

Estudio Comparativo del Manejo de Proyectos Espaciales en la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de América (NASA) y la Agencia Espacial Europea (ESA)

*Johana Sánchez Robleda, Lenin Adgimiro Luna Díaz
Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), Venezuela
*jsanchez@abae.gob.ve
lluna@abae.gob.ve

Resumen— El presente artículo presenta la idea general de gerencia o manejo de proyectos espaciales. Así mismo se realiza una revisión de la metodología de manejo de proyectos espaciales utilizada por NASA y ESA, enfocada en el ciclo de vida de los proyectos y las revisiones de los correspondientes entregables. Adicionalmente se muestra la comparación entre ambas agencias, específicamente de las definiciones y contenidos de cada una de las fases y las revisiones de los entregables de las mismas.

Palabras claves— manejo de proyectos, ciclo de vida de proyectos, fases de los proyectos, revisiones de los entregables de los proyectos.

Abstract— This article presents the general idea about space project management. In addition a review of NASA and ESA space project management methodology, focused on project life cycle and their corresponding deliverables reviews is exposed. Furthermore it is shown the comparison between both agencies, specifically the every phases definition and contents, and their deliverables reviews.

Keywords— project management, project life cycle, project phases, deliverables reviews.

I. INTRODUCCIÓN

La gerencia de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para satisfacer los requisitos del proyecto [1].

Las directrices de la gerencia de proyectos necesitan ser tratadas de forma estructurada y controlada, de tal modo que se agilice y garantice el éxito en su implementación. Para tal fin, es fundamental la existencia de una metodología que garantice la implementación de los cambios.

Los dos precursores de la gestión de proyectos son Henry Gantt, quien es famoso por el uso del diagrama de Gantt como herramienta en la gestión de proyectos y Henri Fayol por la creación de las cinco funciones de gestión que son el pilar del cuerpo de conocimiento relacionados con proyectos y programas de gestión.

En la primera mitad del siglo XX, los proyectos eran administrados con métodos y técnicas informales, basados principalmente en los diagramas de Gantt. En los años cincuenta las organizaciones comenzaron a aplicar en forma sistemática

herramientas y técnicas de administración de proyectos a proyectos de ingeniería muy complejos; y es cuando se desarrollan en Estados Unidos dos modelos matemáticos para este fin: las Técnicas de Revisión y Evaluación de Proyectos o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), el cual fue desarrollado por la Marina, y el Método de Ruta Crítica o CPM (*Critical Path Method*), creado para manejar proyectos de mantenimiento de plantas. Simultáneamente, se fueron desarrollando modelos de manejo de tiempos para proyectos, la tecnología para estimar costos de proyectos, la gestión de costos y la ingeniería de economía.

Para 1967, se funda en Europa la Asociación Internacional para la Gestión de Proyectos (*International Project Management Association*, IPMA), siendo esta una federación de varias asociaciones de gestión de proyectos; actualmente mantiene su estructura y ofrece una certificación de cuatro niveles que se basa en las competencias básicas de IPMA (ICB) [2].

En 1969, se formó el Instituto para la Gestión de Proyectos (*Project Management Institute*, PMI) en Estados Unidos. Su objetivo principal es establecer los estándares de la Dirección de Proyectos, mediante la organización de programas educativos, y administrar de forma global el proceso de certificación de los profesionales. En la década de los 80 se realizó la primera evaluación para la certificación como profesional en gestión de proyectos (PMP); además de esto, se implantó un código de ética para la profesión. A principios de los años noventa se publicó la primera edición de la Guía del PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), la cual se convirtió en un pilar básico para la gestión y dirección de proyectos. Tanto sus estándares como su Certificación Profesional han sido reconocidos por las principales entidades gubernamentales y privadas del mundo [3] [4].

II. GERENCIA DE PROYECTOS

A. Concepto De Gerencia De Proyecto

Como se comentó anteriormente la gerencia de proyectos es la disciplina de organizar y administrar los recursos, de forma tal que un proyecto sea terminado completamente dentro de las restricciones del alcance, tiempo y coste planteados a su inicio [1].

La gerencia de proyectos incluye:

- Identificación de todos los requisitos.
- Establecimiento de objetivos claros y posibles de realizar.

- Consecución del equilibrio entre las demandas concurrentes de calidad, alcance, tiempo y costes.

- Capacidad de adaptación de las especificaciones, los planes y el enfoque a las diversas inquietudes y expectativas de los diferentes interesados.

La calidad de un proyecto se ve afectada por el equilibrio entre los factores: alcance, tiempo y costes del mismo. Un proyecto de alta calidad es aquel en donde se entrega el producto, servicio o resultado final, con el alcance solicitado, puntualmente y dentro del presupuesto establecido. La relación entre estos tres factores llega a tal punto, que si cualquiera de ellos cambia, se ve afectado al menos uno de los otros.

Muchos de los procesos incluidos en la gerencia de proyectos son repetitivos, debido a la necesidad de elaborar gradualmente el proyecto durante el ciclo de vida del proyecto. Esto quiere decir, que a medida que un equipo de gerencia de proyecto conoce con mayor profundidad el mismo, este equipo puede dirigirlo con un mayor nivel de detalle.

B. Importancia

No es difícil encontrar un amplio número de proyectos, que han demandado tiempos superiores de ejecución comparados con los pronosticados, que han consumido recursos financieros significativamente mayores, que han causado perjuicios y frustración notables a los clientes y usuarios. Tampoco son pocos los proyectos que colapsan por falta de dirección y liderazgo de sus gestores. Son muchos los proyectos de diferente índole que pasan largas temporadas en la tribunales de justicia y conciliación, derivado de la incapacidad, negligencia, ignorancia de los asesores y funcionarios que estructuran los contratos.

Todo esto se debe a la ausencia de aplicación de buenas prácticas durante la gerencia de un proyecto; lo cual refleja vacíos en la dirección, deficiencia en los estudios de factibilidad o de diseño, incapacidad e incompetencia de quien tiene la responsabilidad de la gerencia del proyecto, improvisación precipitación en la toma de decisiones, falta de planificación en los procesos, mala planificación en los procesos de procura y contratación, desorganización, entre muchas otras. Entre las consecuencias más comunes que se generan de estas malas prácticas se encuentran [5]:

1) *Los proyectos parten mal desde el mismo inicio.* Generalmente los objetivos establecidos son ambiguos y, por ende, el alcance del proyecto no es claro. Además:

- No se identifican los riesgos; y si se identifican, no se controlan ni se aplican planes de contingencia cuando estos se formulan.
- El equipo del proyecto no participa en la construcción de la estructura detallada de trabajo.
- No se identifican los interesados (*stakeholders*), y su grado de compromiso con el proyecto.
- No se establecen los criterios de aceptación.

2) *Priva la rapidez por encima del pensamiento.* Generalmente las teorías son desechadas en pro de la prisa, lo cual origina que se obtengan resultados erróneos, y por ende haya que realizar nuevamente el trabajo.

3) *Se carece de una planificación, adecuando las actividades a medida que se desarrolla el proyecto.* La planificación detallada resulta fundamental para la ejecución y el control; es la garantía del éxito del proyecto.

4) *Ausencia de liderazgo en la dirección y gestión del proyecto.* Generalmente el liderazgo aplicado es de carácter autoritario, coercitivo, no participativo.

