



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica

Universitat Politècnica de València

Análisis y especificación de requisitos de software médico para misiones de exploración espacial

**Caso práctico en especificación de un sistema de ayuda a la decisión de
emergencias médicas bajo los requisitos de la NASA**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Miguel Alejandro Muñoz Gil

Tutor: Juan Miguel García Gómez

Curso 2020-2021

Resumen

El principal objetivo de este proyecto es estudiar los primeros pasos y requisitos necesarios para el desarrollo de software espacial, para ello se realiza un estudio de la metodología de desarrollo de software de las principales agencias espaciales, la estructura de los estándares definidos, así como se destacan las indicaciones más importantes de los manuales de consulta y documentos relevantes durante el desarrollo de los proyectos de software en este ámbito. El trabajo de investigación realizado se lleva a la práctica mediante la obtención de los requisitos de un software de ayuda a la decisión médica basado en inteligencia artificial, proponiendo una solución autónoma para misiones de exploración espacial.

Palabras clave: agencias espaciales, sistema de ayuda a la decisión medica, desarrollo de software, metodología, especificación de requisitos

Resum

El principal objectiu d'aquest projecte és estudiar els primers passos i requisits necessaris per al desenvolupament de programari espacial, per a això es realitza un estudi de la metodologia de desenvolupament de programari de les principals agències espacials, l'estructura dels estàndards definits, així com es destaquen les indicacions més importants dels manuals de consulta i documents rellevants durant el desenvolupament dels projectes de programari en aquest àmbit. El treball de recerca realitzat es porta a la pràctica mitjançant l'obtenció dels requisits d'un software d'ajuda a la decisió mèdica basat en intel·ligència artificial, proposant una solució autònoma per a missions d'exploració espacial.

Paraules clau: agències espacials, sistema d'ajuda a la decisió mèdica, desenvolupament de software, metodologia, especificació de requisits

Abstract

The main objective of this project is to study the first steps and necessary requirements for the development of space software. For this purpose, a study of the software development methodology of the main space agencies, the structure of the defined standards, as well as the most important indications of the handbooks and relevant documents during the development of software projects in this field are highlighted. The research work carried out is put into practice by eliciting the requirements of a medical decision support software based on artificial intelligence, proposing an autonomous solution for space exploration missions.

Key words: space agencies, clinical decision support system, software development, methodology, requirements specification

Índice general

Índice general	VII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	X
<hr/>	
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Análisis del problema	2
1.3 Objetivos	6
1.4 Impacto esperado	6
1.5 Estructura de la memoria	7
2 Estado del arte	9
3 Metodología de agencias espaciales	15
3.1 Metodología de la ESA y ECSS	16
3.2 Metodología de la NASA	21
4 Propuesta de análisis de riesgos y especificación de requisitos de ME- DEA	31
4.1 Principios básicos de CDSS para emergencias médicas en explora- ción espacial	31
4.2 Diseño conceptual de MEDEA	33
4.3 Análisis de riesgos	35
4.4 Presupuesto	36
4.5 Especificación de requisitos	38
4.5.1 Requisitos de información	39
4.5.2 Diagrama de actividad	42
4.5.3 Requisitos funcionales y no funcionales	57
5 Discusión de resultados	59

5.1	Impacto	59
5.2	Comparación con estado del arte	60
5.3	Limitaciones	61
5.4	Siguientes pasos	62
6	Conclusiones	65
7	Relación del trabajo con los estudios cursados	69
	Bibliografía	71

Apéndice		
A	Documento de especificación de requisitos MEDEA CDSS	77

Índice de figuras

1.1	Protocolo de intervención de la NASA	3
2.1	Plan de proyecto IMPACT	10
3.1	Principales disciplinas de la ECSS	16
3.2	Esquema estructural de documentación definida por la ECSS	18
3.3	Principales relaciones entre disciplinas de la ECSS relativas al desarrollo de software	20
3.4	Estructura de los NASA Technical Standards (NTSS)	22
3.5	Capítulos y secciones principales del NASA Software Engineering Handbook	24
3.6	Grupos de software definidos por la NASA	25
3.7	Trazabilidad bidireccional entre requisitos y artefactos	26
4.1	Diseño conceptual de MEDEA	34
4.2	Desviación del coste estimado frente al real durante la planificación de un proyecto de desarrollo de software	37
4.3	Proceso de especificación de requisitos del NASA Software Engineering Handbook	38
4.4	Diagrama de actividad del subsistema CDSS de MEDEA	42
4.5	Proceso iterativo de especificación de requisitos de la NASA	58

Índice de tablas

4.1	IRQ-0001 Acceso a la monitorización de la tripulación	39
4.2	IRQ-0002 Acceso a las historias clínicas de los tripulantes	40
4.3	IRQ-0003 Equipo y recursos médicos abordó	40
4.4	IRQ-0004 Reglas para el soporte ético y legal	41
4.5	IRQ-0005 Modelos predictivos	41
4.6	T-0001 Solicitud de predicción	43
4.7	T-0002 Alarma de situación de emergencia	44
4.8	T-0003 Predicción de emergencia médica	45
4.9	T-0004 Clasificación en situación de peligro vital	46
4.10	T-0005 Estimación de la demorabilidad	47
4.11	T-0006 Clasificación en situación de dilema ético	48
4.12	T-0007 Estimación de la duración del tratamiento	49
4.13	T-0008 Sugerencia de diagnósticos compatibles	50
4.14	T-0009 Clasificación del tipo de intervención recomendado	51
4.15	T-0010 Presentación del plan de acción	52
4.16	T-0011 Soporte a la intervención terciaria	53
4.17	T-0012 Leer historia clínica	54
4.18	T-0013 Actualizar constantes vitales	55
4.19	T-0014 Leer historia clínica	56

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Motivación

Las principales agencias espaciales y diferentes compañías privadas preparan las primeras misiones de exploración tripuladas a Marte para la década del 2030. Es un reto que cada vez está más cerca de convertirse en una realidad vistos los últimos acontecimientos y los recientes éxitos de misiones de exploración no tripuladas al planeta rojo. Como pueden ser la puesta en marcha del Perseverance por parte de la NASA, así como la misión Tainwen-1 de la agencia espacial china, ambas con un rover de exploración terrestre y la misión Hope, de Emiratos Arabes Unidos, con un satélite orbital. Todas estas misiones se han realizado con éxito en este último año 2020 y principios de 2021, con el objetivo de estudiar las condiciones atmosféricas de Marte, así como preparar las futuras misiones de exploración tripuladas para la década del 2030, ya que se han realizado ya los estudios y se han determinado más de 8 ventanas temporales donde la posición entre la Tierra y Marte sería óptima para enviar misiones hacia el planeta vecino entre 2020 y 2035 según la publicación de Wooster, P. [1].

