

EL PROCESO Y LAS FASES DEL PROYECTO ESPACIAL.

Peris Blanes, J.^{1,P}

¹Dto. de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. España.

RESUMEN

La presente comunicación es fruto de un estudio realizado en el que los diferentes conceptos relativos al ámbito de los proyectos de espacio han sido estructurados y organizados en base a la Teoría de las Dimensiones del proyecto. Así, se ha realizado un análisis de los diferentes enfoques existentes y se ha sintetizado una propuesta general que enmarca, estructura y caracteriza la tipología de proyectos en cuestión.

Concretamente, en la presente comunicación se destacan las características principales de las dos dimensiones intrínsecas del proyecto, fases y proceso, tal como son implementadas por las principales agencias espaciales (Agencia Espacial Europea, NASA...). Específicamente, se hace hincapié en el análisis de los aspectos comunes y de las analogías que aparecen en las diversas metodologías desarrolladas al respecto.

De este modo se muestra como el proceso de diseño de misiones espaciales sigue un modelo iterativo en el que, tanto los requerimientos del sistema espacial, como los métodos y las tecnologías a emplear en su implementación, se van refinando progresivamente conforme se avanza en el análisis de la misión.

Asimismo, se describen cada una de las cinco fases que estructuran este proceso iterativo y que configuran el ciclo de vida completo del proyecto espacial.

ABSTRACT

The purpose of this essay is to show the results of a study where the main space project aspects have been structured and organized by means of the Project Dimensions Theory. Thus, different approaches have been analysed and a general proposal has been synthesized to frame and characterize this project typology.

Specifically, this paper focuses on the main features of the intrinsic dimensions of the project, project process and project phases, as they are implemented by the main space agencies (European Space Agency, NASA...).

In this way, the space mission design process is shown according to an iterative model where system requirements, technologies and methods are being refined as the mission analysis progresses.

Likewise, the five phases which arrange this iterative process and configure the whole space project life cycle, are described.

1. INTRODUCCIÓN

La Teoría de las Dimensiones describe el proyecto a través de seis dimensiones que sirven para definirlo y caracterizarlo en su conjunto. Según esta teoría, cada una de las dimensiones es un *conjunto homogéneo de actividades que lleva a cabo el proyectista en el desarrollo del diseño*.

La premisa fundamental es que todas las dimensiones están presentes en todo tipo de proyectos y además, de una forma continua. Es más, las dimensiones son complementarias y se definen unívocamente, de forma que para explicar un diseño en toda su amplitud, es suficiente y necesario recurrir a las seis dimensiones que en él intervienen. Así se puede afirmar, que cualquier variable relevante del diseño debe estar relacionada con, al menos, una de las dimensiones definidas (Gómez-Senent, 1998).

En concreto las seis dimensiones son: *Proceso del proyecto, Fases del proyecto, Factores influyentes, Metaproyecto, Técnicas e Instrumentos*.

En el presente trabajo se presenta un estudio relativo a las dos primeras de las dimensiones (consideradas como intrínsecas del proyecto), en base a la bibliografía específica sobre proyectos espaciales.

2. LAS FASES DEL PROYECTO ESPACIAL

El ciclo de vida de una misión espacial solo puede ser comprendido íntegramente si se tiene en cuenta cuál es la división del mismo según lo hacen las principales Agencias Espaciales (ESA, NASA...). Así, la estructura básica del proyecto espacial se compone fundamentalmente de cinco fases (Tantall, 1992), que son las siguientes:

Fase A: Análisis de Viabilidad y Desarrollo Conceptual

Esta primera fase del proyecto espacial pretende establecer las directrices básicas de la misión a desarrollar, caracterizándola conceptualmente en base a las

diferentes alternativas posibles. Por ello, no sólo se pretende garantizar la viabilidad de la misión, sino que su implementación sea óptima.

El objetivo en esta fase consiste en valorar la necesidad de la misión espacial y desarrollar alternativas económicamente viables que respondan a los requerimientos del usuario y el operador final. En concreto:

- Seleccionar el sistema conceptual óptimo de entre un amplio rango de opciones sometidas a consideración. Esta selección se hace en base a factores como el coste, el riesgo, las prestaciones...
- Demostrar la viabilidad del proyecto mediante diseño y análisis.
- Definir la solución técnica en una extensión tal que permita elaborar información realista sobre prestaciones, costes, calendarios de desarrollo... para las siguientes fases del proyecto.

El resultado final de la Fase A, es una definición general de la misión espacial y sus componentes.

Se trata de una fase con una duración nominal de entre 8 y 12 meses. Su coste es relativamente bajo, aunque las decisiones que en ella se toman condicionan fuertemente el coste de la misión.