5) *Falta de motivación en el equipo de trabajo.* Para que un equipo se sienta motivado debe tener claro los objetivos del proyecto,

participar activamente en la construcción del programa de trabajo, y ser responsable de la calidad del producto final.

También es importante destacar la otra cara de la moneda, es decir, proyectos considerados como exitosos que dan respuesta adecuada y oportuna a las expectativas tanto de sus propietarios como de sus clientes, que cumplen con requisitos de calidad al dejar satisfechos a sus usuarios, que logran cumplir con las previsiones presupuestarias y que obviamente responden a los compromisos de tiempo y oportunidad. Sin duda, estos resultados halagadores son la secuela de la concurrencia de procesos válidos y confiables de planeación, programación, organización, trabajo en equipo, adecuada y simétrica comunicación e información, documentación anticipada de riesgos y limitaciones, de juiciosos y ponderados estudios jurídicos, técnicos y financieros que dan salida a contratos inequívocos y transparentes, y principalmente, de un liderazgo que combina adecuadamente conocimiento, experiencia, compromiso y ética profesional y, la cabal comprensión de su responsabilidad por parte de quienes asumen la ejecución de los proyectos.

C. Estructura General De Los Proyectos

Todas las gestiones de proyecto siguen un patrón conocido como el ciclo de vida del proyecto. Esto es cada una de las fases en las que los gerentes de proyecto o la organización divide el proyecto [1]. Estas divisiones se realizan con objeto de facilitar su gestión, mejorar el control, y mantener el proyecto alineado con los objetivos.

El ciclo de vida de un proyecto define las fases que conectan el inicio de un proyecto con su fin. Cada una de las fases del proyecto culmina con la realización de uno o varios entregables (plan de negocio, especificación, documento de diseño preliminar, plan de pruebas, etc.). La mayoría de los entregables de las subfases están relacionados con el producto de la fase principal, y las fases normalmente toman el nombre de estos entregables, por ejemplo: requisitos, diseño, construcción prueba, puesta en marcha, entre otros, según corresponda.

Los ciclos de vida de un proyecto, generalmente definen [1]:

- Qué trabajo técnico se debe realizar en cada fase.
- Cuando se deben generar los productos entregables en cada fase y cómo se revisa, verifica y valida cada uno de ellos.
- Quién está involucrado en cada fase.
- Cómo controlar y aprobar cada fase.

Las descripciones del ciclo de vida del proyecto pueden ser muy generales o muy detalladas; pero la mayoría ellos comparten las siguientes características en común:

- Las fases son secuenciales y están definidas por alguna forma de transferencia de información técnica.
- El nivel de costes y de personal es bajo al comienzo, alcanza su nivel máximo en las fases intermedias y cae rápidamente cuando el proyecto se aproxima a su conclusión.
- El nivel de incertidumbre es el más alto y, por lo tanto, el riesgo de no cumplir con los objetivos es más elevado al inicio del proyecto.
- El poder que tienen los interesados en el proyecto para influir en las características finales del producto y en el coste final del proyecto es más alto al comienzo y decrece gradualmente a medida que avanza el mismo.

El fin de cada fase viene acompañado de un proceso de revisión; los entregables de una fase se revisan para verificar si están completas, si son exactos y se aprueban antes de iniciar el trabajo en la siguiente fase, aunque esto no necesariamente priva el inicio de la siguiente fase. Los objetivos principales de estas revisiones son:

- Revisar los entregables obtenidos en la fase antes de proceder a su aceptación por el cliente.

- Evaluar el rendimiento del proyecto hasta la fecha prediciendo su actuación futura.
- Determinar si el proyecto debe proceder o no a la fase siguiente.
- Revisión del plan de proyecto.

Aún cuando muchos ciclos de vida de proyectos tienen nombres de fases similares, muy pocos ciclos de vidas son idénticos. Algunos tienen cuatro o cinco fases, pero otros pueden tener nueve o más. En una misma área de aplicación pueden darse variaciones significativas: como por ejemplo un proyecto puede tener una única fase de diseño, mientras otro puede tener fases separadas para el diseño preliminar y el detallado.

Según el PMI, el ciclo de vida del proyecto se divide en 5 fases:

- Fase de Inicialización. Es la primera fase del ciclo de vida de un proyecto, consiste en armar el equipo, preparar el marco preliminar y establecer una fecha de culminación.
- Fase de planificación. Aquí se enumeran todas las tareas necesarias para completar el proyecto y proporcionar cronogramas para cada tarea. Esta es una fase iterativa del proyecto.
- Fase de ejecución. En esta fase se reúnen y utilizan los recursos para crear los entregables planteados previamente. Es la fase más larga y complicada del ciclo de vida del proyecto. Esta es también una fase iterativa.
- Fase de control y seguimiento. Esta es la última fase iterativa. Requiere que se muestren los productos entregables al cliente para su aprobación.
- Fase de cierre. Una vez que el cliente aprueba los entregables, el equipo debe preparar un informe posterior al cierre.

III. GERENCIA DE PROYECTOS ESPACIALES

A. Estructura General De Los Proyectos Espaciales

Los proyectos espaciales en el mundo, se organizan en fases, las cuales abarcan todo el desarrollo de la vida del programa. Estas fases comprenden desde los estudios de factibilidad, la decisión de la puesta en marcha de un proyecto, la generación del plan de gestión, la creación del programa, la puesta en marcha en el espacio y la utilización de los servicios y/o productos.

El paso de una fase a la otra debe ser autorizada, por lo general, por los directores de los proyectos o por comités definidos para tal fin, y cada una de estas fases confirma la consistencia técnica del trabajo para evitar que haya grandes problemas en el desarrollo.

Cada una de las fases de un proyecto espacial culmina con una "revisión", que es una gran reunión en la que un comité, generalmente con los directores de proyectos específicos y los expertos, analizan los resultados obtenidos y sobre esa base definen las acciones para el control y mitigaciones necesarias, y tomar la decisión de si se continúa o no con la siguiente fase.

Esta forma de organizar los proyectos en fases progresivas genera una ventaja en cuanto a los criterios y las definiciones de actividades que serán desarrolladas, el empleo de medios y recursos necesarios solo en el momento adecuado, así como mantener el control de las autoridades responsables del avance y la posibilidad de la utilización de técnicas de gestión más eficaces.

Para eso las organizaciones que manejan los proyectos deben organizar sus equipos de proyecto de tal forma, que los gerentes de proyecto definan y organicen las actividades con minuciosidad y lógica; pero a su vez deben tener la flexibilidad para adaptarse a posibles cambios y evoluciones del contexto. Con esto, las organizaciones son libres para diseñar, nombrar y organizar cada una de las fases dentro de su Plan de Manejo de Proyectos. En términos

generales, se utilizan las letras O, A, B, C, D, E y F; y cada organización, de acuerdo con sus políticas y estándares define su Plan de Manejo de Proyecto; más aún, cada gerente de proyectos, de acuerdo al proyecto y las circunstancias en la que se desarrolla, puede añadir contenidos y separar en subfases cada una de ellas.

Por ejemplo, algunas veces es necesario anular o unir fases por temas de desarrollo. Una fase C/D puede comenzar con varios subsistemas durante la fase B debido al comienzo de un trabajo a largo plazo; o algunos desarrollos tecnológicos que deberían finalizar en la Fase B, se continúan durante la Fase C/D.