Para enfrentar ese desafío, necesitamos cubrir todas las necesidades técnicas para asegurar, no solamente el equipo y los dispositivos técnicos y mecánicos como hasta ahora, sino también las necesidades humanas. Sobre todo, la seguridad y el estado de salud de los tripulantes una vez se abandone la zona de órbita te-

restre, la única donde se han realizado pruebas y seguido el estado de salud de astronautas en la ISS.

Los ámbitos protagonistas para este nuevo avance en el desafío espacial para la humanidad no serán otros que la nueva revolución industrial, haciendo uso de la nueva tecnología de la industria 4.0, así como la ingeniería del software.

Sin embargo, en el contexto del desarrollo del software, las agencias espaciales definen con extrema precaución los procesos y pasos a seguir para iniciar un proyecto de gran envergadura. La planificación del desarrollo y el tiempo dedicado a cada proyecto se alargan durante décadas. Desde la especificación de requisitos hasta el mantenimiento, los objetivos y los criterios de cada proceso están definidos y necesitan estar bajo supervisión constante para superar exitosamente todos los controles.

1.2 Análisis del problema

El principal problema frente a la situación expuesta en la sección anterior es la ausencia de un software de ayuda a la decisión médica diseñado para operar en misiones de exploración espacial de manera completamente autónoma.

Específicamente, como se puede leer en una de las entradas de la web que incluye las brechas técnicas detectadas y los proyectos del departamento de capacidad médica de exploración (ExMC) perteneciente a la NASA [2]: Se necesita aumentar las capacidades médicas a bordo de las misiones tripuladas para solucionar varias brechas sin resolver en el ámbito de la medicina aeroespacial actualmente.

Entre ellas, nos conciernen la gran mayoría para ser conscientes de los problemas por resolver a los que queremos aportar una posible solución. Muchas de ellas están provocadas por el planteamiento del protocolo de intervención de la NASA, que podemos ver ilustrado en la Figura 1.1.

Los principales problemas y brechas por resolver serían los siguientes:

NASA **Distance – Intervention Protocols**

- On the ISS – stabilize and evacuate
 - Soyuz descent capsule can separate from the ISS within 3 minutes
 - Time from evac decision to landing is 3.5 hours
- In Deep space – autonomous medical capability
 - No evac, no rescue
 - On board flight medical officer
 - Communication delays and occultations prevent “conversational” medical support.

The view from LEO (last 50 years)...

The view from Mars...

12 light minutes
each way

Earth Mars

Figura 1.1: Protocolo de intervención de la NASA

1. No ser capaces de ofrecer cuidados médicos adaptados a tripulantes [3].

Existe la necesidad de que la atención médica sea especializada para cada tripulante de la nave, el tratamiento óptimo puede variar en función de la historia clínica y predisposiciones de cada paciente.

2. No tener definidos tratamientos para miembros de la tripulación lesionados durante misiones de exploración [4].
3. El concepto de operaciones o intervenciones médicas no está definido para misiones de exploración [5].

El protocolo de actuación frente a una situación de emergencia médica de la NASA actualmente no define cómo intervenir y tratar una lesión grave, así como el proceso de recuperación del paciente. Ya que frente a una situación de emergencia médica, se intenta mantener estable al tripulante afectado y enviarlo de vuelta a la Tierra cuando sea posible para realizar la atención médica e intervenciones necesarias. Como podemos ver ilustrado en la Figura 1.1.

4. No disponer de entrenamiento y/o formación médica en la tripulación para tomar decisiones médicas o ser autónomos durante intervenciones [6].

5. No disponer de un sistema de ayuda a la decisión médica autónomo que pueda operar durante misiones de exploración [7].
6. No se ha definido un plan médico frente a las cuestiones éticas que puedan surgir durante las misiones de exploración [8].

Actualmente la formación que reciben los astronautas que cumplen las funciones de médico a bordo están basadas en los instrumentos de cuidados clínicos y procesos mediante telemedicina. Ya que no se realizan intervenciones a bordo de manera autónoma, solamente se reciben instrucciones mediante teleasistencia y los especialistas médicos no se encuentran a bordo. El entrenamiento del personal responsable de la asistencia médica se centra en la formación con esta tecnología. Esta tecnología deja de ser aplicable cuando los retrasos són demasiado elevados como podemos ver en la Figura 1.1, por ello se necesita un sistema que permita a los tripulantes actuar de manera autónoma y les asista en situaciones de emergencia médica y aplique las guías clínicas actuales así como un código ético en el que basar las posibles situaciones de dilemas que puedan surgir. Así como formar a los responsables médicos para que sean capaces de realizar intervenciones de manera autónoma si es necesario.

7. No ser capaces de optimizar los recursos médicos durante las misiones de exploración [9].
8. No se han implementado recursos médicos que mejoren las condiciones de la innovación y las operaciones médicas [10].
9. No se puede asegurar el buen estado de los medicamento durante la duración de las misiones de exploración [11].

Debido al espacio limitado a bordo de una misión y el carácter perecedero de algunas sustancias y medicamentos, no se puede asegurar el buen estado y conservación de estos en una misión de exploración que puede alargarse años. Existe así la necesidad de optimizar los recursos utilizados, así como de mejorar los recursos y tecnología de cuidados médicos a bordo para aumentar su eficiencia y capacidad.

10. No hay suficientes datos ni modelos para estimar el riesgo médico que suponen las misiones de exploración. [12]
11. No se tiene la capacidad de predecir el riesgo médico de las misiones de exploración en base al estado de salud de los tripulantes y los recursos de la misión [13].

El estado actual de las misiones de exploración se encuentra muy limitado debido a la falta de información médica y condiciones que pueden sufrir los tripulantes a largo plazo. Solamente en la zona de órbita terrestre los problemas de salud en estancias largas se incrementan, se ha detectado ya la microgravedad produce una reducción de masa ósea y muscular en los astronautas que pasan mucho tiempo en estas condiciones, así como un síndrome neuro-ocular o la formación de coágulos sanguíneos. Aún han de realizarse muchos estudios para asegurar unas condiciones de salud adecuadas fuera de la zona de órbita terrestre.

Como consecuencia, el conjunto de estos problemas nos crea una necesidad que ya no es una cuestión de futuro, sino una realidad inminente. Como podemos leer en otra de las entradas sobre los proyectos abiertos del departamento, que tienen como objetivo cerrar estas brechas identificadas, [14] el desarrollo de un sistema médico para misiones tripuladas es un frente abierto y el proyecto ya se ha iniciado por parte de la NASA.