Durante esta fase, usuarios finales y operadores de la misión identifican las necesidades y proporcionan información preliminar relativa a la misión. Así, se definen de forma coordinada un conjunto amplio de requerimientos a implementar por el sistema espacial en su conjunto.

En base a esto, se generan diferentes alternativas conceptuales de la misión para responder a los requerimientos principales. En ocasiones, estudios paralelos de Fase A, son implementados por diferentes contratistas, para así poder evaluar un mayor número de alternativas.

Además, se elaboran planificaciones a largo plazo del proyecto, desarrollando la estructura general del programa y haciendo estimaciones presupuestarias en base a la disponibilidad financiera.

Es fundamental que en esta primera etapa los cuatro agentes involucrados colaboren activamente integrando de forma estrecha sus áreas de responsabilidad.

En esencia, el **Análisis de Necesidades** es un proceso continuo que culmina con el comienzo del programa. De hecho el *Mission Needs Statement* es el documento del proyecto que recoge esta información y forma parte del sistema de planificación,

programación y estimación presupuestaria del proyecto (Defense Systems Management College, 1989). Asimismo, se regula según el hito de *Program Initiation*, en el cual la organización evalúa la formulación de las necesidades y, en su caso, se aprueba el desarrollo de la fase conceptual (Defense Systems Management College, 1989).

Durante el **Desarrollo Conceptual** se deben generar y valorar formas alternativas de implementar el sistema para responder a los requerimientos. Así, la valoración de las diferentes alternativas se realiza en base a factores como las prestaciones, el riesgo, el coste a lo largo del ciclo de vida, la planificación temporal, la viabilidad de la fabricación, la disponibilidad financiera...

La ingeniería de sistemas juega un papel relevante en la selección de una alternativa en estas fases iniciales del desarrollo. Por su propia naturaleza, las actividades de diseño en esta etapa son fundamentalmente iterativas mas que secuenciales.

El hito definido en la planificación como *Requirements Validation* evalúa si las diferentes opciones de diseño satisfacen los requerimientos. Si esto es así y el programa es aprobado, se asigna el contrato a un *Prime Contractor*, y el proyecto entra en la fase de diseño de detalle.

Fase B: Diseño de detalle

Se trata de una fase que dura típicamente entre 12 y 18 meses, salvo en programas a gran escala en la que puede ser mayor. Es la fase formal del diseño, que pretende definir de forma detallada cada uno de los componentes del sistema. En concreto las actividades que en ella se realizan son las siguientes:

- Diseño del sistema y los subsistemas con el suficiente detalle como para permitir la realización de la Fase C/D con el menor número de problemas posibles.
- Definición de las especificaciones técnicas detalladas del sistema y generación de los requerimientos para la fabricación de cada uno de los subsistemas.
- Elaboración de una propuesta completa para la Fase C/D, incluyendo su planificación y programación.
- Comienzo de aquellas actividades de la siguiente fase que resultan críticas en la planificación.

- Desarrollo de los programas de test para validar el hardware y el software y calificarlo para vuelo.

No todos los programas superan la Fase B, pues ir más adelante implica la obtención de un compromiso financiero importante que permita desarrollar completamente el satélite.

Fase C/D: Desarrollo, fabricación, integración y test

Esta es la fase más larga y costosa del proyecto. Se suele extender entre 3 y 5 años.

Consiste en la fabricación del hardware de vuelo, la integración de todos los subsistemas incluido el software, y la construcción e implementación de todos los sistemas terrestres. En concreto, las actividades específicas que se realizan son:

- Complementar y completar de forma continua todos los análisis y diseños realizados.
- Definir los procedimientos de fabricación y elaborar los planos definitivos.
- Completar los tests de desarrollo y calificación.
- Desarrollar y testear el software.
- Fabricar el hardware de vuelo y realizar los tests de aceptación.

Fase E: Lanzamiento

Es la fase asociada con la campaña de lanzamiento. Incluye la entrega de la nave a la operadora del lanzamiento y la realización de actividades de soporte durante la campaña. Suele durar unos 3 meses.

Incluye todas las actividades y operaciones a realizar hasta que la nave se estabiliza en su posición orbital definitiva.

Fase F: Operaciones, mantenimiento y retirada

La duración de esta fase depende de las características de la misión. Las actividades requeridas son aquellas necesarias para realizar las operaciones del día a día del sistema espacial durante todas las fases de la misión: lanzamiento, transferencias orbitales, adquisición de la órbita operacional... y todo el resto de actividades rutinarias y de mantenimiento durante el periodo de vida nominal.

El coste de esta fase depende fundamentalmente del grado de automatización de las actividades cotidianas del satélite. Así, el coste de esta fase puede ser muy elevado en el caso de que se requieran monitorizaciones intensivas. La opción básica es aumentar la autonomía de funcionamiento a costa, por supuesto de aumentar los costes de diseño, desarrollo y verificación.

