversión financieramente rentable para la Universidad Federico Santa María, con un TIR (Tasa Interna de Retorno) del 30%.

Este resultado positivo en el VAN indica que los ingresos proyectados del proyecto, que comprenden, entre otros, ingresos por venta de datos, aumento en matrículas, publicidad y patrocinios, y alianzas y subvenciones, superan los costos estimados, que incluyen costos fijos, variables, administrativos, depreciaciones y gastos financieros, incluso cuando estos ingresos y costos se ajustan al valor presente con la tasa de descuento mencionada. El punto de retorno de la inversión (PRI) se estima para el periodo 4.

Es vital enfatizar que, a pesar de que un VAN positivo es una señal alentadora sobre la rentabilidad financiera del proyecto, es esencial considerar los riesgos, incertidumbres y variables externas que pueden impactar en los flujos de efectivo futuros y, en consecuencia, en la rentabilidad final del proyecto.

En resumen, la iniciativa de lanzar un CubeSat al espacio se perfila no solo como un proyecto con claros beneficios académicos e investigativos, sino también con una robusta base financiera. Un VAN que refleja un rendimiento económico favorable sugiere que este proyecto está en línea con los objetivos académicos y de investigación de la Universidad Federico Santa María y promete generar un retorno financiero beneficioso, allanando el camino para el financiamiento de futuras investigaciones y desarrollos en la institución.

3.12. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El "Estudio Prefactibilidad Técnica y Económica para el Lanzamiento de un CubeSat por la Universidad Técnica Federico Santa María" ha proporcionado un análisis exhaustivo y detallado de los aspectos técnicos, económicos y de mercado relacionados con el lanzamiento de un CubeSat.

El estudio ha incorporado información de diversas fuentes, incluyendo instituciones internacionales de renombre como la NASA, el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, y otras entidades relevantes en el ámbito aeroespacial y académico. Esta variedad y profundidad en las referencias no solo refuerza la solidez del estudio, sino que también garantiza una perspectiva completa y bien informada sobre el tema.

El lanzamiento y puesta en órbita de un CubeSat no es solo una inversión financiera, sino también una inversión en el prestigio de la Universidad Técnica Federico Santa María. Su éxito puede posicionar a la universidad como líder en innovación aeroespacial, elevando su reconocimiento a nivel nacional e internacional. Este impacto se reflejará en áreas clave como educación, investigación, matrículas y alianzas estratégicas con el sector espacial. Al presentar un retorno tangible en tecnología de lanzamiento, coordinación con entidades y gestión de riesgos, su éxito influirá positivamente en la comunidad académica y científica, marcando un hito en la historia de la universidad.

Con la información y análisis presentados en este estudio, la Universidad Técnica Federico Santa María está en una posición privilegiada para tomar decisiones informadas y fundamentadas sobre la viabilidad y conveniencia de emprender este ambicioso proyecto. Es esencial que se continúe con un enfoque estratégico y se consideren todos los hallazgos y recomendaciones. La Universidad Técnica Federico Santa María tiene ante sí una oportunidad única de liderazgo y vanguardia en el sector aeroespacial. Al embarcarse en este proyecto, no solo se busca alcanzar logros tecnológicos, sino también inspirar a futuras generaciones de científicos, ingenieros y líderes. Este es el momento de mirar al cielo, no como un límite, sino como el próximo horizonte a conquistar.

BIBLIOGRAFÍA

- 3ie. (2023). Instituto Internacional para la Innovación Empresarial. Obtenido de Instituto Internacional para la Innovación Empresarial: <https://3ie.usm.cl>
- ArianeSpace. (2023). ArianeSpace. Obtenido de ArianeSpace: <https://www.arianespace.com>
- Banco Central de Chile. (6 de septiembre de 2023). Informe de Política Monetaria (IPoM). Obtenido de Banco Central de Chile: <https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/banco-central-publica-informe-de-politica-monetaria-ipom-de-septiembre-de-2023#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Banco,3%25%20a%20comienzos%20de%202025.>
- Cal Poly SLO. (2022). CubeSat Design Specification. Obtenido de CubeSat Design Specification: https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/62193b7fc9e72e0053f00910/1645820809779/CDS+REV14_1+2022-02-09.pdf
- Cappelletti, B. &. (2020). CubeSat Handbook. Academic Press.
- Cappelletti, C. (2020). CubeSat Handbook: From Mission Design to Operations. Academic Press.
- Cappelletti, C., Battistini, S., & Malphurus, B. (2020). CubeSat Handbook. Academic Press.
- Cassinelli, R. (agosto de 2023). Doctor en Ingeniería Aeroespacial, Líder del Proyecto USM CUBESAT TEAM. (M. Céspedes, Entrevistador)
- CCTVal. (2023). Centro Científico Tecnológico de Valparaíso. Obtenido de Centro Científico Tecnológico de Valparaíso: <https://cctval.usm.cl>
- CCTVal. (2023). Obtenido de cctval.usm.cl: <https://cctval.usm.cl>
- DGIIE. (2023). Dirección General de Investigación, Innovación y Emprendimiento. Obtenido de dgiie: <https://dgiie.usm.cl>
- Endurosat. (2023). Módulos CubeSat. Obtenido de Endurosat: <https://www.endurosat.com/about/>
- Escobar, M. J. (2023). Directora General de Vinculación con el Medio USM. (M. Céspedes, Entrevistador)
- ExoLaunch. (2023). Access to Space for Small Satellites. Obtenido de ExoLaunch: <https://exolaunch.com>
- Foust, J. (12 de agosto de 2021). Exponential growth of CubeSats may be tapering off. Obtenido de Space News: <https://spacenews.com/exponential-growth-of-cubesats-may-be-tapering-off/>
- Gallegos, C. (octubre de 2023). Asesor de Proyectos Fach.
- Gobierno de Chile. (2018). Tasa de Descuento. Obtenido de Ministerio de Energía: https://energia.gob.cl/sites/default/files/presentacion_tasa_descuento_y_aeir.pdf