1.3 Objetivos

Para ofrecer soluciones a los problemas planteados en las secciones anteriores, este trabajo tiene definidos 4 objetivos:

1. Recopilar información sobre el estado actual del desarrollo de los sistemas de ayuda a la decisión médica en misiones espaciales.
2. Estudiar y analizar del proceso de desarrollo de software que siguen las principales agencias espaciales. Específicamente la ESA y la NASA.
3. Obtener los requisitos del software MEDEA adaptado a los requisitos impuestos por el proceso de desarrollo de software de la NASA.
4. Establecer el inicio del proceso de desarrollo y adaptación de MEDEA a su futura implementación apta para formar parte de misiones de exploración tripuladas.

1.4 Impacto esperado

Se espera que a partir de este trabajo se inicie el desarrollo de MEDEA para superar su estado conceptual actual y convertirse durante esta década y principios de la siguiente en un proyecto maduro, puesto a prueba en órbita y finalice su desarrollo para servir en una de las primeras misiones de exploración.

No solamente se espera que el caso práctico original de este trabajo sea puesto en desarrollo. También se aspira a que la investigación y el estudio de la metodología de desarrollo de software de las agencias espaciales facilite y promueva futuros proyectos cuyo objetivo sea formar parte de misiones espaciales. Ya que a pesar de que las condiciones, análisis del ciclo de vida y los criterios de aceptación de las agencias son información relativamente compleja y adaptada a los objetivos y proyectos en concreto que se estén realizando, en la metodología se definen los pasos a seguir para cada caso. Como resultado, indirectamente se es-

para incentivar la aparición de nuevas propuestas de soluciones aptas para ser implementadas en entornos de ejecución aeroespaciales.

1.5 Estructura de la memoria

La memoria de este trabajo se compone en primer lugar de este capítulo de introducción, donde se presenta la motivación y el problema que plantea resolver a largo plazo la solución propuesta por el proyecto.

En segundo lugar, durante el capítulo de estado del arte, se presentan las tecnologías y proyectos más actuales en el ámbito del trabajo, así como el proyecto que sirve de base e inspiración a la solución propuesta.

A continuación, el capítulo de la metodología de las agencias espaciales comenta la estructura de los estándares definidos para el desarrollo de software espacial, así como describe los contenidos de los manuales de consulta y documentos más relevantes durante el desarrollo de un proyecto de software en este ámbito.

Seguidamente, se expone la solución MEDEA durante el cuarto capítulo, comentando el inicio del proyecto y definiendo los requisitos necesarios y las tareas del subsistema CDSS así como las necesidades detectadas para cumplir con los requisitos impuestos por el manual de la NASA. La primera versión del documento completo de especificación se puede encontrar en el apéndice A.

Finalmente, los últimos capítulos comentan los resultados del proyecto, así como las conclusiones del trabajo y la relación de este con los estudios cursados durante el grado, como indican sus respectivos títulos.

CAPÍTULO 2

Estado del arte

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, las misiones de exploración espacial cada vez están más cerca de ser una realidad. En concreto el primer y más claro objetivo de nuestras agencias espaciales y otras compañías privadas, fuera de la órbita terrestre, es Marte, nuestro planeta vecino.

Como podemos ver en la web del proyecto de la NASA sobre la exploración de Marte [15] diferentes misiones ya han sido realizadas con éxito, las condiciones atmosféricas de Marte son monitorizadas cada día, así como se llevan a cabo a día de hoy un largo etcétera de estudios sobre la composición química del suelo marciano u otras noticias anteriores como el descubrimiento de agua en el planeta.

Todos los avances realizados tienen como objetivo último y futuro la exploración humana del planeta. Pero para ello aún quedan varios problemas por resolver, como ya hemos visto.

Por ello, a continuación se expondrán algunos proyectos en desarrollo, tecnologías en uso actual y ejemplos de trabajos que podrían terminar solucionando los inconvenientes y problemas que nos separan de la exploración espacial.

En primer lugar, la agencia con más proyectos e investigaciones en activo que conciernen al ámbito de nuestro trabajo es la NASA. Gracias a ello se ha dispuesto de una gran cantidad de información sobre sus proyectos, objetivos y dificultades, así como su metodología de trabajo.

La investigación y el desarrollo de este trabajo, de hecho, tienen lugar mientras se desarrolla, como se ha mencionado en el capítulo anterior, otro proyecto de la NASA que pretende cubrir las mismas necesidades que el caso práctico de MEDEA, que se expondrá en los siguientes capítulos. Actualmente no hay más información que la disponible en el planteamiento del proyecto en la web del ExMC [14]. Pero se han marcado como principales objetivos definir el concepto de operaciones y modelos de sistemas médicos para futuras misiones de exploración, incluyendo misiones de superficie lunar de larga duración y futuras misiones a Marte.

Uno de los proyectos actuales del departamento de capacidades médicas de exploración de la NASA es el IMPACT [16]. Un proyecto a muy largo plazo, con 2025 como año previsto para su primera versión como se puede ver en la Figura 2.1, que pretende afrontar los problemas por resolver detectados por la agencia espacial. Se presenta con los objetivos de detectar los riesgos que pueden surgir y enfocar las posibles y principales soluciones que inicien el desarrollo de futuros proyectos que solucionen las brechas pendientes para asegurar las condiciones de salud, seguridad e integridad del estado de los tripulantes en misiones de exploración.

