Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Fortalezas de las metodologías de gestión de proyectos aplicadas a la industria espacial

Strengths of project management methodologies applied to the space industry

Contreras-Lima, S., Barrón-Villaverde, D.

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Centro Interdisciplinario de Posgrados, Investigación y Consultoría. Decanatura de ingenierías. 21 Sur No. 1103. Col. Santiago. CP. 72410. Puebla, Pue.
sarahy.contreras@upaep.edu.mx; diana.barron@upaep.mx

Innovación tecnológica: Evolución de metodologías de gestión en proyectos espaciales.

Área de aplicación industrial: Proyectos espaciales.

Recibido: 03 mayo 2021
Aceptado: 02 julio 2021

Abstract

Space projects have certain characteristics such as technical complexity, cost, tight schedules, manufacturability and development of new technologies. In this sense, the definition of technology encompasses three fundamental concepts: purpose, function and benefit, so that project management can be considered technology. Likewise, this article presents the strengths of the different project management methodologies to propose a composition that provides a vision towards the technological evolution in space project management, through the definition of concepts such as programme, project, project management methodology and space project management to understand the differences between them and to understand how they are applied in the space industry. The concepts are contrasted with different authors to build a broader conception of them. Finally, in the descriptive and comparative study highlight strengths related to human resource management, systems and analysis of internal and external contexts.

Keywords: space, technological developments, project management, methodology

Resumen

Los proyectos espaciales poseen ciertas características tales como su complejidad técnica, costos, plazos ajustados, capacidad de fabricación y desarrollo de nuevas tecnologías. En este sentido, la definición de tecnología engloba tres conceptos fundamentales que son: propósito, función y beneficio, es decir que la tecnología puede ser el beneficio brindado por los conocimientos que se utilizan para un propósito, como en la gestión de proyectos, por lo que puede ser considerada tecnología. El presente artículo presenta las fortalezas de las diferentes metodologías de gestión de proyectos para proponer una composición que brinde una visión rumbo a la evolución tecnológica en la gestión de proyectos espaciales. Se presenta la definición de conceptos como programa, proyecto, metodología de gestión de proyectos y gestión de proyectos espaciales para entender las diferencias entre ellos y entender cómo es su aplicación en la industria espacial. Los conceptos son contrastados con diversos autores para edificar una concepción más amplia de los mismos. Finalmente, en el estudio descriptivo y comparativo destacan fortalezas relacionadas con la gestión de recursos humanos, sistemas y análisis de contextos internos y externos.

Palabras Clave: espacial, evolución tecnológica, gestión de proyecto, metodología.

1. Introducción

De acuerdo con Carroll y Shun (2017) [1], la definición de tecnología abarca tres conceptos fundamentales que son: propósito, función y beneficio, tales factores no necesariamente deben entenderse como algo físico o material, también pueden ser cosas intangibles como procesos, ideas o metodologías. Ambrose (2001) [2] mencionó que la tecnología evoluciona en función del contexto en el que se encuentra la sociedad y de las necesidades que presenta, en este sentido, Moreira et al. (2020) [3] concordaron que la gestión de procesos empresariales (BPM, por sus siglas en inglés) se ha utilizado para la mejora continua de una organización y su principal desafío es encontrar el equilibrio entre los objetivos del proyecto, la satisfacción del cliente, metas financieras y requisitos de calidad, lo que apoya una orientación multifuncional. Por esta razón, los proyectos no pueden gestionarse de la misma manera, por lo que existen diferentes metodologías de gestión que son utilizadas en diferentes industrias para alcanzar el éxito de un proyecto (Shenhar et al., 2015) [4], y la industria espacial no es la excepción.

La industria espacial cuenta con sistemas de alta complejidad, ciclos de desarrollo prolongados y presión en los costos y horarios, lo que impulsa a empresas espaciales a desarrollar diversos proyectos en paralelo, generando un sistema de gestión bien integrado (Benz, 2005) [5]. Este tipo de proyectos requieren liderazgo y gestión de los esfuerzos desde su principio hasta su fin para su adecuada culminación, entrega en tiempo, forma y en adecuado uso del presupuesto (Agencia Espacial Mexicana, 2017) [6]. Un ejemplo de aplicación de metodologías de gestión en proyectos espaciales está dado por Crescencio et al. (2019) [7], quienes presentaron los resultados de la implementación de la guía del PMBOK, guía para la gestión eficaz de proyectos en cualquier industria que sirve para capturar y resumir el conocimiento (Project Management Institute, 2017) [8], en el caso de estudio del nanosatélite CINSat-1 desarrollado por el Instituto Politécnico Nacional (satélite que para el 2019 seguía desarrollándose). Sin embargo, autores como Shenhar et al. (2015) [4] mencionaron que no todos los proyectos son iguales y por consiguiente no pueden gestionarse de la misma manera, además mencionaron que no existe un marco universal que funcione para

todas las organizaciones. Por lo tanto, cada organización debe enfocar correctamente sus esfuerzos dependiendo el tipo de proyecto que necesite desarrollar.

Por consiguiente, es menester conocer los conceptos fundamentales de los proyectos y de gestión de los mismos, ya que resulta muy importante para poder implementar cualquier tipo de proyecto. Por esta razón, el alcance del presente artículo es presentar una comparación entre las diferentes metodologías del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), PMO (Project Management Office), APM (Association for Project Management) y P2M (Project Planning and Management Solutions) para identificar una composición de las fortalezas de las mismas que brinde una visión rumbo a la evolución tecnológica de la gestión de proyectos espaciales. Por otro lado, la principal limitación es la búsqueda de información a través de diferentes bases de datos y no como resultado de investigación de campo, además se declara que en el presente artículo no existen conflictos de intereses que puedan influir en los resultados. En este sentido, el objetivo general del presente artículo es presentar las fortalezas de las diferentes metodologías de gestión de proyectos para proponer una composición que ayude a una evolución tecnológica en la gestión de proyectos espaciales, a través de la definición de conceptos como programa, proyecto, metodología de gestión de proyectos y gestión de proyectos espaciales.