IV. ESTRUCTURA Y DOCUMENTACIÓN DE PROYECTOS ESPACIALES SEGÚN LA NASA

El objetivo del manejo de proyecto espaciales en la NASA es el de alcanzar el mayor número de éxitos posibles en la ejecución de sus programas y proyectos. Estos éxitos están medidos en la seguridad de la ejecución de cada proyecto, a la vez que se superan la calidad de los objetivos técnicos, dentro del cronograma y los costos pre-establecidos [6].

El proceso de desarrollo de los proyectos, en la NASA, incluye las siguientes etapas: La Formulación del proyecto (aquí se incluye toda la planificación inicial del proyecto), la Aprobación y la Implementación [7].

- La etapa de formulación consiste principalmente en las Fase A y Fase B, aunque también incluye una fase preliminar, llamada Pre-Fase A. Durante esta etapa es importante que haya suficiente planificación que permita desarrollar e integrar el basamento técnico con el presupuesto de costo y el cronograma; así como identificar todos los riesgos asociados.
- En la etapa de aprobación el objetivo principal es determinar si un proyecto está listo para proceder a las actividades de implementación. Esta etapa se evalúa la madurez técnica del proyecto; para esto los requerimientos del proyecto son continuamente refinados, la planificación del proyecto continúa, las decisiones de desarrollos o compras ya están tomadas, y en el caso de proyectos subcontratados, los acuerdos de financiamiento y tipos de contratos están consumados. Si el proyecto no se considera listo para pasar a la etapa de implementación, se envía nuevamente al proceso de formulación, en donde se revisa la formulación previa para solicitar y aprobar los cambios necesarios en el Plan del Proyecto, basados en las consideraciones presupuestarias, de cronograma o técnicas halladas en las revisiones; esto puede ser un proceso iterativo. Según el estándar MPR 7120.1 [7], en esta se requieren evaluaciones independientes (*Independent Assessments*, IAs), las cuales sirven de soporte al proceso de aprobación por parte del Consejo de Gestión del Centro Marshall (*MSFC Center Management Council*, CMC) y el Consejo de Administración de Ingeniería (*Engineering Management Council*, EMC); para generar el Plan de Proyecto aprobado y la Autorización para Proceder (*Authority To Proceed*, ATP), o en su defecto las instrucciones adicionales para las actividades de formulación.
- La etapa de implementación del proyecto se puede dividir en fases: el diseño final y la fase de fabricación (Fase C), el montaje del sistema, prueba integrada, puesta en marcha y la fase de comprobación (Fase D), las operaciones y la fase del mantenimiento (Fase E), y la fase de desmantelación (Fase F); las cuales están definidas por las actividades que son realizadas durante cada una de ellas. Una vez que se

establecen los requisitos del sistema, se inicia la actividad de diseño, y los planes se refinan para el desarrollo final, fabricación, pruebas y operaciones. Es importante durante esta etapa el monitoreo continuo de la planificación y el control durante toda la ejecución.

A su vez, cada una de estas etapas contiene algunas de las fases definidas para el ciclo de vida de un proyecto, las cuales se explican a continuación:

Pre-Fase A: es donde se hacen los estudios conceptuales para el proyecto. En esta fase se genera un Documento de Autorización de Formulación (*Formulation Authorization Document, FAD*) aprobado o una Oportunidad de Anuncio (*Announcement of Opportunity, AO*) con un concepto general de la misión con los objetivos científicos. Durante esta pre-fase, el primer paso es el de determinar las necesidades de la misión, generando la Declaración de las Necesidades de la Misión (*Mission Needs Statement*).

El objetivo de esta fase es determinar el concepto que satisfaga los requisitos de la misión; utilizando análisis y simulaciones para evaluar los mejores conceptos. También se realiza, cuando es posible, un análisis de la utilidad para determinar el valor del proyecto, generalmente es más cualitativo que cuantitativo; para lograr una mejor estimación del Coste del Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost, LCC*) del proyecto y sus beneficios, frente a otras alternativas existentes.

El concepto de la misión será presentado en la Revisión del Concepto de la Misión (*Mission Concept Review, MCR*), o documentado como parte de la propuesta de licitación al final de esta. La MCR es una revisión interna llevada a cabo para examinar que la propuesta conceptual cumpla con los objetivos de la misión.

Fase A: viene a ser la fase de Desarrollo del Concepto y la Tecnología. Esta fase comienza con el Documento de Autorización de Formulación (*Formulation Authorization Document, FAD*) del Proyecto, que formaliza la iniciación del proyecto. Aquí se forma un equipo para actualizar y desarrollar plenamente el concepto de la misión, el cual también será responsable del desarrollo de la tecnología, la creación de los prototipos y las actividades de mitigación de riesgos. Aquí se desarrollan la Estructura de Desglose de Trabajo EDT (*Work Breakdown Structure, WBS*), el diccionario de la EDT, se definen los entregables del proyecto y los esfuerzos que serán necesarios para gestionar e integrar los sistemas existentes que forman parte del proyecto, se genera el Plan del Proyecto, el Plan de Sistemas de Gestión de Ingeniería (*Systems Engineering Management Plan, SEMP*) y Otros Planes / Reportes / Evaluaciones.

Esta fase culmina con dos revisiones principales [7]:

- La Revisión de los Requisitos del Sistema (System Requirements Review, SRR), la cual evalúa los requerimientos del proyecto generados en esta fase. El objetivo es confirmar que los requerimientos y las especificaciones del sistema son suficientes para cumplir con los objetivos del proyecto. La SRR será presidida por el Gerente del Proyecto e incluye a todos los principales participantes de alto nivel de la NASA y sus contratistas.
- La Revisión de la Definición del Sistema (System Definition Review, SDR), revisa la arquitectura y el diseño del sistema propuesto. Presenta las especificaciones de todo el sistema a un nivel de detalle tal que, al finalizar se pueda realizar el diseño y la adquisición de los productos. Esta revisión debe realizarse al final de la Fase A y debe ser aprobada para pasar a la Fase B.

Fase B: que viene a ser la fase de Diseño Preliminar y Finalización de la Tecnología. Durante esta fase el equipo completa la evaluación de las necesidades de desarrollo de la tecnología del proyecto, la evaluación de viabilidad, la disponibilidad, la preparación, el riesgo y se genera el diseño preliminar, y se

establecen las estimaciones de cronograma y el Costo del Ciclo de Vida (*Life-Cycle Cost, LCC*) del proyecto. Estas actividades están enfocadas en el plan del proyecto, en completar el diseño preliminar, y asegurar que se completen los sistemas de actividades de ingeniería. Los conceptos y los requisitos que se han desarrollado, y son revisados y analizados los riesgos que fueron identificados durante la Fase A. Los criterios de evaluación utilizados para evaluar conceptos alternativos se desarrollan a un nivel más detallado. A mediados de la formulación se lleva a cabo la planificación preliminar de calidad y se genera un plan preliminar de calidad, un análisis preliminar de peligros, el análisis de árbol de fallos (*Fault Tree Analysis, FTA*), y del Análisis de Modo de Fallo y Efectos (*Failure Mode and Effects Analyses, FMEA*).

En esta fase, el gerente de proyecto continúa asegurando que el riesgo se evalúe de manera compatible con la maduración del sistema y el diseño del subsistema, el aumento de la estabilidad de los requisitos y la mayor fidelidad del concepto de diseño de la misión.