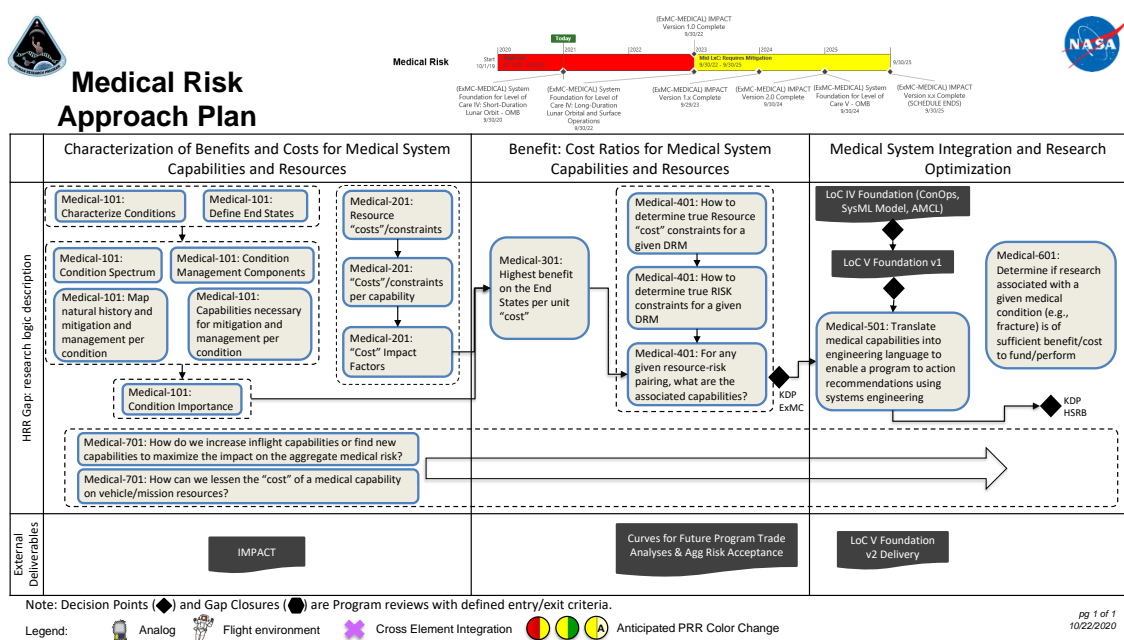


Figura 2.1: Plan de proyecto IMPACT

A pesar de la existencia de este proyecto, su estado aún en desarrollo no nos permite acceder a las conclusiones e información que IMPACT ha aportado, ya que sus resultados aún están por definir. Sin embargo, antes de emprender el mismo camino que se propone con el concepto de MEDEA, la NASA sí que ha realizado pruebas sobre cuál es la viabilidad de mantener el funcionamiento de la telemedicina con numerosos estudios, además de intentar realizar las máximas mejoras posibles sobre esta tecnología y su ejecución, así como la formación y el entrenamiento del personal médico que hace uso de ella. Como podemos leer en el estudio de Descartin et al, 2015 [17] sobre el uso de la telemedicina en misiones de larga duración, se intenta desde 2015 alargar lo máximo posible y mejorar el uso de la telemedicina como tecnología de asistencia médica de vanguardia en la actualidad, para que pueda seguir siendo útil en el futuro. La telementoría es una solución lógica y eficaz, un experto en la materia guía desde la estación terrestre a un médico a bordo que puede no ser experto en un ámbito en concreto, mejorando sustancialmente e incluso posiblemente de manera crítica la asistencia en una intervención. Minimizando el riesgo que se podría asumir.

Como contraparte, no es una solución autónoma. Este factor tiene una relevancia mayor de la que aparenta, ya que implica que se necesita hacer una conexión entre la estación de mando terrestre y la nave en misión. Esta conexión no puede ser solamente un intercambio puntual de datos. Se necesita una monitorización constante, además de la posibilidad de intervenir activamente. Para ello, lo más frecuente es necesitar transmitir imágenes en vídeo e incluso la posibilidad de audio, elevando el coste y ancho de banda necesario para realizar de manera eficiente las comunicaciones, recursos que aumentan con la distancia de exploración de las misiones y que implican además un retraso en las comunicaciones que no se puede suplir con el aumento de recursos. Podemos leer así estudios más recientes como el de Krihak et al, 2019 [18] que, aunque a favor del uso de la telemedicina, concluyen que es óptimo y necesario que las misiones de exploración sean autónomas, dejando la telemedicina como un recurso de emergencia cuando la comunicación directa con la estación terrestre sí sea posible.

A esta conclusión ya se llegó con otros proyectos, como el de Hurst, 2015 [19], donde el objetivo era el desarrollo un sistema de ayuda a la decisión médica que

tuviera en cuenta el estado y el historial de un tripulante y se prestara asistencia médica en forma de instrucciones de manera autónoma para su tratamiento. Ambos objetivos también incluidos en la solución de MEDEA.

Como trabajo futuro, se definió que «las tripulaciones de exploración necesitarán sistemas inteligentes de gestión de datos capaces de proporcionar orientación a la misión mediante el análisis exhaustivo de los datos ambientales, vehiculares y médicos». Ya que los datos históricos y estado vital de un paciente pueden no ser suficientes para las misiones de exploración, se necesitará la monitorización constante y capacidad de adaptación a las nuevas condiciones presentadas en el largo periodo de tiempo en que la misión se encuentre activa.

Para ello se tiene en cuenta también el hardware médico óptimo del que se dispone, que en este ámbito evoluciona de manera rápida y constante. En este caso, las tecnologías más recientes de monitorización para las constantes vitales de un paciente sugieren que la solución actual esté basada en diferentes dispositivos «woreables», o en otras palabras, dispositivos electrónicos que se pueden llevar sobre el cuerpo, imitando prendas de ropa. Una de las tecnologías más avanzadas que podemos encontrar en este ámbito es el traje de Astroskin, desarrollado por Hexoskin [20], utilizado por los astronautas de la NASA en varias ocasiones.

Otro ejemplo de tecnología muy conocido y relevante son los dispositivos que se utilizan por la ESA, con los que la ESA ha estado realizando mediciones, pruebas y estudios sobre el astronauta Thomas Phesquet en la ISS [21], con la particularidad de utilizar una tableta como dispositivo ligero que permite la visualización de los datos recogidos por el propio astronauta.

A menor escala, y desde donde parte la solución propuesta en este trabajo, encontramos el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión médica que desarrolla un modelo predictivo para ayudar a los trabajadores no clínicos a clasificar los incidentes de las llamadas médicas de emergencia según su nivel de situación de peligro vital, la demora de respuesta admisible y la jurisdicción del sistema de emergencia en tiempo real. El sistema de emergencias desarrollado por Ferri et al., 2020 [22]. El método utilizado para su desarrollo presenta un modelo multita-

rea que integra cuatro subredes, compuestas a su vez por módulos de percepción multicapa para determinar el riesgo vital, la demorabilidad, la jurisdicción mediante datos demográficos, señales biomédicas y texto libre sobre el incidente. La tecnología de redes neuronales multicapa utilizada en ese proyecto es la base para el sistema de ayuda a la decisión médica que se expondrá en el capítulo 4.

Podemos ver cada vez con más frecuencia el interés de las agencias espaciales en su crecimiento y en la preparación para las futuras misiones de exploración. Así pues, tanto a nivel internacional se pueden leer actualmente noticias y ofertas como la de dos nuevos puestos disponibles como astronauta en la ESA [23], que demuestra el interés de la agencia en ampliar y reforzar sus proyectos de investigación. Como a nivel nacional, la reciente noticia de la próxima apertura de una Agencia Espacial Española.

Actualmente no hay información específica sobre este tema ya que la creación de una nueva agencia espacial nacional es una noticia reciente y la entidad aún está por definir, sin embargo otros países europeos como pueden ser Portugal, Italia, Alemania, Francia o Reino Unido, tienen también agencias espaciales nacionales y forman a su vez parte de la ESA.