El articulo comienza con el marco teórico explicando la definición de tecnología, definición de metodologías de gestión de proyectos y conceptos fundamentales relacionados con el concepto de proyecto, como por ejemplo el ciclo de vida del mismo. Posteriormente se presenta en el desarrollo la revisión de literatura de los conceptos de programa y proyecto, discutiendo las perspectivas de diferentes autores y logrando una construcción de un concepto más amplio, además de lograr el entendimiento de sus diferencias y evitar confundir los conceptos. En este apartado también se presentan los enfoques de las metodologías del PMBOK, PMO, APM y P2M; y también se presenta el enfoque de la gestión de proyectos espaciales. En la parte del estudio descriptivo y comparativo se presentan las fortalezas encontradas en cada enfoque de las diferentes metodologías de gestión de proyectos. Finalmente, en la etapa de conclusiones se presenta un análisis de los conceptos abordados a lo largo del artículo y se presenta la composición de las fortalezas como propuesta para la evolución tecnológica en la gestión de proyectos espaciales.

2. Marco teórico

2.1 Definición de tecnología

La definición de tecnología va más allá de lo que comúnmente se piensa, como dispositivos electrónicos, sistemas de comunicaciones, etc. Según Carroll y Shun (2017) [1], la definición de tecnología engloba tres conceptos fundamentales que son: propósito, función y beneficio y que no necesariamente debe entenderse como algo físico o material que hace algo, también pueden ser cosas intangibles como procesos, ideas o metodologías. En este sentido, Elvstrand et al. (2018) [9] analizaron a los profesores de preescolares suecos, los cuales definieron la tecnología como el objeto, sistema, proceso y actividad para resolver problemas humanos y reconocieron al conocimiento como elemento fundamental para mantener el equilibrio entre lo que se puede hacer y el cómo se puede hacer. Por su parte, Borges (2019) [10] mencionó que la tecnología es un conjunto de procedimientos y operaciones para procesar los conocimientos científicos y aplicarlos en cierta esfera de actividades para poder transformar un resultado. Por lo tanto, la tecnología debe seguir entendiéndose como

un concepto que abarca diferentes concepciones (tanto científicas como filosóficas), las cuales en conjunto permiten entender mejor la tecnología para poder aplicarla en cualquier área que se pretenda.

Además de la definición de tecnología es importante reconocer la evolución de la misma. De acuerdo con Ambrose (2001) [2], la tecnología evoluciona con el contexto en el que se encuentra la sociedad y las necesidades que presenta. Un ejemplo de ello se presenta en el continente africano, donde la evolución de la tecnología ha sido lenta en comparación con otros lugares del mundo, como es el caso de Siguiri en Guinea, que continua con la extracción artesanal de oro en pozos mineros a pesar de que empresas de Australia y Canadá tienen permisos de exportación para la misma región (Serlin, 2017) [11]. Por lo tanto, el contexto de la sociedad, cultura, economía y desarrollo del hombre impactan directamente en la evolución de la tecnología.

2.2 Conceptos relacionados a la gestión de proyectos

Stretton (2012) [12] mencionó que para la gestión de un programa es necesaria la gestión coordinada de proyectos relacionados. En este sentido destacó tres tipos de relaciones, los cuales son: proyectos de componentes predominantemente independientes (relación con los resultados comunes, contribuciones a objetivos estratégicos y beneficios para los clientes); proyectos de componentes parcialmente independientes (cambios en la dirección de la organización, mitigación de riesgos, intercambio de información, recursos y tecnología); proyectos de componentes sustancialmente independientes (cubre las interdependencias, como tareas independientes, interfaces de rendimiento y físicas).

Por su parte, The Economist (2007) [13] mencionó que un proyecto posee diferentes características que lo distan de la actividad habitual de una organización, entre las que destacan:

- Elaboración de un producto final definido. El producto debe cumplir con el objetivo especificado.
- Fecha de finalización definida. Si no existe una fecha de finalización del proyecto la empresa no tendrá un beneficio de la inversión, además, se puede perder el camino y requerir mayor presupuesto.
- Presupuesto definido. Presupuesto que cubra toda la vida del proyecto.
- Cuenta con amplia gama de recursos. Requiere de capacidades, habilidades, conocimientos y experiencias de diferentes personas.
- Participación continua de personas. Se necesitan diferentes personas, en diferentes tiempos a lo largo de todo el proyecto.
- Tiene ciclo de vida. Requiere de la dirección de los altos mandos para iniciar y finalizar el proyecto.

Con respecto al ciclo de vida, Mia et al. (2019) [14] señalaron que se ha utilizado en diferentes sectores para documentar las fases de desarrollo tanto de productos como de proyectos. Las fases de la teoría de ciclo de vida del producto son cinco: introducción, crecimiento, madurez, saturación y declive, sin embargo, el ciclo de vida de los proyectos tiene básicamente las mismas fases, ya que en la fase inicial se desarrolla el producto definido mediante la investigación, después el producto es fabricado, posteriormente madura y el mercado se satura, haciendo que la demanda disminuya.

2.3 Impacto de metodologías de gestión en proyectos espaciales

La metodología es el razonamiento ordenado que orienta a los métodos, los cuales son los

elementos más significativos de un problema a fin de lograr su explicación causal y su estructuración conceptual. Además, la metodología implica el análisis de la lógica, efectividad, fortaleza de sus planteamientos y coherencia para producir conocimientos notables (Aguilera, 2013) [15]. Las metodologías más conocidas a nivel mundial para la gestión de proyectos son: PMBOK (Project Management Body of Knowledge) de Estados Unidos, PMO (Project Management Office), APM (Association for Project Management) de Reino Unido y el P2M (Project Planning and Management Solutions) de Japón (Narváez y Ramos, 2007) [16]. En este sentido, los proyectos espaciales no difieren de los proyectos de otras industrias, sin embargo, poseen ciertas características que determinan los detalles de la gestión de la organización tales como: complejidad técnica, desarrollo de nuevas tecnologías, costo, plazos ajustados, capacidad de fabricación, entre otras. Por lo ya mencionado, es necesaria la profundidad de implementación de gestión de proyectos, ya que se requiere gestionar una gran cantidad de tareas relacionadas entre sí (Likhachev y Shangina, 2013) [17]. En la Figura 1 se presenta un resumen de la complejidad en la industria aeroespacial.