Asimismo, el coste puede llegar a ser elevado por las infraestructuras y el personal necesario para poder trabajar con la información que suministra el satélite. Tal es el caso de los altos costes asociados a las grandes plataformas de sensores espaciales remotos, dominados por los grandes equipos de científicos que trabajan analizando los datos recogidos. Este tipo de costes, normalmente son financiados por los mismos usuarios mas que por la agencia responsable del programa.

Asimismo, en esta fase se incluye el *desorbitado* o la recuperación de la nave al final de la vida de la misión.

3. EL PROCESO DEL PROYECTO

El proceso de diseño de misiones espaciales sigue un modelo iterativo en el que, tanto los requerimientos del sistema como los métodos y las tecnologías a emplear para implementarlos se van refinando progresivamente conforme se avanza en el análisis de la misión.

En este proceso, la definición de los objetivos de la misión y la identificación de las restricciones principales van a ser claves . Así, los planes de acción para el desarrollo de sistemas espaciales, frecuentemente sustituyen los requerimientos numéricos detallados por formulaciones más amplias (Wertz, 1992). Esto permite incorporar y analizar diversas opciones de diseño alternativas simultáneamente, lo que optimiza el proceso de toma de decisiones, pues permite contemplar en ellas un mayor número de opciones posibles.

De este modo, las sucesivas iteraciones realizadas sobre el proceso del diseño permiten ir detallando progresivamente el sistema en una búsqueda constante de la solución óptima de acuerdo con el ciclo clásico del proceso de diseño: análisis-síntesis-evaluación-decisión. Lo que si es fundamental en esta tipología específica de proyectos es la preocupación constante por que la formulación de los análisis preliminares no introduzcan de manera implícita restricciones ficticias.

4. CONCLUSIONES

La primera conclusión que extraemos del estudio realizado sobre el proyecto espacial, es que se trata de una tipología de proyectos que, por su propia naturaleza requiere de metodologías proyectuales altamente sistematizadas. La elevada complejidad, los altos costes y los fuertes requisitos de innovación que requiere este ámbito de la ingeniería, hace que la gestión del proceso del proyecto adquiera unas elevadas cotas de sistematización, y que en la actualidad se disponga de metodologías altamente contrastadas por la experiencia de las diferentes agencias espaciales.

En el análisis de lo que es propiamente la estructura en fases de las mencionadas metodologías, destaca la analogía existente con otros enfoques teóricos sobre el diseño (Pahl&Beitz, 1994; Pugh, 1991; Ullman, 1992; Roosenburg&Eekles, 1995). En ellos encontramos la misma filosofía de fondo acerca del proceso del proyecto, si bien se podría afirmar que en el ámbito del proyecto espacial, ésta se desarrolla e implementa con un purismo exquisito. De nuevo, ésta rigurosidad metodológica acorde a las filosofías actuales sobre la teoría del diseño, parece derivarse de las características propias de la tipología de proyectos en cuestión.

Todo esto hace que el ámbito del proyecto espacial pueda constituir un espacio privilegiado para el desarrollo de estudios e investigaciones relevantes en el ámbito de la ciencia del proyecto, más aún considerando la gran cantidad de información empírica documentada existente al respecto.

5. REFERENCIAS

- Defense Systems Management College. *System Engineering Management Guide*. Ft. Belvoir, VA:U.S. Government Printing Office. 1989.
- Gómez-Senent Martínez, E. *La ciencia de la creación de lo artificial*. Serv. Publ. de la Universidad Politécnica de Valencia. 1998.
- Pahl, G. Beitz, W. *Engineering Design. A Systematic Approach*. Springer. U.K. 1996.
- Pugh, S. *Total Design*. Addison-Wesley. 1991.
- Roosenburg, N.F.M., Eekels, J. *Product Design: Fundamentals and Methods*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 1995.
- Tantall, A.R.L., Farrow, J.B., Francis, C.R., Stark, J.P.W. *Spacecraft System Engineering*. Incluido en Fortescue, P., Stark, J. (Eds.). *SpaceCraft Systems Engineering*. Second Edition. John Wiley and sons. Chichester. 1995.

Ullman, D. G., *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, New York, 1992

Wertz, J.R., Larson, W.J. *The Space Mission Analysis and Design Process*. Incluido en Larson, W.J., Wert, J.R. (Eds.). *Space Mission Analysis and Design*. Second Edition. Microcosm, Inc. & Kluwer Academic Publishers. Torrance & Dordrech. 1992.

CORRESPONDENCIA.

Jordi Peris Blanes.

Departamento de Proyectos de Ingeniería.

Universidad Politécnica de Valencia.

Camino de Vera s/n. 46071. Valencia.

Tel: (96) 387 70 00. Ext. 75656. e-mail: jperisb@dpi.upv.es.