La creación de agencias nacionales relacionadas con la ESA implica otras cuestiones. ¿Cómo trabajan? ¿Cooperan entre ellas? ¿Tienen una metodología independiente? En respuesta a las cuestiones y problemas que surgen, la ESA fomenta la creación de una entidad que estandariza los procesos de trabajo en el ámbito espacial. La cooperación europea para la estandarización del espacio (ECSS) ¹, define los procesos de trabajo y metodología para todos los ámbitos de la ingeniería relacionados con el espacio, desde las ingenierías hasta la documentación, pasando por toda la organización de los proyectos que se realizan.

¹<https://ecss.nl/>

CAPÍTULO 3

Metodología de agencias espaciales

Cabe destacar que, a pesar de que el proceso de desarrollo de software está muy definido por parte de las agencias espaciales y controlado mediante revisiones constantes, no hay una metodología de trabajo impuesta como tal.

Claramente, sería un gran error imponer una sola forma de trabajo y metodología para todos los proyectos, especialmente en estas entidades tan grandes, donde se desarrollan actividades con tanta variedad de objetivos, campos de trabajo y magnitud. En resumen, cada proyecto debe ser único y la metodología de trabajo debe adecuarse a sus necesidades y a las del equipo de desarrollo.

Es por eso que, en lugar de definir la metodología con la que trabajar, las agencias espaciales definen «Handbooks», o vademécum, en otras palabras, manuales de consulta. Estos libros son documentos de referencia que abarcan todos los campos y procesos de trabajo necesarios en la agencia. En ellos podemos encontrar las guías y las indicaciones necesarias para el correcto desarrollo de cualquier tipo de proyecto en cualquiera de sus fases. Nunca definiendo cómo se ha de trabajar, pero siempre aclarando qué es necesario cumplir. Estos documentos se revisan y actualizan con periodicidad.

Las principales agencias espaciales tienen también definido el proceso de estudio para el uso de software libre o la compra y uso de software externo. Sin

embargo este trabajo se centra únicamente en los procesos de desarrollo. Donde los procesos y recomendaciones están basados en los estándares de calidad ISO e IEEE.

3.1 Metodología de la ESA y ECSS

Como se ha comentado brevemente al inicio de este capítulo, la ESA sigue el modelo de directrices mediante «Handbooks». Los utiliza para todas sus disciplinas y campos de trabajo como podemos ver en la figura 3.1, dónde el campo de la ingeniería del software corresponde con el código E-40.

ECSS Disciplines

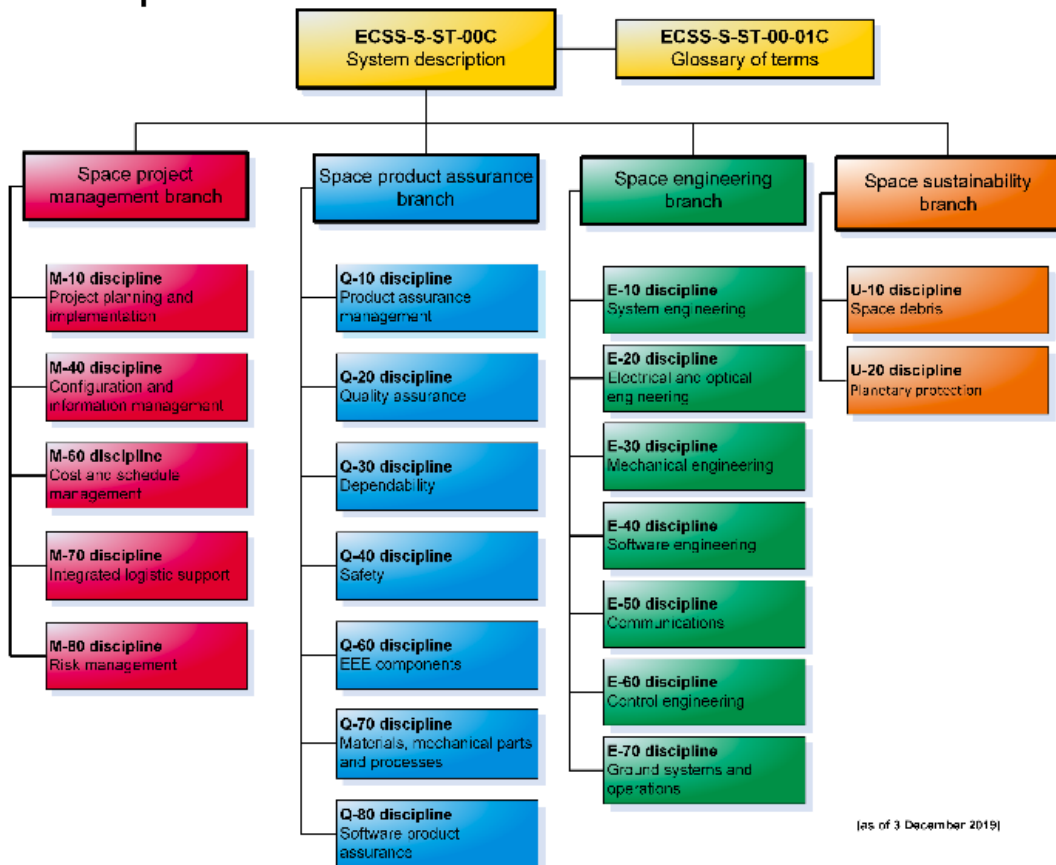


Figura 3.1: Principales disciplinas de la ECSS

También podemos ver en la Figura 3.1, todas las ramas de trabajo que tiene definidas la ESA. Concretamente de la ECSS, que es la organización encargada de definir, redactar y revisar los estándares de trabajo para las diferentes agencias europeas.

Están definidos estándares para cada parte del proceso, desde los principales ámbitos de la gestión de proyectos como vemos en la primera rama de la Figura 3.1, la calidad y garantía del producto, los procesos de las diferentes ramas de la ingeniería involucradas, hasta la gestión de residuos espaciales y la protección planetaria en la última rama.

Realmente, el conjunto de archivos y estándares que se puede encontrar expone los principales objetivos y métodos de todo el proceso de ingeniería del software.

En primer lugar, se define el estándar ECSS-E-ST-40C [24]. Este estándar de ingeniería de software se aplica al software que se desarrolla como parte de un proyecto espacial. Esta norma cubre todos los aspectos de la ingeniería del software espacial, incluyendo la definición de requisitos, el diseño, el desarrollo, la verificación y validación y el mantenimiento.