Figura 1. *Complejidad Industria Aeroespacial.* *Fuente:* Elaboración propia con base en Gabbai (2005)[18].

Además de explicar la complejidad de la industria, es importante no confundir la ingeniería de sistemas con la gestión de un proyecto espacial, ya que la primera es una disciplina muy utilizada dentro de proyectos espaciales cuya misión es desarrollar declaraciones para comprensión de los problemas del sistema y su solución a través del uso de la tecnología, de tal manera que se puedan descomponer los problemas de alto nivel, en problemas sencillos, para su pronta resolución (Wymore, 2018) [19].

El impacto que han tenido algunas metodologías en el sector espacial es diverso. De acuerdo con Mattiello et al. (2005) [20], el departamento de defensa de los Estados Unidos ha utilizado la guía del PMBOK en sus programas, esto con la finalidad de adaptar los procesos del PMBOK al ciclo de vida de las adquisiciones de defensa, ya que las áreas de

conocimiento de la guía (gestión de la integración, del alcance, del tiempo, de los costes, de la calidad, de los recursos humanos, de la comunicación, de los riesgos, de las adquisiciones del proyecto y de las partes interesadas) tienen relación con áreas de conocimiento intensivas de la defensa (Gestión de la ingeniería de sistemas, de la adquisición de software, de la logística, de las pruebas y la evaluación, y de la fabricación del proyecto) que son de utilidad para la adquisición de defensa.

Por su parte Nishida et al. (2014) [21] mencionaron que P2M es un híbrido entre la práctica profesional y la ciencia aplicada a la práctica, de ahí que sus prácticas están basadas en la ciencia de la gestión, de los sistemas, de la información y la ciencia humana. En este sentido, destacaron que esta metodología requiere de profesionales que tengan conocimientos, experiencia práctica y actitud ética.

El Project Management Institute (2013) [22] refirió que la NASA (National Aeronautics and Space Administration) sufrió una evolución de OCE (Oficina del Ingeniero en Jefe) a PMO (Project Management Office), esto debido a que el OCE era insuficiente para ampliar el recurso humano, ya que este cargo hacía referencia a una persona encargada de ofrecer asesoramiento, experiencia y conocimientos sobre ingeniería, es decir, se trataba de un solo experto. Por esta razón, en 2004, ante la necesidad de desarrollar talento humano, la Academia de Liderazgo de Proyectos / Programas e Ingeniería (APPEL) pasó de la Oficina de Gestión del Capital Humano (RR.HH.) a la Oficina del Ingeniero Jefe, logrando que la organización evolucionara y destacara en una PMO para toda la empresa y de esta manera se enfocara en las lecciones aprendidas y en el rumbo futuro de la organización. Sin embargo, a pesar de que agencias como la NASA han utilizado este tipo de metodologías, Shiotani et al. (2014) [23] mencionaron que es común que las agencias espaciales apliquen sus propias definiciones de ciclo de vida de un proyecto, lo que supone gestionar de manera diferente sus proyectos.

3. Desarrollo

3.1 Metodología de investigación

El presente artículo ofrece un estudio cualitativo de tipo exploratorio, descriptivo y comparativo, ya que identifica conceptos y características relacionadas con la gestión de proyectos a través de la perspectiva de diferentes autores, para lograr consolidar características potenciales que ayuden a futuras investigaciones de gestión de proyectos espaciales (Díaz y Calzadilla, 2016) [24]. Entre las principales bases de datos utilizadas destacan las siguientes: Business Source Complete, Redalyc, ScienceDirect, ResearchGate. Además del apoyo de fuentes como el Project Management Institute, IEEE Xplore y Aerospace Research Central.

Los conceptos utilizados en el artículo son contrastados con diferentes autores para tener una concepción más amplia de cada uno, por lo que se utilizan tablas comparativas que brindan valor y ayuda visual. También, se utilizan gráficos para entender el ciclo de vida de los proyectos espaciales. Posteriormente en la parte de resultados se utiliza una tabla comparativa para rescatar las fortalezas de cada metodología de gestión de proyectos y compararla con la gestión de proyectos espaciales; además se genera una matriz que destaca las fortalezas a utilizar durante cada fase del ciclo de vida del proyecto espacial para agregar valor a dicho proyecto.

3.2 Conceptos fundamentales: Programa y Proyecto

A través de los años, varios autores han definido el concepto de programa y el

concepto de proyecto de diferentes maneras. Ander y Aguilar (2005) [25], Ameijide (2016) [26], Artto et al. (2009) [27], Shigenobu (2005) [28] y Bravo et al. (2008) [29] indicaron que el programa es un conjunto de proyectos organizados de forma coordinada para generar mayores beneficios a la organización. También se coincide en el concepto de proyecto como el conjunto de actividades interrelacionadas entre sí y su puesta en práctica para crear un producto o servicio único a través de recursos y tiempo limitado. No obstante, Springer (2016) [30] contrastó ambos conceptos, ya que indicó que la gestión de programas/proyectos, va más allá de conceptos cuantitativos y se enfoca en conceptos cualitativos como las tecnologías de perturbación, el liderazgo y género, planificación de la sucesión, gestión del cambio, entre otros, para dar paso a una visión fresca y actualizada a partir de la enseñanza e investigación. A continuación, se presenta en la Tabla 1 la comparación de conceptos de varios autores que nos adentra a la concepción de cada planteamiento.

Tabla 1. *Comparación de conceptos de programa y proyecto de acuerdo con varios autores*.