Se establecen una serie de comités y juntas para realizar todas las evaluaciones a cada uno de los documentos, planes, reportes, así como la evaluación de tecnologías y contratistas. El gerente del proyecto, el Representante del Contratante (*Contracting Officer's Representative, COTR*) y el Contratante (*Contracting Officer, CO*) deben establecer el proceso mediante el cual todos los cambios contractuales estén debidamente revisados antes de su aprobación, así como también proporcionan una disposición para un control de cambios seguro y oportuno cuando las circunstancias lo ameriten.

La culminación de esta fase vendrá dada por la Revisión de Diseño Preliminar (*Preliminary Design Review, PDR*), la cual se lleva a cabo cuando se ha seleccionado el enfoque de diseño básico, se han completado al menos el 10% de los planos y la madurez general del diseño es de aproximadamente del 50%. En general, el PDR es una revisión técnica del diseño para asegurar el cumplimiento de los requisitos y establecer los requerimientos de interface y una base para continuar los Documentos y Dibujos de Control de Interfaz (*Interface Control Document and Interface Control Drawing, ICDS*). También aprueba la aproximación del diseño para proceder al diseño detallado. Su objetivo es evaluar la propuesta del proyecto y determinar si la madurez de la definición del proyecto y los planes asociados son suficientes para iniciar la etapa de ejecución [6].

Fase C: es la fase de Diseño Final y Fabricación. Durante esta fase se culmina el diseño del proyecto, de tal forma que cumpla con los requisitos detallados, y se comienza la fabricación de la arquitectura de vuelo y de las pruebas. Todas las actividades de la fase están basadas en la ejecución del proyecto tal como está estipulado en el Plan del Proyecto, la finalización del diseño y el aseguramiento de que el diseño es lo suficientemente maduro como para proceder a la implementación. En esta fase se asignan los márgenes de diseño para cada sistema y subsistema, y se analizan durante el proceso de diseño las asignaciones para garantizar el cumplimiento de los requisitos del sistema y el cumplimiento de los márgenes. Aquí se desarrolla el Plan de Fabricación y Montaje, que especifica las herramientas, instalaciones, horarios, procesos críticos, y el esquema de subsistema y montaje del sistema final. Se desarrolla, si es posible, un prototipo del sistema de vuelo para comprobar el rendimiento, la ingeniería, el ajuste y la instalación, y el rango de funcionamiento físico de los elementos móviles. Los ingenieros de diseño, ingenieros de sistemas y administradores de configuración evalúan para hacer los ajustes para el diseño, si es necesario. El análisis del rendimiento del sistema continúa durante este período para finalizar la planificación y para asegurar que se han analizado e integrado todos los aspectos de la misión.

La culminación de esta fase se enfoca en:

- La Revisión del Diseño Crítico (*Critical Design Review, CDR*), que provee el aseguramiento de que el diseño detallado está en concordancia con las especificaciones del Producto Final del Contrato (*Contract End Item, CEI*) antes de pasar a la manufactura. La CDR generalmente se realiza cuando el diseño y los planos están completados en aproximadamente 90 a 95%. Esta revisión incluye la finalización de la compatibilidad del sistema, integridad del diseño, valoración de la confiabilidad, valoración de la capacidad de mantenimiento, valoración de la seguridad, y la relación entre costo y programación. El producto primario de la revisión es la aprobación técnica final para la liberación formal de la documentación de ingeniería específica que será aprobada para su uso en la manufactura final. Los participantes y ejecutivos son básicamente los mismos que para la PDR del proyecto.
- La Revisión del Sistema de Integración (*System Integration Review, SIR*), la cual se utiliza para evaluar todos los procedimientos de integración y verificar que son consistentes con el Plan de Verificación de Requisitos. Dado que la SIR normalmente indica la finalización de la Fase C, el gerente del proyecto debe asegurar que todos los productos sean consistentes con el estándar NPR 7120.5 “Programa de Vuelo Espacial de la NASA y el Manual de Gestión de Proyectos” [7], y que se ha realizado la revisión de gobierno del Concejo de Gestión de Proyectos (*Project Management Council, PMC*).

Fase D: es la fase de Ensamblaje, Integración y Prueba (I&T) del sistema, Lanzamiento y Comprobación. Durante esta fase, el proyecto lleva a cabo el montaje del sistema, integración, prueba, puesta en marcha, y las actividades de comprobación del sistema. Las principales actividades incluyen la integración, la verificación y validación del sistema; la integración del pre-lanzamiento y lanzamiento como foco principal de las actividades de vuelo. Al final de esta fase, el sistema es capaz de lograr su misión. La integración de sistemas es, a la vez un proceso físico y analítico, y abarca todos los elementos relacionados con el proyecto, incluyendo el sistema de vuelo, software, sistemas de tierra, las interfaces de lanzamiento asociados y operaciones de la misión. Aquí se establece un programa de verificación que cumpla con los criterios de la gestión de proyectos de cada uno de los centros que conforman la NASA. El gerente del proyecto asegura que el Centro de Control de Operaciones (*Operations Control Center, OCC*) está terminado y listo para apoyar a las simulaciones de misión y para la participación en las pruebas de nivel de los sistemas. El equipo del proyecto también supervisa la conducta de pruebas ambientales.

Estas actividades se centran en la preparación para:

- La Revisión de Aceptación del Sistema (*System Acceptance Review, SAR*), que es la revisión final que se lleva a cabo para la entrega del producto y la aceptación de la NASA. Consiste en la revisión detallada de todos los ítems finales del hardware y software a ser entregados y abarca no solo el hardware de vuelo y del Equipo de Soporte en Tierra (*Ground Support Equipment, GSE*), sino también cualquier artículo de prueba, repuestos, equipos de pruebas especiales, software de soporte, etc., a ser entregados. Se suministra una Aceptación del Paquete de Datos (*Acceptance Data Package, ADP*) con la documentación de soporte, que es examinada para el cumplimiento de los requerimientos del proyecto y para asegurar que todos los trabajos abiertos/diferidos están identificados y los planes de disposición han sido desarrollados y acordados previamente.

- La Revisión de Preparación Operativa (*Operational Readiness Review, ORR*), la cual asegura que los requerimientos de operaciones en tierra, desde la fabricación hasta su entrega, han sido definidos y que el soporte necesario ha sido definido y asignado. Además, se revisa la documentación del plan del sitio de lanzamiento para permitir la finalización del soporte para la integración física y lanzamiento del sistema.
- La Revisión de Preparación de Vuelo (*Flight Readiness Review, FRR*), que es una revisión detallada mediante la cual el sistema puede ser certificado como adecuado para vuelo. Incluye una revisión del proceso de verificación del sistema (pruebas y análisis), compatibilidad del sistema, plan de operación, y preparación del equipo de trabajo. De la revisión resultará la certificación de la preparación de vuelo que será firmada por los miembros del equipo de operaciones, la aceptabilidad del sistema para vuelo, y la preparación del sistema para asegurar que se alcancen todos los objetivos del vuelo.
- La Revisión de Evaluación Post-Lanzamiento (*Post-Launch Assessment Review, PLAR*), la cual evalúa la preparación del vehículo espacial para continuar con las operaciones de rutina. Analiza la experiencia de operaciones de vuelo desde el lanzamiento y evalúa el estado de los planes del proyecto y la capacidad para llevar a cabo la misión. Esta revisión ocurre normalmente luego de las operaciones de vuelo temprano y la revisión inicial.