Define el alcance de los procesos de ingeniería de software y sus interfaces con la gestión y la calidad y garantía del producto, que se abordan en las ramas de gestión (-M) y calidad y garantía del producto (-Q) definidos también por la ECSS, y explica cómo se aplican en los procesos de ingeniería de software. Esta norma refleja los métodos específicos utilizados en el desarrollo de sistemas espaciales y los requisitos de los procesos de ingeniería del software en este contexto. Junto con los requisitos que se encuentran en las otras ramas de los estándares ECSS, esta norma proporciona un marco completo para la ingeniería del software en un proyecto espacial.

El estándar ECSS-E-ST-40C pretende ayudar a los clientes a formular sus requisitos y a los proveedores a preparar sus respuestas y a implementar el trabajo. Sin embargo este documento no sustituye el material de los libros de texto sobre informática o tecnología del sector, como consecuencia se evita mencionar dicho material. Se supone que los lectores y usuarios poseen conocimientos generales de informática y son capaces de llevar a cabo las tareas de desarrollo con sus conocimientos y tecnología disponible.

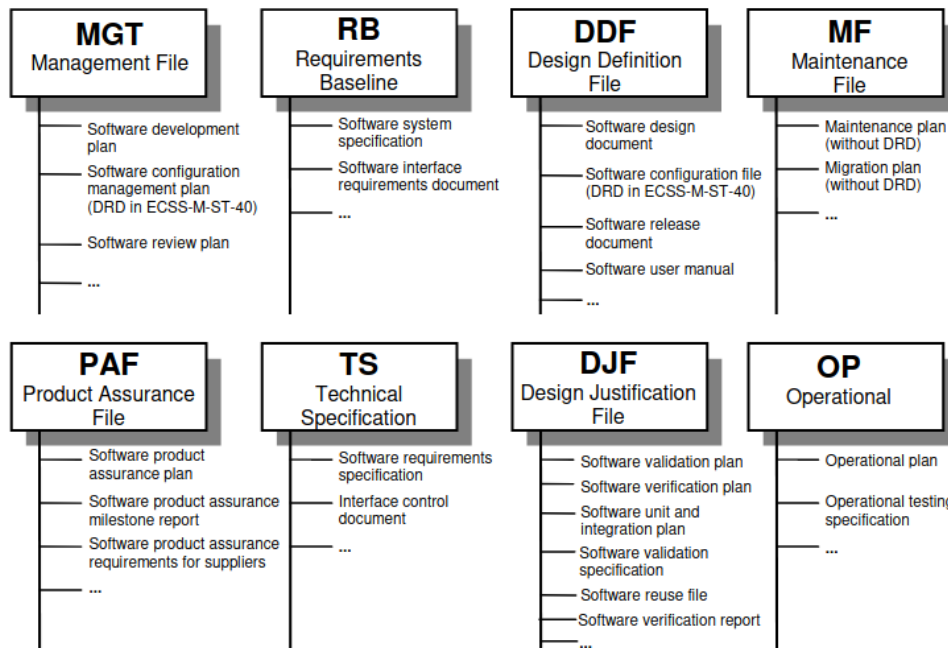


Figura 3.2: Esquema estructural de documentación definida por la ECSS

Como podemos ver en la Figura 3.2 extraída del anexo A del documento ECSS-E-ST-40C, la figura representa la estructura de los artefactos de documentación que deben producirse de acuerdo con los requisitos definidos por la ECSS. En el documento también podemos encontrar en los diferentes anexos la definición y contenidos recomendados que debe incluir cada uno de los artefactos correspondientes.

Como consecuencia de la complejidad de la norma, y a partir de recibir cuestiones por parte de varios desarrollos de proyectos sobre situaciones donde no era aplicable al completo o se interpreta de manera incorrecta, se redacta el «Handbook» o manual [25], mencionado anteriormente, con el objetivo de proporcionar consejos, interpretaciones y las mejores prácticas de ingeniería de software para la implementación de los requisitos especificados en el estándar de software. El manual se elabora para complementar la Norma ECSS-E-ST-40C, en el ámbito en el que la experiencia de los proyectos espaciales ha informado de cuestiones relacionadas con la aplicabilidad, la interpretación o la viabilidad de la norma ECSS-E-ST-40-C.

El manual sigue sin ser un libro de ingeniería de software que aborde la descripción técnica y herramientas de ingeniería de software pero cubre, en particular, lo siguiente:

- Describe el contexto en el que opera la norma de ingeniería del software.
- Elabora conceptos clave que son esenciales para conseguir el cumplimiento de la norma, como los roles, las características del software, la criticidad y la adaptación.
- Discute los temas tratados en el estándar, con el fin de abordar las cuestiones que se han comunicado en los proyectos sobre la interpretación, la aplicación o la viabilidad de los requisitos. Esto incluye, en concreto:
 - La ingeniería de requisitos y la relación entre el sistema y el software.
 - Implementación de los requisitos del ECSS-E-ST-40 cuando se aplican diferentes paradigmas del ciclo de vida (por ejemplo, cascada, incremental, evolutivo, ágil) y en diferentes niveles.
 - Arquitectura, diseño e implementación, incluyendo aspectos de tiempo real.
 - Consideraciones sobre las pruebas unitarias y de integración, así como cobertura de las pruebas.
 - Validación y aceptación de software.
 - Técnicas de verificación de requisitos.
 - Consideraciones sobre el funcionamiento y el mantenimiento del software.
- Define en las últimas secciones más información sobre casos de uso, ciclo de vida, ingeniería basada en modelos, pruebas, generación automática de código, y presupuesto y margen técnico, modelo computacional y análisis del calendario.
- En el Anexo A, como complemento al Anexo A del estándar ECSS-E-ST-40C, se definen los documentos esperados en las revisiones técnicas.

- En el Anexo B se mencionan y recomiendan las técnicas de ingeniería de software apropiadas para la implementación de cláusulas específicas del ECSS-E-ST-40C y sus criterios de selección, que cubren la mayor parte del ciclo de vida del software.
- En el Anexo C, se encuentra un ejemplo de la definición de requisitos de un documento de plan de mantenimiento del software.

En el manual también podemos encontrar la Figura 3.3 que enfatiza de manera visual las principales relaciones entre las disciplinas de la ingeniería del software. Se pueden ver destacadas en rojo las principales disciplinas de la rama, así como en amarillo ramas con las que se interactúa de manera directa con frecuencia. Puede ser necesario entonces consultar estándares y manuales de las disciplinas relacionadas para asegurar el correcto desarrollo de un proyecto en todo momento.