	Proyecto/ Programa	**Características del proyecto**	**Características del programa**
Ander y Aguilar	Ambos	Actividades concretas. Interrelación y coordinación de actividades Producir bienes y servicios. Satisfacer necesidades Resolver problemas	Conjunto organizado y coherente de actividades, servicios o procesos Conjunto de proyectos relacionados Orientado a objetivos y metas
Ameijide	Ambos	Esfuerzo temporal Creación de producto, servicio o resultado único	Grupo de proyectos Relacionados y administrados de forma coordinada Orientados a obtener resultados imposibles con la gestión individual
Artto et al.	Programa	X	Contención de proyectos nuevos y/o existentes Brindar mayores beneficios
Shigenobu	Ambos	Creación de valor Objetivo específico Plazo determinado o acordado Limitaciones de recursos y circunstancias externas	Grupo de proyectos Lograr misión holística Proyectos con relación entre sí
Springer	Ambos	Conceptos cualitativos Tecnologías de perturbación Liderazgo y género Planificación de la sucesión Gestión del cambio	Conceptos cualitativos Tecnologías de perturbación Liderazgo y género Planificación de la sucesión Gestión del cambio
Bravo et al.	Proyecto	Conjunto de acciones temporales seleccionadas y ordenadas Participación de una o varias personas Producto, servicio o resultado único	X

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los conceptos mencionados anteriormente, se confirma que la esencia de cada uno es diferente y que involucra una importancia de peso, sin embargo, no implica que deban ser independientes uno del otro. La síntesis de la idea anterior puede ser argumentada por Ander y Aguilar (2005) [25], que mostraron el siguiente ejemplo: PLAN de educación; PROGRAMA de construcción de edificios escolares; PROYECTO: construir este edificio escolar; ACTIVIDAD: levantar la pared; TAREA: colocar un ladrillo. Así mismo, de acuerdo con la Tabla 1 Ander y Aguilar (2005) [25], Ameijide (2016) [26], Artto et al. (2009) [27], Shigenobu (2005) [28] y Bravo et al. (2008) [29] están en lo correcto al indicar que el proyecto es un conjunto de actividades y el programa un conjunto de proyectos. En la Figura 2 se presenta un diagrama de niveles de síntesis en la planificación.

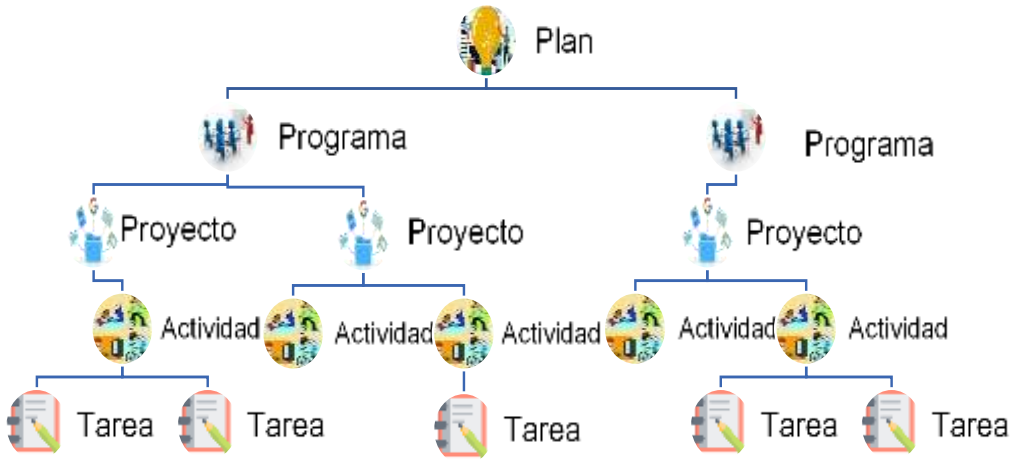


Figura 2. *Niveles de síntesis en la planificación*. *Fuente:* Elaboración propia con base en Ander y Aguilar (2005)[25].

También es importante diferenciar de manera horizontal los conceptos de programas y proyectos, por lo que se presenta la Tabla 2, basada en el PMBOK 2004 y el PMI 2006ª, siguiendo los grupos de procesos que comprenden la gestión de programas/proyectos.

Tabla 2. *Diferencia entre grupos de procesos de programas vs proyectos.*

	Inicio	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
Proceso de Autorización	Ambos	X	X	X	X
Definición de objetivos	X	Ambos	X	X	X
Planificación de requisitos	X	Ambos	X	X	X

Integración de recursos en la gestión del programa	X	X	Ambos	X	X
Supervisión de componentes	X	X	X	Programa	X
Procesos de ejecución	X	X	X	Proyecto	X
Identificación de problemas y medidas correctivas	X	X	X	Proyecto	X
Aceptación del producto	X	X	X	X	Programa
Finalización de actividades	X	X	X	X	Proyecto

Fuente: Elaboración propia con base en Bravo et al. (2008)[29].

3.3 Metodologías en la gestión de proyectos

La gestión de proyectos se entiende como la disciplina utilizada para orientar e integrar los grupos de procesos (inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control, y cierre) con la finalidad de cumplir y culminar todo el trabajo requerido en los proyectos (Mondelo y Siles, 2019) [31]. Aunque existe un concepto más reforzado de gestión de proyectos, llamado Project Management For Results (PM4R) que se define como una metodología que combina técnicas y herramientas de buenas prácticas y estándares internacionales para lograr los objetivos (resultados, productos o servicios) en tiempo y forma (cronograma, presupuesto, alcance y calidad) del proyecto (Lugo, 2019) [32].

A lo largo de los años, las organizaciones han buscado implementar metodologías para gestionar correctamente sus proyectos. En este sentido, la metodología es el razonamiento ordenado que orienta el estudio lógico de los métodos, los cuales por su parte seleccionan los elementos más significativos de un problema para abordarlos de manera ordenada y lograr su explicación causal, además, la metodología implica el análisis de la lógica, efectividad, fortaleza de planteamientos y coherencia para producir conocimiento relevante (Aguilera, 2013) [15]. Es así, que aún no existe una sola teoría que explique cómo mejorar e implementar la gestión de proyectos, ya que eso depende de la organización y su contexto (Crescencio et al., 2019) [7]. A continuación, se presenta en la Tabla 3 una comparativa de las metodologías de gestión existentes en el PMBOK (Project Management Body of Knowledge), de Estados Unidos, el PMO (Project Management Office), el APM (Association for Project Management) de Reino Unido y el P2M (Project Planning and Management Solutions) de Japón (Narváez y Ramos, 2007) [16].