- INPE. (4 de abril de 2022). Obtenido de [www.gov.br](https://www.gov.br/inpe/pt-br/eventos/cubedesign-virtual/2022/ganhadores): <https://www.gov.br/inpe/pt-br/eventos/cubedesign-virtual/2022/ganhadores>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales. (10 de abril de 2023). Ganadores CubeDesign. Obtenido de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/eventos/cubedesign-virtual/2022/ganhadores>
- ISRO. (2023). Organización de Investigación Espacial de la India. Obtenido de Organización de Investigación Espacial de la India: <https://lanzamientosespaciales.com/empresas/isro/>
- Liddle, D. (6 de noviembre de 2020). Space science with CubeSats and nanosatellites. Obtenido de Nature Astronomy: <https://www.nature.com/articles/s41550-020-01247-2>
- Ministerio de Ciencia, T. C. (10 de 08 de 2022). Cámara. Obtenido de Cámara de Diputados: https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=257336&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (10 de octubre de 2020). Presidente Piñera anuncia nuevo Sistema Nacional Satelital: “Chile da un gran salto adelante en su incorporación al mundo del espacio”. Obtenido de Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación: <https://www.minciencia.gob.cl/noticias/presidente-pinera-anuncia-nuevo-sistema-nacional-satelital-chile-da-un-gran-salto-adelante-en-su-incorporacion-al-mundo-del-espacio/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (6 de junio de 2022). Obtenido de [minciencia.gob.cl](https://www.minciencia.gob.cl): <https://www.minciencia.gob.cl/noticias/autoridades-de-gobierno-y-de-la-fach-encabezan-primera-reunion-del-consejo-de-politica-espacial-liderada-por-el-ministerio-de-ciencia/>
- Ministerio de Ciencia. (10 de agosto de 2022). Programa Nacional Espacial. Obtenido de Cámara de Diputados: https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=257336&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION
- Ministerio de Ciencia. (6 de junio de 2022). Autoridades de Gobierno y de la FACH encabezan primera reunión del Consejo de Política Espacial liderada por el Ministerio de Ciencia. Obtenido de Ministerio de Ciencia: <https://www.minciencia.gob.cl/noticias/autoridades-de-gobierno-y-de-la-fach-encabezan-primera-reunion-del-consejo-de-politica-espacial-liderada-por-el-ministerio-de-ciencia/>
- Ministerio de Hacienda. (25 de abril de 2023). Ley 21420. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1172303&idParte=10307435>