Fase E: es la fase de Operaciones y Sostenimiento. Esta fase comienza después de la PLAR donde el equipo de desarrollo de la misión hace la transición al equipo de operaciones del proyecto, luego del periodo de comprobación inicial después de su lanzamiento. La ejecución de las operaciones en órbita comienza con el despegue del vehículo de lanzamiento y se compone de todas las actividades a bordo necesarias para que la nave espacial pueda llevar a cabo su misión. El gerente de proyecto debe asegurar que las operaciones de la misión se estén realizando como estaba previsto y descrito en el Plan de Operaciones de la Misión (*Missions Operations Plan, MOP*). En esta fase se reduce significativamente el personal del proyecto para entrar en la fase E. Durante esta fase se tiene un riguroso proceso para documentar el trabajo, captar los problemas y resolverlos con rapidez. Una de las partes más importantes de las operaciones de la misión son los datos recogidos de la misión. Estos datos son utilizados para determinar el rendimiento de la nave espacial, y por lo tanto, el éxito de la misión, y podrían ser utilizados para las evaluaciones del contrato. Aquí se generan los documentos Fin de la Misión (*End of Mission, EOM*) y Plan de Finalización de la Misión (*End of Mission Plan, EOMP*), que serán de vital importancia para las actividades de la Fase F.

Justo antes de las Medidas de Efectividad (*Measures of Effectiveness, MOE*), se debe proporcionar una evaluación final del éxito de la misión, incluyendo cualquier información adicional que cuantifica los beneficios recibidos de cualquier fase de la misión.

En esta fase se realizan tres revisiones principales:

- La Revisión de la Preparación de los Eventos Críticos (*Critical Events Readiness Review, CERR*), la cual determina que un sistema está listo para ejecutar las actividades críticas de la misión durante las operaciones en vuelo. Se lleva a cabo durante toda la fase.
- La Revisión de Evaluación Post-Vuelo (*Post-Flight Assessment Review, PFAR*), que ayuda a identificar las anomalías que ocurren con el vuelo y la misión, y determina las acciones para mitigar y prevenir anomalías en futuros vuelos. Esta revisión forma parte del sistema de información de lecciones aprendidas de la NASA.

- La Revisión de la Puesta Fuera de Servicio (*Decommissioning Review*, DR), esta es la revisión que confirma la decisión de poner fuera de servicio el sistema. Aquí se verifica si el sistema está listo para la puesta fuera de servicio y como disponer de los activos del sistemas. La aprobación de esta revisión es la que da culminación a la fase E.

Fase F: es la fase de Desmantelamiento y Cierre. Durante esta fase se implementa el Plan de Desmantelamiento que fue desarrollado y aprobado en la Fase E, el cual asegura que todas las actividades del proyecto han culminado.

La Revisión de la Preparación para la Eliminación (*Disposal Readiness Review*, DRR), se ejecuta durante esta fase, y consiste en revisar la preparación para la recolección de la nave espacial.

El personal de operaciones de la misión evalúa el desempeño del sistema, incluyendo las actividades de operaciones y se documentarán las observaciones, anomalías y/o lecciones aprendidas en los informes de evaluación de la misión, aun cuando gran parte de ellas fueron recolectadas en la Fase E. Así como también se realizan los análisis correspondientes tanto de la misión en general, como de los datos recopilados durante la misma.

Para finalizar el gerente del proyecto en conjunto con el COTR, proceden a realizar las actividades del cierre del contrato.

Durante cada una de las fases se generan documentos y procedimientos de control y verificación que son proporcionados por diferentes estándares los cuales pueden encontrarse referenciados en el Handbook MSFC-HDBK-3173 [7].

V. ESTRUCTURA Y DOCUMENTACIÓN DE PROYECTOS ESPACIALES SEGÚN LA ESA

Para la ESA, el ciclo de vida de los proyectos espaciales se divide típicamente en las 7 fases de manejo de proyectos espaciales. En la ESA, las fases del proyecto están estrechamente relacionadas a las actividades y al producto generado en cada una de ellas. La culminación de cada fase y el inicio de la próxima, está sujeta a la finalización de las actividades principales, así como a las revisiones asociadas al manejo de proyectos, las cuales se encuentran establecidas en el estándar CESS-M-ST-40 [8].

Para todas las revisiones, con la excepción de la Revisión de Definición de la Misión (*Mission Definition Review*, MDR) que normalmente involucra sólo al iniciador del proyecto y al cliente; involucran a todos los actores del proyectos, que hayan participado en las fases de proyecto que contienen estas revisiones.

La ESA utiliza el llamado “modelo V”, en donde la secuencia de revisión desde la Revisión de Requerimientos Preliminares (*Preliminary Requirements Review*, PRR) a la Revisión del Diseño Preliminar (*Preliminary Design Review*, PDR) es de “arriba hacia abajo”, iniciando en el cliente de nivel superior hasta llegar al proveedor de nivel más bajo; y desde la Revisión del Diseño Crítico (*Critical Design Review*, CDR) a la Revisión de Aceptación (*Acceptance Review*, AR), la secuencia de revisión se invierte.

En cuanto a la definición de las fases, la ESA trabaja principalmente de la siguiente manera:

Las Fases 0, A y B se centran principalmente en la identificación de los requerimientos y conceptos del sistema para cumplir con la misión, así como de las actividades y recursos a utilizar durante el proyecto, y realizar las evaluaciones preliminares de riesgo; todo esto para dar inicio a las actividades de pre-desarrollo.

Las Fases C y D comprenden todas las actividades a realizar con el fin de desarrollar y calificar los segmentos espaciales y terrestres, y sus productos.

La Fase E comprende todas las actividades que se deben realizar con el fin de poner en marcha, en servicio, utilizar y mantener los

elementos orbitales del segmento espacial; y utilizar y mantener el segmento terreno asociado.

La Fase F comprende todas las actividades que se deben realizar con el fin de eliminar de forma segura todos los productos lanzados al espacio, así como del segmento de tierra.

A continuación se proporciona una visión detallada de las tareas típicas de cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto, según la ESA:

Fase 0: es la fase del Análisis de la Misión y de la Identificación de las Necesidades. Estas actividades las llevan a cabo el iniciador del proyecto en conjunto con el cliente de alto nivel y los representantes de los usuarios finales (en caso de ser diferentes del cliente). Las principales actividades que se desarrollan durante esta fase comprenden: el identificar los posibles conceptos de la misión y elaborar la declaración de la misión en cuanto a las necesidades de la misión, el rendimiento esperado, la confiabilidad y seguridad y las restricciones operativas de la misión; así como desarrollar de manera preliminar la especificación de los requisitos técnicos y realizar la evaluación preliminar de riesgo. En cuanto a la parte del manejo del proyecto, se debe realizar la evaluación preliminar de todos los aspectos relativos al programa.

Esta fase culmina una vez se lleve a cabo la Revisión de la Definición de la Misión (*Mission Definition Review*, MDR), la cual consiste en dar a conocer la Declaración de la Misión (*Statement of Work*, SOW) que fue desarrollada y perfeccionada durante toda la fase; evaluar las especificaciones de requisitos técnicos preliminares y la preparación del proyecto para poder pasar a la fase A. La aprobación de esta revisión da paso al inicio de la fase A.