Tabla 3. *Comparación de metodologías de gestión de proyectos.*

	Enfoque	Grupos o Conceptos de la Metodología
PMBOK	Basado en procesos genéricos para terminar en tiempo, presupuesto y alcance	Iniciación, Planeación, Ejecución, Control y supervisión, Cierre (5)
PMO	Basado en procesos internos e interfaces externas	Planeación, Gerencia de RH, Ejecución, Control de cambios, Satisfacción del cliente, Comunicación con las partes interesadas (6)
P2M	Orientado a la creación de valor y cumplimiento de la misión del negocio	Gerencia del programa, Estrategias, Sistemas, Metas, Riesgo, Relación, Organización de Finanzas, Recursos, Información, Valor y comunicación (10)
APM	Estructura primaria	Gerencia de proyecto en el contexto, Planeación de la estrategia, Ejecución de la estrategia, Técnicas, Comercio y negocios, Organización y gobierno, La gente y la profesión (7).

Fuente: Narváez y Ramos (2007)[16].

3.4 Gestión de proyectos en la industria Aeroespacial

Los proyectos son gestionados de acuerdo con la industria en la que se desarrollan y al tipo de proyecto que se realiza. En este sentido, de acuerdo con Williams (2017) [33], la industria aeroespacial destaca por tres tipos de proyectos que son: proyectos incrementales (formados por iteraciones), adyacentes (apalancarse en algo que ya se hace bien) y de transformación (desarrollar nuevos productos para satisfacer nuevos mercados), por lo que en el Tabla 4 se describen las características de cada uno.

Tabla 4. *Categorías de gestión de proyectos aeroespaciales.*

	Incremental	Adyacente	Transformacional
Liderazgo de proyecto	Tiempo parcial	Dedicado	Tiempo completo
Atributos	Extensiones o mejoras en la línea (diferenciación menor)	Productos nuevos y posiblemente nuevas plataformas (diferenciación moderada)	Nuevos productos mundiales, plataformas y categorías (diferenciación mayor)
Especificaciones	Rápidamente completadas	Evolucionan con el tiempo	Desarrolladas por prueba y error
Hitos y plazos	Intervalos cortos entre plazos bien definidos	Combinación de hitos y plazos	Intervalos extendidos entre la tecnología y el desarrollo de productos
Tiempo	Generalmente semanas	Usualmente meses	A menudo años
Fabricación	Procesos existentes	Modificar procesos existentes	Nuevos procesos
Recompensa/riesgos	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Williams (2017)[33].

Además de categorizar los proyectos, es importante conocer el ciclo de vida de un proyecto de tipo espacial, para conocer la gestión del proyecto y analizar cómo este podría ser mejorado de acuerdo con la literatura previamente explicada.

De acuerdo con Shiotani et al. (2014) [23], las agencias espaciales aplican sus propias definiciones de ciclo de vida de un proyecto. En este sentido, indicaron que el ciclo de vida de los proyectos en NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) constan de seis fases (desde la pre-fase A, hasta la fase F); por su parte el DoD (Departamento de Defensa de los Estados Unidos) cuenta con proyectos divididos en cinco fases (análisis de la solución material,

desarrollo de la tecnología, desarrollo de la ingeniería y la fabricación, producción y despliegue, y operaciones y apoyo); y el INCOSE (Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas) divide sus proyectos en seis fases (concepto, desarrollo, producción, utilización, apoyo y retirada).

Sin embargo, según Tantall (1992), citado en Peris (2002) [34], la estructura básica de un proyecto espacial, con base en las agencias espaciales como NASA y ESA (Agencia Espacial Europea), consta de cinco fases que son: Análisis de viabilidad y desarrollo conceptual (A), diseño de detalle (B), desarrollo, fabricación, integración y test (C/D), lanzamiento (E), operaciones, mantenimiento y retirada (F). También mencionó que los requerimientos y métodos utilizados se van refinando conforme avanza la misión. En la Figura 3 se presentan las cinco fases fundamentales.



Figura 3. *Fases fundamentales de un proyecto espacial*. *Fuente:* Elaboración propia con base en Peris (2002)[34].

4. Estudio descriptivo y comparativo

De acuerdo con la literatura revisada los proyectos espaciales pueden ser de tres tipos: incremental, adyacente y transformacional, y el desarrollo de estos proyectos posee cinco fases fundamentales que son: Análisis de viabilidad y desarrollo conceptual (A), diseño de detalle (B), desarrollo, fabricación, integración y test (C/D), lanzamiento (E), operaciones, mantenimiento y retirada (F). Sin embargo, las metodologías aplicadas se van refinando conforme avanza la misión. En este sentido, los elementos principales en la gestión de proyectos espaciales son: gestión de ingeniería de sistemas, pruebas, evaluación del proyecto, desarrollo de talento humano, liderazgo, atributos del proyecto, hitos, plazos y riesgos. Así mismo, es necesario recurrir a las metodologías para conservar un referente que guíe el proyecto en sus diferentes etapas, es por esto que del análisis de las cuatro metodologías de gestión de proyectos se destacan sus puntos más importantes en coherencia con los elementos principales de la gestión de proyectos espaciales. La Tabla 5 presenta la comparativa entre los elementos principales de la gestión de proyectos espaciales y las fortalezas de las metodologías de gestión.

Tabla 5. *Comparativa entre elementos de gestión de proyectos espaciales y fortalezas de metodologías de gestión*.

Gestión de proyectos espaciales	Fortalezas de metodologías de gestión
Desarrollo de talento humano, liderazgo	APM. Personas y profesión; PMO. Gerencia de RH y comunicación con partes interesadas
Ingeniería de sistemas, hitos, plazos, riesgos	P2M. Sistemas, metas, riesgo y relación; PMBOK. Grupo de procesos: planeación, ejecución, control y supervisión
Atributos del proyecto	PMO. Satisfacción del cliente y comunicación con partes interesadas; APM. Gerencia de proyecto en el contexto, técnicas, organización y gobierno
Pruebas, evaluación del proyecto, hitos, plazos	PMBOK. Grupo de procesos: Iniciación, planeación, ejecución, control y supervisión, y cierre

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de talento humano: Se destacan como fortalezas las personas y profesión (APM) debido a que es necesario contar con personas capacitadas en temas espaciales para el desarrollo del proyecto, también se requiere de una gerencia de RH y comunicación con partes interesadas (PMO) para lograr una comunicación fluida y transparente entre los diferentes sistemas de un proyecto espacial.