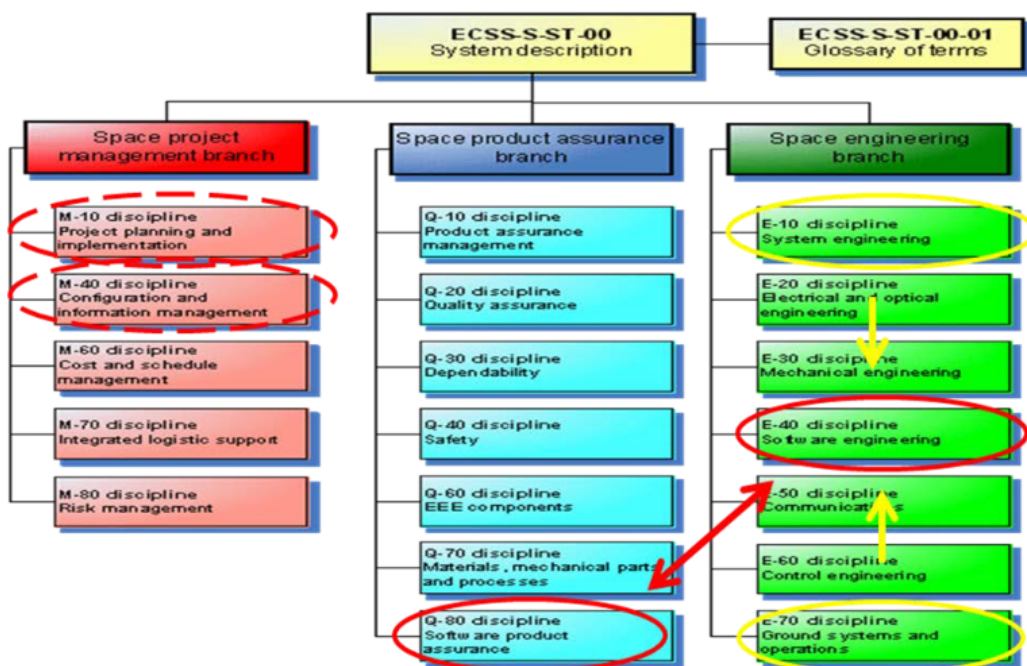


Figura 3.3: Principales relaciones entre disciplinas de la ECSS relativas al desarrollo de software

En resumen, el manual pretende ser el documento principal que consultar durante todo el ciclo de vida y el desarrollo de los proyectos de software espacial,

definiendo una guía y recomendaciones a seguir para cumplir el estándar definido.

Para finalizar, recientemente, en Abril de 2020 también se ha incluido un manual de metodología de desarrollo ágil [26]. Destaca otra vez que no es un libro de desarrollo ágil, aunque proporciona un modelo de referencia ágil basado en Scrum y también cubre otros métodos y técnicas ágiles importantes.

En relación con la norma ECSS-E-ST-40 [24], el manual de desarrollo ágil no proporciona ninguna adaptación de los requisitos debido al uso del enfoque ágil, sino que demuestra cómo se puede lograr el cumplimiento del estándar.

3.2 Metodología de la NASA

Así mismo la NASA, a pesar de no actuar como entidad colaboradora con múltiples agencias subyacentes como es el caso de la ESA con las diferentes agencias espaciales europeas a nivel nacional, también define sus estándares técnicos para cada uno de sus procesos como podemos ver en la Figura 3.4, extraída de la web de la NASA para la consulta de sus procesos y estándares ¹.

Destaca al estudiar la estructura y los diferentes estándares que se encuentran en este sitio web que resulta menos extensa y compleja que la cantidad de los estándares definidos en el caso de la ECSS, y sobretodo el hecho de la existencia de estándares por definir. Como los de documentación y configuración o los de operaciones, mando, control, telemetría y comunicaciones , donde no se encuentra ningún documento disponible.

Para el desarrollo de software, es necesario centrarse especialmente en el grupo de estándares clasificados como 2000 «Computer Systems, Software, Information Systems» y 8000 «Safety, Quality, Reliability, Maintainability». Ya que esta organización también sigue el modelo de guías, consejos y directrices mediante «Handbooks» o manuales para sus diferentes disciplinas de ingeniería, y el «NA-

¹<https://standards.nasa.gov/nasa-technical-standards>

NASA Technical Standards

Each NASA Technical Standard is assigned to a Technical Discipline. Please select the respective link to access that discipline's standards.

- [0000 - Documentation and Configuration](#)
- [1000 - Systems Engineering and Integration, Aerospace Environments, Celestial Mechanics](#)
- [2000 - Computer Systems, Software, Information Systems](#)
- [3000 - Human Factors and Health](#)
- [4000 - Electrical and Electronics Systems, Avionics/Control Systems, Optics](#)
- [5000 - Structures/Mechanical Systems, Fluid Dynamics, Thermal, Propulsion, Aerodynamics](#)
- [6000 - Materials and Processes, Parts](#)
- [7000 - System and Subsystem Test, Analysis, Modeling, Evaluation](#)
- [8000 - Safety, Quality, Reliability, Maintainability](#)
- [9000 - Operations, Command, Control, Telemetry/Data Systems, Communications](#)
- [10000 - Construction and Institutional Support](#)
- [View All](#)

Any questions on the above standards can be directed to the NTSS Curator at standards@msfc.nasa.gov

Figura 3.4: Estructura de los NASA Technical Standards (NTSS)

SA Software Engineering Handbook» [27] se encuentra codificado como NASA-HDBK-2203 dentro del primer grupo de clasificación que se ha mencionado.

Mientras que en el segundo grupo más relevante se encuentran:

- El «NASA Software Safety Guidebook» clasificado como NASA-GB-8719.13 [28]

Este documento se centra en el análisis, el desarrollo y la calidad del software crítico para la seguridad.

- El «Software Assurance and Software Safety Standard» con el código NASA-STD-8739.8. [29]

El propósito del documento es definir los requisitos para implementar un enfoque sistemático de calidad del software, seguridad del software y verificación y validación independiente (IV&V) para el software desarrollado, adquirido, proporcionado o mantenido por o para la NASA durante todo su ciclo de vida.

y

- El «Software Formal Inspections Standard» con la clasificación NASA-STD-8739.9. [30]

El estándar está diseñado para apoyar el proceso de inspección del software desarrollado para la NASA. Su objetivo es proporcionar un marco y un modelo para un proceso de inspección que detecte y elimine los defectos lo antes posible en el ciclo de vida del software.

Sin embargo, el documento principal para el desarrollo de software vuelve a ser el manual [27], donde se encuentra definido el ciclo de vida y todo el proceso de desarrollo de software al completo, desde la planificación hasta el mantenimiento y la retirada. Se pueden observar en la Figura 3.5 los diferentes capítulos y secciones del manual dedicados a los requisitos que ha de cumplir un proyecto de desarrollo de software ².