Fase A: es la fase del Análisis de Factibilidad. Esta es una actividad que se lleva a cabo con el resultado que se informó al iniciador del proyecto en la fase anterior. En esta etapa se crea el plan de gestión preliminar, el plan de ingeniería de sistemas, el plan de aseguramiento de producto; además se determinan los niveles de incertidumbre y se realiza la evaluación de riesgos. Es aquí donde se realiza la identificación de las tecnologías críticas y se proponen las actividades de pre-desarrollo; también se cuantifican y caracterizan los elementos críticos para verificar la factibilidad técnica y económica. En cuanto al manejo gerencial del proyecto, en esta fase, se debe establecer el árbol de funciones y evaluar la factibilidad en cuanto a la ejecución, costos, horarios y organización.

Esta fase culmina con la Revisión de Requerimientos Preliminares (*Preliminary Requirements Review*, PRR), la cual consiste en dar a conocer los planes de gestión, de ingeniería y de productos preliminares; las especificaciones de requisitos técnicos; la confirmación de la factibilidad técnica y programática; la selección de los conceptos de sistemas y operaciones, y soluciones técnicas que se llevaran a cabo en la fase B. El resultado de esta revisión se utiliza para evaluar la preparación del proyecto para pasar a la fase B.

Fase B: Es la fase de Definición Preliminar. En esta fase ya los requisitos generales para el desarrollo del proyecto están identificados y se ha verificado la factibilidad del mismo. Ahora se procede a realizar los planes de manejo de proyectos, el de ingeniería y el de aseguramiento de producto; el maestro del cronograma del proyecto, la estructura de desglose de la organización (*Organizational Breakdown Structure*, OBS) y la estructura de desglose del trabajo; así como se define el costo del proyecto.

Es aquí donde se establece una definición preliminar del diseño para el concepto del sistema seleccionado, tomando en cuenta la solución técnica elegida y su factibilidad, el programa de verificación del modelo seleccionado, las interfaces externas y las tecnologías críticas. Se establecen los contratos a terceros para satisfacer las necesidades tanto técnicas como del cronograma del proyecto.

También se generan el plan de mitigación para la fase E (mitigación de desechos espaciales y eliminación), la evaluación de

fiabilidad y seguridad, y se debe actualizar la evaluación de riesgos del proyecto.

Asociadas a esta fase se encuentran dos revisiones principales:

- La Revisión de los Requisitos del Sistema (*System Requirements Review*, SRR), la cual se lleva a cabo durante la fase y consta de la actualización de especificaciones de requisitos técnicos, la evaluación de la definición del diseño preliminar y del programa de verificación preliminar.
- La Revisión del Diseño Preliminar (*Preliminary Design Review*, PDR), que se lleva a cabo al finalizar la fase B, ya que esta revisión es la que indica que el proyecto se encuentra listo para pasar a la fase C; en esta revisión se verifica el diseño preliminar del concepto seleccionado y las soluciones técnicas versus los requisitos, tanto del proyecto, como del sistema; los planes definitivos de la gestión del proyecto, de ingeniería y de aseguramiento del producto; la estructura de desglose de trabajo; el árbol de especificaciones y el plan de verificación.

Fase C: Es la fase de Definición Detallada. El alcance y las tareas realizadas durante esta fase son impulsadas por la filosofía seleccionada para el proyecto, así como el enfoque de verificación adoptado. La principal tarea durante esta fase es la finalización de la definición del diseño detallado del sistema en todos los niveles; para ello se define la producción, las pruebas de desarrollo y pre-calificación de los elementos y componentes seleccionados, así como las pruebas y el enfoque de verificación de los modelos de ingeniería, se finaliza el montaje e integración y se tienen definidas las interfaces internas y externas.

También durante esta fase se realiza una actualización de la evaluación de riesgo, y se genera un manual de usuario preliminar.

Para evaluar la preparación del proyecto para pasar a la fase D, se lleva a cabo la Revisión del Diseño Crítico (*Critical Design Review*, CDR), la cual evalúa el estado de calificación y validación de los procesos críticos y su preparación para la implementación de la fase D; así como confirmar el diseño final, junto con la compatibilidad de las interfaces, la planificación del ensamblaje, la integración y las pruebas.

Fase D: Es la fase de Calificación y Producción. Para esta fase ya el diseño del producto está totalmente definido y aprobado, y se ha verificado su factibilidad. Aquí se completan las pruebas de calificación y todas las actividades de verificación correspondientes; la fabricación, ensamblaje y pruebas en el modelo de vuelo y en la unidad de apoyo en tierra; las pruebas entre el espacio y el segmento terrestre. Y se preparan los paquetes de datos para la aceptación del producto final.

Hay 3 revisiones asociadas a esta fase, las cuales son:

- La Revisión de Calificación (*Qualification Review*, QR), la cual se lleva a cabo durante el transcurso de la fase. Aquí se confirma que el proceso de verificación ha demostrado que el diseño cumple con los requisitos; que la verificación se ha completado en todos los niveles y se comprueba la aceptabilidad de las exenciones y desviaciones. Donde el desarrollo abarca la producción de uno o varios productos recurrentes, esta revisión se completa con una verificación de la configuración funcional.
- La Revisión de Aceptación (*Acceptance Review*, AR), la cual se realiza al finalizar la fase. Esta revisión evalúa la preparación del producto para su entrega. En esta revisión se confirma que el producto está libre de errores de manufactura y está listo para su uso operativo, se verifica que el registro de verificación de aceptación se completó en todos los niveles, y que los productos entregables estén disponibles, según la lista de entregables aprobada.

También se comprueba que el paquete de datos de aceptación esté completo, y así autorizar la entrega del producto.

- La Revisión de la Preparación Operativa (*Operational Readiness Review*, ORR), que también se lleva a cabo al finalizar la fase. Aquí se verifica la preparación de los procedimientos operacionales y su compatibilidad con el sistema de vuelo, la disposición de los equipos de operaciones, y que el segmento terreno esté listo para las operaciones.

Fase E: Es la fase de Operación y Utilización del Producto Final. Como en esta fase las tareas que se realizan son muy variables y van en función del tipo de proyecto que se realice, sólo se puede proporcionar una visión muy general de las actividades, como por ejemplo: se llevan a cabo todas las actividades en el espacio y el segmento terreno para poder preparar el lanzamiento; se efectúa el lanzamiento, la verificación de la órbita, las operaciones en órbita y en el segmento terreno según la misión, y por último es importante finalizar el plan de eliminación para la fase F.

Durante esta fase se realizan 4 revisiones principales, a saber:

- La Revisión de la Preparación de Vuelo (*Flight Readiness Review*, FRR) que se lleva a cabo antes del lanzamiento. El objetivo de esta revisión es verificar que los segmentos de vuelo y de tierra, incluyendo todos los sistemas de apoyo, están listos para el lanzamiento.
- La Revisión de la Preparación del Lanzamiento (*Launch Readiness Review*, LRR) que se realiza inmediatamente antes del lanzamiento. El objetivo de esta revisión es declarar la preparación para el lanzamiento del vehículo de lanzamiento, el espacio y los segmentos terrestres, y para proporcionar la autorización para el lanzamiento.
- La Revisión del Resultado de la Puesta en Marcha (*Commissioning Result Review*, CRR) que se celebra después de la finalización de las actividades de puesta en órbita en pantalla. Esta revisión se lleva a cabo tras la finalización de una serie de pruebas en órbita destinados a comprobar que todos los elementos del sistema están funcionando dentro de los parámetros de funcionamiento especificados. La aprobación de esta revisión se utiliza, por lo general, para marcar la entrega formal del sistema al cliente o al operador del sistema.
- La Revisión al Final de la Vida Útil (*End-Of-Life Review*, ELR) que se realiza al final de la misión. Esta revisión se realiza para comprobar que la misión ha culminado su operación y para asegurar que todos los elementos en órbita están configurados para permitir su eliminación segura.