Ingeniería de sistemas, hitos, plazos y riesgos: Destacan como fortalezas los sistemas, metas, riesgos, relación (P2M) y los grupos de procesos de planeación, ejecución, control y supervisión (PMBOK), dado que es importante tener un dominio técnico suficiente para lograr con éxito los objetivos de cada hito del proyecto en los plazos acordados.

Atributos del proyecto: Las principales fortalezas son la satisfacción del cliente, comunicación con partes interesadas (PMO), gerencia de proyecto en el contexto, técnicas, organización y gobierno (APM) ya que los atributos vienen dados por el cliente, y se requieren diversas regulaciones tanto internas como externas para poder desarrollar el proyecto completo.

Pruebas, evaluación del proyecto, hitos y plazos: Destacan como fortalezas los cinco grupos de procesos (PMBOK) por estar enfocados a culminar el proyecto en el tiempo, presupuesto y alcances correctos. Así mismo, en la Figura 4 se presenta un ejemplo de cómo estas fortalezas podrían aplicarse al ciclo de vida del proyecto para lograr una mejor gestión del mismo.

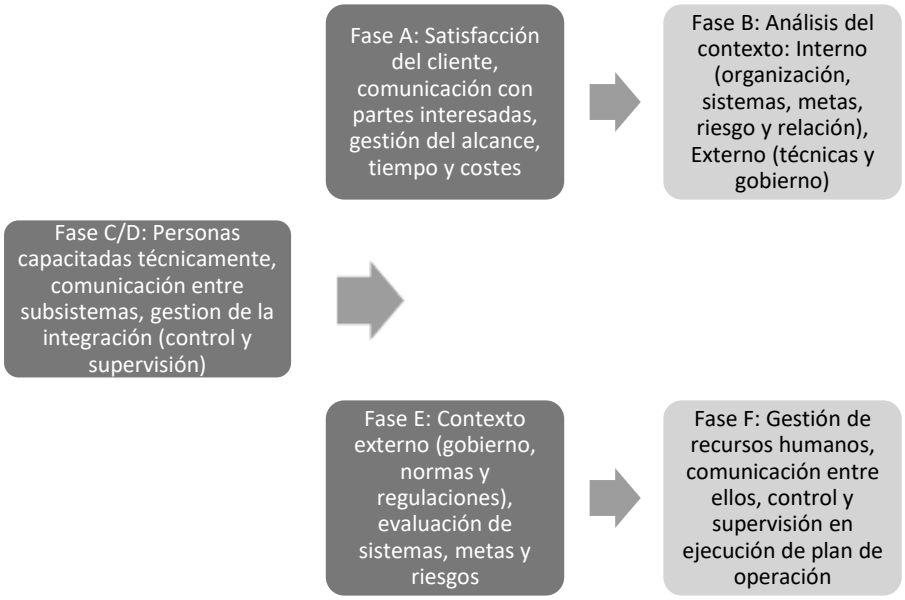


Figura 4. *Aplicación de fortalezas al ciclo de vida de proyectos espaciales.* *Fuente*: Elaboración propia.

Fase A: Esta fase se caracteriza por la definición de la misión y sus componentes, lo que hace necesario que se considere al cliente y las partes interesadas, además, es una fase en la que se plantea el tiempo de vida del proyecto, así como la planeación del mismo. Por las razones antes mencionadas las fortalezas que podrían implementarse en esta fase son las del PMO y PMBOK relacionadas con la satisfacción del cliente, comunicación con partes interesadas y planeación de la gestión del alcance, tiempo y costes del proyecto.

Fase B: En esta fase es necesaria la definición detallada de todos los componentes del sistema. Por esta razón las fortalezas que podrían implementarse para mejorar la gestión del proyecto en esta fase son las del APM y P2M relacionadas con el análisis del contexto externo e interno. En este sentido, es importante analizar las técnicas a seguir, la organización y el gobierno, ya que son la base para hacer posible la formulación y adquisición de componentes. Además, se deben considerar a profundidad los sistemas, metas y riesgos que el proyecto pueda presentar, así como la relación que habrá entre sistemas.

Fase C/D: Al ser una fase de construcción, implementación e integración de todos los subsistemas destacan principalmente las fortalezas del APM, PMO y PMBOK referentes a las personas y los conocimientos de las mismas. Por una parte, es necesaria la administración de las personas, para explotar sus capacidades y conocimientos técnicos, así como reforzar la comunicación entre los integrantes de los subsistemas. Por otro lado, es necesaria la gestión de la integración del proyecto, enfatizando en el control y supervisión de las actividades.

Fase E: Fase encargada de la entrega al lanzador. Las fortalezas de esta fase que podrían implementarse son similares a las de la fase B, puesto que los lanzadores demandan una serie de requerimientos que el sistema completo debe cumplir, así el lanzador evalúa el sistema y corrobora si está listo para poder ser lanzado. En este sentido, el contexto y gobierno son importantes, así como a los sistemas, metas y riesgos, para verificar que el sistema cumple con las normas establecidas.

Fase F: Esta fase es la encargada de las operaciones de la misión. Por esta razón, las fortalezas que podrían implementarse en esta fase son las del APM y PMBOK, afines a la gestión de recursos humanos y la gestión de la comunicación. Esto es importante puesto que las personas son las que se encargan de supervisar la misión y por lo tanto es igualmente importante tener un control y supervisión en la ejecución del plan de operaciones de la misión.

5. Conclusiones

El programa es un conjunto de proyectos organizados de forma coordinada para generar mayores beneficios a la organización, mientras que el proyecto es un conjunto de actividades interrelacionadas entre sí para crear un producto o servicio único a través de recursos y tiempo limitados, liderazgo, planificación y gestión del cambio.