- N2YO. (Mayo de 2023). SATELLITES BY COUNTRIES AND ORGANIZATIONS. Obtenido de N2YO: <https://www.n2yo.com/satellites/?c=&t=country>
- NASA. (2021). Reporte Financiero 2021 Nasa. Obtenido de Reporte Financiero 2021 Nasa: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2021/08/111521_fy21-afr_final_tagged.pdf
- NASA. (octubre de 2017). Conceptos básicos y procesos para Desarrolladores de CubeSat por primera vez. Obtenido de NASA: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_cubesat_101_508.pdf
- NASA. (18 de Junio de 2019). Three CubeSats are ejected outside the Kibo laboratory module. Obtenido de NASA: <https://www.nasa.gov/image-feature/three-cubesats-are-ejected-outside-the-kibo-laboratory-module-0>
- NASA. (19 de junio de 2019). Obtenido de www.nasa.gov: <https://www.nasa.gov/image-feature/three-cubesats-are-ejected-outside-the-kibo-laboratory-module-0>
- NASA. (2015). Manual de estimación de costos de la NASA 4.0. Obtenido de NASA.gov: <https://www.nasa.gov/content/cost-estimating-handbook>
- NASA. (Octubre de 2017). Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers. Obtenido de CubeSat 101: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_cubesat_101_508.pdf
- OECD. (2019 de Julio de 2019). Obtenido de oecd-ilibrary.org: https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c5996201-en/1/2/1/index.html?itemId=/content/publication/c5996201-en&csp_=ffe5a6bbc1382ae4f0ead9dd2da73ff4&itemIGO=oecd&itemContentType=book
- OECD. (2023). OECD. Obtenido de The ongoing transformation of the global space sector: https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c5996201-en/1/2/1/index.html?itemId=/content/publication/c5996201-en&csp_=ffe5a6bbc1382ae4f0ead9dd2da73ff4&itemIGO=oecd&itemContentType=book
- Porterfield, C. (27 de Julio de 2022). Forbes. Space Industry Grew To Record \$469 Billion Last Year, Report Finds, págs. <https://www.forbes.com/sites/carlieporterfield/2022/07/27/space-industry-grew-to-record-469-billion-last-year-report-finds/?sh=6acf0fa317f1>.
- Project Management Intitute. (2017). Guía del PMBOK sexta edicion. Project Management Institute, Inc.
- PumpkinSpace. (2023). Compras por categoría. Obtenido de PumpkinSpace: <https://www.pumpkinspace.com>
- Rectoría USM. (2023). Rectoría USM. Obtenido de Rectoría USM: <https://usm.cl/universidad/rectoria/>

- RocketLab. (2023). Electron. Obtenido de RocketLab: <https://www.rocketlabusa.com/launch/electron/>
- Rojas, C. M. (2 de junio de 2022). USM organiza talleres de ingeniería aeroespacial para estudiantes de pre y postgrado. Obtenido de USM: <https://usm.cl/noticias/usm-organiza-talleres-de-ingenieria-aeroespacial-para-estudiantes-de-pre-y-postgrado/>
- Rojas, J. (2016). Repositorio U. Chile. Obtenido de Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/141321>
- Rome, P. (18 de enero de 2022). Every Satellite Orbiting Earth and Who Owns Them. Obtenido de Dewesoft: <https://dewesoft.com/blog/every-satellite-orbiting-earth-and-who-owns-them>
- SatSearch. (27 de Febrero de 2023). Smallsat and CubeSat launch providers. Obtenido de SatSearch: <https://blog.satsearch.co/2019-12-04-find-a-launch-option-for-your-cubesat-or-small-satellite-an-overview-of-launch-service-providers>
- SPACE X. (2023). SMALLSAT RIDESHARE PROGRAM. Obtenido de SPACE X: <https://www.spacex.com/rideshare/>
- Spacely. (2023). Spacely. Obtenido de Spacely: <https://spacely.cl>
- Speroni, M. (2021). SpaceX Transporter-1: un Falcon 9 con 143 satélite a bordo (anche Starlink). Obtenido de Hardware Upgrade: https://www.hwupgrade.it/news/scienza-tecnologia/spacex-transporter-1-un-falcon-9-con-143-satelliti-a-bordo-anche-starlink_94997.html
- U.S. News Best Global Universities. (2022). Best Global Universities for Physics. Obtenido de U.S. News Best Global Universities: <https://www.usnews.com/education/best-global-universities/search?region=latin-america&country=chile&subject=physics>
- USM. (2022). Informe de Autoevaluación Institucional. Obtenido de Vicerrectoría Académica: https://vra.usm.cl/wp-content/uploads/2022/08/Informe-Autoevaluacion-Institucional-2022_-Version-Masivo.pdf
- USM. (2022). Informe de Autoevaluación Institucional 2022. Obtenido de USM: https://vra.usm.cl/wp-content/uploads/2022/08/Informe-Autoevaluacion-Institucional-2022_-Version-Masivo.pdf
- USM. (2022). Informe de Autoevaluación UTFSM 2022. Obtenido de Informe de Autoevaluación UTFSM 2022: https://noticias.usm.cl/wp-content/uploads/2022/05/Informe-Autoevaluacion-Institucional-2022_-Version-Masivo.pdf
- USM. (2022). Obtenido de usm.cl: <https://usm.cl/noticias/usm-organiza-talleres-de-ingenieria-aeroespacial-para-estudiantes-de-pre-y-postgrado/>
- USM. (2022). Reporte Ambiental 2021 2022. Obtenido de USM: <https://usm.cl/wp-content/uploads/2023/01/REPORTE-AMBIENTAL-USM-29-DICIEMBRE-2022.pdf>

- USM. (9 de junio de 2023). USM forma parte del Sistema Nacional Satelital. Obtenido de Noticias USM: <https://usm.cl/noticias/usm-forma-parte-del-sistema-nacional-satelital-con-entrega-de-transferencia-tecnologica/>
- Vicerrectoría de Asuntos Económicos y Administrativos. (2023). Estados Financieros 2022.