Fase F: Es la fase de Eliminación y Descarte. Aquí simplemente se genera y se aplica el Plan de Eliminación. Y al finalizar la eliminación se realiza la Revisión de Cierre de la Misión (*Mission Close-Out Review*, MCR) la cual debe garantizar que todas las actividades de eliminación de la misión se completaron adecuadamente.

VI. COMPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN GERENCIA DE PROYECTOS ESPACIALES DE NASA Y ESA

A. Fases

Luego de analizar la información de ambas agencias, se pueden identificar algunas diferencias en la definición y el manejo que cada una de ellas realiza con respecto a la división en fases de sus proyectos espaciales.

Para la NASA, el análisis de factibilidad se realiza en, lo que ellos llaman, la Pre-Fase A, conjuntamente con sus estudios de conceptualización; mientras que en la ESA se realiza en la Fase A. La ESA utiliza una fase completa para realizar el análisis de factibilidad; con esto se asegura que durante el proceso para realizar este análisis no se pase por alto ningún aspecto del proyecto; en cambio la NASA va realizando el análisis de factibilidad conjuntamente con la definición de los requerimientos del proyecto, lo cual, para ellos, puede ser una ventaja en cuanto al ahorro de tiempo, sobre todo si tiene equipos de trabajo con alta experiencia.

Otra diferencia bien marcada entre el manejo de proyecto en ambas agencias, se encuentra en el lanzamiento de la nave espacial, ya que la NASA lo realiza al final de la Fase D, mientras que para la ESA el lanzamiento constituye el inicio de la Fase E.

En cuanto a la operación en órbita, la NASA utiliza una fase completa para esta tarea; mientras la ESA comparte esta actividad con el lanzamiento y la puesta en órbita; haciendo, en términos temporales, más larga esta fase que contiene la operación en órbita de la ESA; así como también tiene mayor cantidad de personal involucrado.

La NASA unifica actividades en varias de sus fases durante el manejo de sus proyectos, esto les da como ventaja el ahorro de tiempo en el desarrollo técnico en el ciclo de vida de cada uno de sus proyectos; pero parte de ese tiempo que se ahorran, lo estarían invirtiendo en cada una de las reuniones de Comités que dirigen los proyectos y en sus respectivas revisiones. En cambio la ESA, puede sacrificar el tiempo del ciclo de vida de sus proyectos, pero asegura no pasar por alto ningún detalle en cuanto al desarrollo técnico en el ciclo de vida de sus proyectos. Estas diferencias en cuanto a la definición de algunas fases, también genera diferencia en la cantidad de personal que cada una de ellas debe utilizar durante el ciclo de vida de cada uno de sus proyectos.

Todo lo expuesto anteriormente puede ser apreciado en la Tabla I, la cual contiene la definición de cada una de las fases, según la NASA y según la ESA.

TABLA I

COMPARACIÓN DE LAS FASES POR AGENCIA EN CADA UNA DE LAS FASES DE PROYECTOS.

FASES DE PROYECTOS	NASA	ESA
FASE 0 / PRE-FASE A	Estudios Conceptuales y Análisis de Factibilidad	Análisis de la Misión e Identificación de las necesidades
FASE A	Desarrollo del Concepto y la Tecnología	Análisis de Factibilidad
FASE B	Diseño Preliminar y Finalización de la Tecnología	Definición Preliminar
FASE C	Diseño Final y Fabricación	Definición Detallada
FASE D	Ensamblaje, Integración y Pruebas del Sistema, Lanzamiento y Comprobación	Calificación y Producción
FASE E	Operaciones y Sostenimiento	Operación y Utilización del Producto Final
FASE F	Desmantelamiento y Cierre	Eliminación y Descarte

B. Revisiones

En cuanto a la definición de las revisiones que se generan en cada una de las fases, se puede observar un mayor número de diferencias entre la NASA y la ESA; tanto a nivel de definición, como a las fases a las que pertenecen. Esto puede ser apreciado en la Tabla II, en donde se realiza una comparación por fases y por agencia.

Siguiendo el orden del ciclo de vida de los proyectos. Durante la Fase 0 o Pre-Fase A, la NASA realiza la Revisión del Concepto de la Misión (MCR), que simplemente garantiza que la propuesta conceptual cumpla con los objetivos de la misión; en cambio la ESA realiza la Revisión de la Definición de la Misión (MDR), aquí se da a conocer la declaración de la misión (SOW), y simplemente se realiza una evaluación de los requisitos preliminares.

TABLA II

COMPARACIÓN DE LAS REVISIONES POR AGENCIA EN CADA UNA DE LAS FASES DE PROYECTOS.

FASES DE PROYECTOS	NASA	ESA
FASE 0 / PRE-FASE A	MCR	MDR
FASE A	SRR	PRR
	SDR	
FASE B	PDR	SRR
		PDR
FASE C	CDR	CDR
	SIR	
FASE D	SAR	QR
	ORR	AR
	FRR	
	PLAR	
FASE E	CERR	ORR
	PFAR	FRR
	DR	LRR
		CRR
		ELR
FASE F	DRR	MCR

Como se mencionó anteriormente, al finalizar esta fase, ya la NASA ha concluido su análisis de factibilidad y en cambio, la ESA se prepara para la realización de ese análisis. Esto influye directamente en las revisiones que se generarán en esas fases.

Al finalizar la Fase A, la ESA generará la Revisión de Requerimientos Preliminares (PRR), que indicará la confirmación de la factibilidad técnica y programática del proyecto; mientras la NASA estará generando la Revisión de los Requisitos del Sistema (SRR) y la Revisión de la Definición del Sistema (SDR), donde ya se presenta un sistema propuesto.

La Revisión de los Requisitos del Sistema (SRR), la cual se encarga de confirmar los requerimientos y las especificaciones técnicas del sistema; en la NASA se realiza en la Fase A, en cambio en la ESA se realiza en la Fase B y contiene además la evaluación de la definición del diseño preliminar y del programa de verificación preliminar.

En el caso de la Revisión de Diseño Preliminar (PDR) y la Revisión de Diseño Crítico (CDR), ambas agencias, las realizan en las mismas fases, Fase B y Fase C, respectivamente; pero cabe destacar, que la PDR es la única revisión que se realiza en la Fase B

de la NASA, mientras que para la ESA, se realizan tanto la SRR, como la PDR; por el contrario durante la Fase C, la ESA solo realiza la CDR, mientras que la NASA realiza la CDR y la Revisión del Sistema de Integración (SIR)

Pasando a la Fase D, la ESA se enfoca en las revisiones de calificación y aceptación del producto, mientras que la NASA ya está realizando las revisiones para proceder al lanzamiento de la nave espacial. En esta fase podemos señalar que la Revisión de Preparación Operativa (ORR), se realiza a mediados de esta fase en la NASA, pero en la ESA, esta revisión podría tomarse como que se realiza entre las Fases D y E, ya que la Fase D terminaría con esta revisión, pero la Fase E comenzaría con ella. Adicionalmente, los documentos generados tanto en esta fase, como en la siguiente, serán diferentes para ambas agencias, dado que el lanzamiento de la nave espacial, ocurre en diferentes fases para cada una de ellas (Fase D en NASA y Fase E en ESA).