La gestión de programas y proyectos posee una estructura fundamental de cinco grupos de procesos. En el inicio durante el proceso de autorización participan tanto los programas como los proyectos; lo mismo sucede en la planificación con la definición de objetivos y planificación de requisitos y también en la ejecución con la integración de recursos. Sin embargo, en el seguimiento y control los programas participan en la supervisión de componentes, mientras que los proyectos participan en los procesos de ejecución y la identificación de problemas y medidas correctivas. Finalmente, en el cierre el proyecto finaliza actividades y el programa da la aceptación del proyecto.

Las fortalezas identificadas para la metodología del PMBOK se centran en sus grupos de procesos (iniciación, planeación, ejecución, control y supervisión, y cierre) debido a que permiten un control del proyecto completo, además de que poseen áreas de conocimiento (gestión de la integración, del alcance, del tiempo, de los costes, de la calidad, de los recursos humanos, de la comunicación, de los riesgos, de las adquisiciones del proyecto y de las partes interesadas) que engloban el contexto interno y externo de la organización. Por su parte, las fortalezas identificadas del PMO se centran en la gestión del recurso humano, la comunicación y la satisfacción del cliente, debido a que para una buena gestión de un proyecto se requiere de liderazgo, capacidad de adaptación y redes de trabajo. En relación con las fortalezas del P2M destacaron los sistemas, metas, riesgos y la relación, esto debido que esta metodología se caracteriza por tratar con situaciones de alta complejidad, lo que aporta valor especialmente a proyectos espaciales. Finalmente, las fortalezas identificadas del APM están relacionadas con las personas y su profesión, así como con la gerencia del proyecto en el contexto, técnicas, organizaciones y gobierno, puesto que el contexto externo influye de manera directa en la gestión de cualquier proyecto.

El ciclo de vida de los proyectos espaciales consta fundamentalmente de cinco fases. La fase A es la encargada del análisis de viabilidad y desarrollo conceptual. La fase B se encarga del diseño de detalle. La fase C/D permite el desarrollo, fabricación. Integración y pruebas. La fase E se encarga del lanzamiento. La fase F tiene la encomienda de las operaciones de la misión y la retirada. En este sentido, las fortalezas identificadas de las metodologías de gestión de proyectos agregan mayor valor a cada fase del ciclo de vida de un proyecto espacial, caracterizado por su complejidad técnica.

Por lo tanto, el aporte del presente artículo se resume en lo siguiente. En la fase A se debe considerar la satisfacción del cliente, la comunicación con partes interesadas, y la gestión del alcance, tiempo y costos. Para la fase B y E, el análisis del contexto interno (organización, sistemas, riesgo y relación) y

externo (técnicas y gobierno) es necesario para alcanzar los objetivos de ambas fases, además de la evaluación de los sistemas, específicamente en la fase E. En la fase C/D la elección, control y supervisión de las personas, así como la comunicación entre subsistemas es elemental para lograr un buen desarrollo del proyecto. Finalmente, para la fase F la gestión del recurso humano, el control y la supervisión de la ejecución del plan debe reforzarse para llevar a cabo con éxito las operaciones de la misión. Todos estos elementos forman parte de las fortalezas encontradas en el estudio descriptivo y comparativo, las cuales se mencionaron anteriormente.

6. Sugerencias

Identificar las fortalezas de cada metodología de gestión de proyectos, resulta más sencillo si se analizan cada uno de los conceptos estudiados, con el fin de entender las cualidades que suman a la gestión de un proyecto aeroespacial por su condición de complejidad y riesgo, entendiendo la gestión del proyecto como un ente que engloba los conceptos aquí expuestos.

Por lo tanto, aunque aún no es posible definir una sola metodología para la gestión de proyectos, sí es posible utilizar las fortalezas de cada una de ellas para contribuir a la mejora continua en los procesos y la innovación de los mismos, logrando sumar esfuerzos para asegurar el éxito del proyecto. También, es importante tener en cuenta que la gestión de un proyecto además de las fortalezas mencionadas con anterioridad, requiere de transparencia de información y evaluaciones periódicas para asegurar el cumplimiento en tiempo y forma de los objetivos establecidos. Es así, que al tomar de referencia las fortalezas encontradas, los proyectos espaciales pueden comenzar a enfocarse en lo que realmente necesitan en cada fase del ciclo de vida y tener una aproximación más clara del camino que pueden tomar para hacerlo realidad, logrando así una evolución tecnológica en la gestión de proyectos espaciales.

7. Referencias

[1] Carroll, L. y Shun, L. (2017). A comprehensive definition of technology from an ethological perspective. *Social Sciences, 6*(4), 1-20. https://doi.org/10.3390/socsci6040126

[2] Ambrose, S.H. (2001, March 2). Paleolithic technology and human evolution. *Science, 291*, 1748-1753. https://www.sciencemag.org

[3] Moreira, A., Vieira, D. R., Bravo, A. y Bredillet, C. (2020). Improving business process management for product-centric service organization: the case of aerospace maintenance project. *Journal of Modern Project Management, 7*(4), 1–24. https://doi.org/10.19255/JMPM02211

[4] Shenhar, A., Dvir, D., Milosevic, D., Mulenburg, J., Patanakul, P., Reilly, R. R., Ryan, M. R., Sage, A., Sauser, B., Srivannaboon, S., Stefanovic, J. y Thamhain, H. (2015). Toward a NASA-specific project management framework. *Engineering Management Journal, 17,* 8-16. https://doi.org/10.1080/10429247.2005.11431667

[5] Benz, R. (2005). Project management practice in space flights: Development of satellite missions and systems. 17-31. https://www.researchgate.net/publication/295922241_Project_management_practice_in_space_flights_Development_of_satellite_missions_and_systems

[6] Agencia Espacial Mexicana. (2017). *Ingeniería de Sistemas Espaciales. Aplicado a una misión CanSat. Introducción a la Ingeniería de Sistemas Espaciales* [Conference

presentation]. Secretaria de Comunicaciones y Transporte.

[7] Crescencio, J., Córdova, J., López, A., Solia, A. y Grageda, I. (2019). Implementación del PMBOK para el desarrollo de nano-satélites en el IPN. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5(2), 24-41.

[8] Project Management Institute. (2017). *PMBOK guide* (6 ed.). https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok

[9] Elvstrand, H., Hallström, J., Hellberg, K. y Nordic Studies in Science Education. (2018) Vad är teknik? Pedagogers uppfattningar om och erfarenheterav teknik och teknikundervisning i förskolan: What is technology? Preschool teachers' conceptions and experiences of technology and technology education in the preschool. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, 14(1): 37-53 https://doi.org/10.5617/nordina.2670

[10] Borges, A. M. (2019). Технология управления инновационной деятельностью нефтегазовой корпорации. *State Counsellor*, *37*(2), 14–20.

[11] Serlin, D. (2017). Confronting african histories of technology. *Radical History Review*, *2017*(127), 86–102. https://doi.org/10.1215/01636545-3690870

[12] Stretton, A. (2012). Program management: Types of relationships between a program's component projects. *PM World Today*, *14*(2), 1–16.

[13] The Economist. (2007). In guide to project management-Chapter 1: The components of effective project management. *EIU: Economist Intelligence Unit* (pp. 3–20).

[14] Mia, M. A., Lee, H. A., Chandran, V., Rasiah, R. y Rahman, M. (2019). History of microfinance in Bangladesh: A life cycle theory approach. *Business History*, *61*(4), 703–733. https://doi.org/10.1080/00076791.2017.1413096

[15] Aguilera, R. M. (2013). Identidad y diferenciación entre método y metodología. *Estudios políticos UNAM, 9*(28), 81-103. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426439549004

[16] Narváez, A. E. y Ramos, E. A. (2007). Modelos para la Gestión de Proyectos. *Informador Técnico*, *71*, 53-58. https://doi.org/10.23850/22565035.782

[17] Likhachev, M. B. y Shangina, E. A. (2013). Особенности управления проектами в космической отрасли. Cyber Leninka, 66-67. https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-upravleniya-proektami-v-kosmicheskoy-otrasli

[18] Gabbai, J. (2005). *Complexity and the aerospace industry: Understanding emergence by relating structure to performance using multi-agent systems* [Doctoral dissertation, University of Manchester]. https://www.researchgate.net/publication/272087392_Complexity_and_the_Aerospace_Industry_Understanding_Emergence_by_Relating_Structure_to_Performance_Using_Multi-Agent_Systems

[19] Wymore, A. W. (2018). *Model-based systems engineering*. CRC press, (vol. 3).

[20] Mattiello, M., Arias, R. y Hirata, C. (2005). Acomparative study between PMBok/DoD and ECSSS/Management process for software acquisition. https://www.researchgate.net/publication/252248927_A_Comparative_Study_between_PMBoKDoD_and_ECSSManagement_Process_for_Software_Acquisition

[21] Nishida, A., Koshijima, I. y Umeda, T. (2014). *The deployment of sustainable P2M* [Conference presentation]. 2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE). https://doi.org/10.1109/ICE.2014.6871593

[22] Project Management Institute. (2013). *NASA's PMO: Building and sustaining a learning organization* [White paper]. https://www.pmi.org/business-solutions/white-papers/nasa-pmo

[23] Shiotani, B., Asundi, S. y Fitz-Coy, N. (2014*). An end-to-end design and development life-cycle for cubesat class satellites* [Conference presentation]. AIAA SPACE 2014 Conference and Exposition. https://doi.org/10.2514/6.2014-4194

[24] Díaz, V. P., Calzadilla, A. (2016). Artículos científicos, tipos de investigación y productividad científica en las ciencias de la salud. *Revista Ciencia Salud*, *14*(1), 115-121. https://dx.doi.org/10.12804/revsalud14.01.2016.10

[25] Ander, E. y Aguilar, M. J. (2005). *Cómo elaborar un proyecto: Guía para diseñar proyectos sociales y culturales* (18ª ed.). Buenos Aires, Lumen Hvmanitas. https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2017/05/Como-elaborar-un-proyecto-2005-Ed.18-Ander-Egg-Ezequiel-y-Aguilar-Id%C3%A1%C3%B1ez-MJ.pdf.pdf

[26] Ameijide, L. (2016). *Gestión de Proyectos según el PMI*. Universitat Oberta de Catalunya. http://hdl.handle.net/10609/45590

[27] Artto, K., Martinsuo, M., Gemünden, H. y Murtoaro, J. (2009). Foundations of program management: A bibliometric view. *International Journal of Project Management, 27*(1), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.10.007

[28] Shigenobu, O. (2005). *A guidebook of project & program management for enterprise innovation* (Vol. 1). Project Management Association of Japan. https://articulospm.files.wordpress.com/2013/01/p2mguidebookvolume1_060112.pdf

[29] Bravo, B., Dzul, L. y Gracia, S. (2008). *Portafolios, programas y proyectos: Su interrelación* [Presentación de conferencia]. 12th International Conference on Project Engineering, España. https://www.aeipro.com/files/congresos/2008zaragoza/ciip08_2138_2146.609.pdf

[30] Springer, M. L. (2016). *Project and program management: A competency-based approach* (3rd ed.). Purdue University Press. http://www.thepress.purdue.edu/titles/format/9781612494579

[31] Mondelo, E., & Siles, R. (2019). *Guía Metodológica* (5ta. Edición). Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Instituto Interamericano para el Desarrollo Económico y Social (INDES).

[32] Lugo, E. (2019). Estrategias de gestión para financiar proyectos de I+D+i. *Plataformas Internacionales*. Puebla, Puebla, México.

[33] Williams, J. (2017). *Managing Aerospace Projects*. SAE International.

[34] Peris, J. (2002). *El proceso y las fases del proyecto espacial* [Presentación de conferencia]. VI Congreso Internacional de Proyectos de Ingeniería, Barcelona. https://www.aeipro.com/files/congresos/2002barcelona/ciip02_0095_0102.1884.pdf