Para finalizar, ambas agencias, dentro de su planificación de manejo de proyectos, tienen para el cierre del proyecto, definida como actividad, la desincorporación de la nave espacial. Aunque para el cierre del proyecto los documentos que se generan y la revisión final son diferentes. La NASA ejecuta la Revisión de la Preparación para la Eliminación (DRR), la cual revisa la preparación para la recolección de la nave espacial; mientras que la ESA realiza la Revisión de Cierre de la Misión (MCR) la cual garantiza que todas las actividades de eliminación de la misión se completaron.

Adicionalmente, es en esta última fase que ambas agencias recolectan y almacenan toda la información del proyecto (aciertos y errores) para usar las lecciones aprendidas en los próximos proyectos.

VII. PROPUESTA

En el caso de una agencia o institución espacial que esté en proceso de formación, tomando en cuenta que no tiene experiencia previa en manejo de proyectos espaciales, se debería tomar como base, para la definición de las políticas y estándares a utilizar en el manejo de sus proyectos espaciales, la forma en que la ESA maneja sus proyectos espaciales.

Esto debido a la forma en que la ESA presenta sus estándares y sus procesos; puesto que es más sencilla y menos burocrática que la de la NASA; lo cual hace más simple el proceso de adaptar cada uno de los procesos ya existentes a un proceso nuevo, que tome en cuenta las características y el entorno en donde se desenvolverá la agencia, y la proyección del número de proyectos que se estiman manejar a mediano plazo.

Se debe iniciar por generar las políticas para el manejo de proyectos; y a medida que estas se generan, se deben ir creando los comités necesarios para cada una de las revisiones de los documentos, así como también cada uno de los procesos para la revisión y aprobación de los planes, documentos, reportes y revisiones.

Posteriormente, se definen los estándares como tal, por ejemplo el CESS-M-ST-10C_Rev.1 [8], en donde se define el manejo de proyectos, de manera muy precisa y se indican los principales objetivos y tareas en cada uno de los principios y documentos del manejo de proyecto.

Utilizar un método esquematizado puede ser de mucha ayuda, en esta etapa de iniciación en la cultura de manejo de proyectos, para que toda la organización conozca acerca de la metodología que se va a utilizar; puesto que es indispensable la creación de esta cultura. Para esto, se debe tomar en cuenta que mientras más simple se presente será más fácil de entender por todos los integrantes de la agencia; lo cual ahorrará un tiempo valioso, el cual será de utilidad

en el manejo de algún proyecto, lo que servirá para ganar experiencia en el desarrollo de proyectos.

Otro punto importante, será el de la definición de los Comités y la jerarquía a la hora de las revisiones y aprobaciones. Se debe buscar un balance, de tal manera, que no se llegue a tener una ausencia de control en las revisiones, ni se llegue al punto de generar trabas innecesarias en los controles de las revisiones.

También es indispensable, la creación de la estructura, y a groso modo, el contenido principal de cada uno de los documentos que se generarán en cada una de las fases, usando como guía las políticas definidas; tal y como lo hace la ESA en su estándar ECSS-M-ST-10-01C [9].

A medida que la agencia adquiera madurez, que se obtenga experiencia en el manejo de proyectos espaciales, y que aumente el número de proyectos que se estén manejando; se deben ir revisando y actualizando las políticas, los estándares, y los procesos; de manera que se incrementen los controles y se refinen los procesos utilizados, así como también se mejoren los puntos donde ha habido fallas y se mantengan los procesos y actividades que hayan sido asertivos.

VIII. CONCLUSIONES

El manejo de proyectos en el área espacial es de suma importancia, ya que es necesario una metodología estructurada, controlada y que permita la implementación y manejo de control de cambios, para agilizar y garantizar el éxito de los proyectos.

Como es sabido los proyectos se dividen en fases para facilitar la gestión, el control y mantener los objetivos; estas fases conforman el ciclo de vida del proyecto. El caso de proyectos espaciales no es la excepción. En términos generales, los proyectos espaciales se dividen en 7 fases y cada organización es libre para diseñar, nombrar y organizar cada una de ellas de acuerdo con sus políticas y estándares.

El proceso de manejo de proyectos espaciales de la NASA es mucho más burocrático y depende de muchas políticas y estándares, así como cada aprobación depende de diversas revisiones y comités; esto es debido a la cantidad de entes gubernamentales y privados que están involucrados en cada uno de los proyectos, sin mencionar la cantidad de proyectos que manejan simultáneamente.

Por otro lado, la ESA utiliza un manejo de proyectos mucho más simple de seguir, ya que utiliza una cantidad menor de estándares necesarios y, se podría decir, son fáciles de entender; al igual que las revisiones que realiza en cada una de las fases. Principalmente, la ESA utiliza el CESS-M-ST-10C_Rev.1 [8] para manejar sus proyectos y el ECSS-M-ST-10-01C [9] para la redacción de sus documentos de revisiones de cada fase.

Para el caso de organizaciones, instituciones o agencias espaciales que no poseen experiencia en el manejo de proyectos espaciales, se recomienda utilizar como base los estándares y la forma de manejo de proyectos que utiliza la ESA. Esto debido a que la manera en que está diseñado ayudaría a la organización a crear una cultura de manejo de proyectos y daría una guía que le ahorraría un tiempo valioso, a la vez que facilitaría la creación de cada uno de los estándares, políticas y procedimientos que se adapten a las necesidades de la organización.

Es importante destacar que a medida que las organizaciones obtengan madurez en el manejo de proyectos y vayan creando sus equipos con alta experiencia, pueden actualizar sus estándares, políticas y procedimientos y hacerlos un poco más complejos con el fin de optimizar tiempos, costos y/o recursos. Para esto deberán utilizar la experiencia obtenida en los proyectos anteriores, con el fin de implementar los controles necesarios sin llegar a generar puntos de decisión o trabas innecesarias que incrementen el ciclo de vida de los proyectos y haga complejo el manejo de proyectos en simultáneo.

REFERENCIAS

- [1] Project Management Institute, Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos, Tercera Edición, Estados Unidos: Project Management Institute Inc, 2004, pp. 5-33.
- [2] IPMA History. (2014) IPMA: International Project Management Association. [En línea]. Disponible: <http://http://ipma.ch/about/ipma-history/>
- [3] PMI: Project Management Institute, Inc. (2014). <http://www.pmi.org>
- [4] ¿Qué es el Project Management Institute®?. (2012). Project Management Institute - Madrid Spain Chapter <http://www.pmi-mad.org>
- [5] La Importancia de Aplicar Buenas Prácticas en Gerencia de Proyectos. (2012). Project Management Institute capítulo venezuela PMI-V. [En línea]. Disponible: http://www.pmi.org.ve/index.php?option=com_k2&view=item&id=148:la-importancia-de-aplicar-buenas-prácticas-en-gerencia-de-proyectos&Itemid=130
- [6] Project Planning and Control Handbook, NASA, Washington, Estados Unidos, 2013, 15-20.
- [7] Project Management and Systems Engineering Handbook, NASA, Washington, Estados Unidos, 2012, pp. 12-86.
- [8] Project Planning and Implementations, ECSS, Noordwijk, The Netherlands, 2009, pp. 12-46
- [9] Organization and conduct of reviews, ECSS, Noordwijk, The Netherlands, 2008