²<https://swehb.nasa.gov/display/SWEHBVC/C.+Project+Software+Requirements>

Chapter 3. Software Management Requirements	Chapter 4. Software Engineering Life Cycle Requirements	Chapter 5. Supporting Software Life Cycle Requirements
<p>3.1 Software Life Cycle Planning</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-033 - Acquisition vs. Development Assessment SWE-013 - Software Plans SWE-024 - Plan Tracking SWE-034 - Acceptance Criteria SWE-036 - Software Process Determination SWE-037 - Software Milestones SWE-039 - Software Supplier Insight SWE-040 - Access to Software Products SWE-042 - Source Code Electronic Access SWE-139 - Shall Statements SWE-121 - Document Tailored Requirements SWE-138 - Requirements Compliance Matrix 	<p>4.1 Software Requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-050 - Software Requirements SWE-051 - Software Requirements Analysis SWE-184 - Software-related Constraints and Assumptions SWE-053 - Manage Requirements Changes SWE-054 - Corrective Action for Inconsistencies SWE-055 - Requirements Validation <p>4.2 Software Architecture</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-057 - Software Architecture SWE-145 - Software Architecture Review 	<p>5.1 Software Configuration Management (SCM)</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-079 - Develop CM Plan SWE-080 - Track and Evaluate Changes SWE-081 - Identify Software CM Items SWE-082 - Authorizing Changes SWE-083 - Status Accounting SWE-084 - Configuration Audits SWE-085 - Release Management SWE-045 - Project Participation in Audits <p>5.2 Software Risk Management</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-086 - Continuous Risk Management
<p>3.2 Software Cost Estimation</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-015 - Cost Estimation SWE-151 - Cost Estimate Conditions SWE-174 - Software Planning Parameters <p>3.3 Software Schedules</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-016 - Software Schedule SWE-018 - Software Activities Review SWE-046 - Supplier Software Schedule <p>3.4 Software Training</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-017 - Project and Software Training <p>3.5 Software Classification Assessments</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-020 - Software Classification SWE-176 - Software Records <p>3.6 Software Assurance and Software Independent Verification & Validation</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-022 - Software Assurance SWE-141 - Software Independent Verification and Validation SWE-131 - Independent Verification and Validation Project Execution Plan SWE-178 - I/V&V Artifacts SWE-179 - I/V&V Submitted Issues and Risks <p>3.7 Safety-Critical Software</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-205 - Determination of Safety-Critical Software SWE-023 - Software Safety-Critical Requirements SWE-134 - Safety Critical Software Design Requirements <p>3.8 Automatic Generation of Software Source Code</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-146 - Auto-generated Source Code SWE-206 - Auto-Generation Software Inputs <p>3.9 Software Development Processes and Practices</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-032 - CMMI Levels for Class A and B Software <p>3.10 Software Reuse</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-147 - Specify Reusability Requirements SWE-148 - Contribute to Agency Software Catalog <p>3.11 Software Cybersecurity</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-156 - Evaluate Systems for Security Risks SWE-154 - Identify Security Risks SWE-157 - Protect Against Unauthorized Access SWE-158 - Evaluate Software for Security Vulnerabilities SWE-155 - Implement Risk Mitigations SWE-159 - Verify and Validate Risk Mitigations SWE-207 - Secure Coding Standard SWE-185 - Verification of Software Code to Coding Standards <p>3.12 Software Bi-Directional Traceability</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-052 - Bidirectional Traceability 	<p>4.3 Software Design</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-058 - Detailed Design <p>4.4 Software Implementation</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-060 - Coding Software SWE-061 - Coding Standards SWE-135 - Static Analysis SWE-062 - Unit Test SWE-186 - Unit Test Repeatability SWE-063 - Release Version Description SWE-136 - Software Tool Accreditation <p>4.5 Software Testing</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-065 - Test Plan, Procedures, Reports SWE-066 - Perform Testing SWE-187 - Control of Software Items SWE-068 - Evaluate Test Results SWE-070 - Models, Simulations, Tools SWE-071 - Update Test Plans and Procedures SWE-073 - Platform or Hi-Fidelity Simulations SWE-189 - Code Coverage Measurements SWE-190 - Verify Code Coverage SWE-191 - Software Regression Testing SWE-192 - Software Hazardous Requirements SWE-193 - Acceptance Testing for Affected Behavior SWE-211 - Testing Levels of Non-Custom Developed Software <p>4.6 Software Operations, Maintenance, and Retirement</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-075 - Plan Operations, Maintenance, Retirement SWE-077 - Deliver Software Products SWE-194 - Delivery Requirements Verification SWE-195 - Software Maintenance Phase SWE-196 - Software Retirement Archival 	<p>5.3 Software Peer Reviews and Inspections</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-087 - Software Peer Reviews and Inspections for Requirements, Plans, Design, Code, and Test Procedures SWE-088 - Software Peer Reviews and Inspections - Checklist Criteria and Tracking SWE-089 - Software Peer Reviews and Inspections - Basic Measurements <p>5.4 Software Measurements</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-090 - Management and Technical Measurements SWE-093 - Analysis of Measurement Data SWE-094 - Reporting of Measurement Analysis SWE-199 - Performance Measures SWE-200 - Software Requirements Volatility Metrics <p>5.5 Software Non-conformance or Defect Management</p> <ul style="list-style-type: none"> SWE-201 - Software Non-Conformances SWE-202 - Software Severity Levels SWE-203 - Mandatory Assessments for Non-Conformances SWE-204 - Process Assessments

Figura 3.5: Capítulos y secciones principales del NASA Software Engineering Handbook

Para resumir el contenido del manual y destacar las principales secciones y procesos, se pueden decir que el documento define las directrices desde el proceso de planificación del proyecto y estimación de costes, donde destaca la clasificación del proyecto. Este proceso se realiza en el instante que se define la necesidad de la existencia de un software en cualquier proyecto en desarrollo y es estudiado en cada revisión por si es necesaria su modificación. Están definidos 6 tipos de clasificaciones diferentes (A-F) según el sistema o subsistemas a definir, propósito, relevancia, operaciones, interacción con las personas, riesgos y presupuesto. Lo podemos observar en la Figura 3.6

NASA-Wide Software Classifications		
Class A	Human-Rated	Space Software Systems
Class B	Non-Human	Space-Rated Software Systems or Large-Scale Aeronautics Vehicles
Class C	Mission Support	Software or Aeronautic Vehicles, or Major Engineering/Research Facility Software
Class D	Basic	Science/Engineering Design and Research and Technology Software
Class E	Design Concept,	Research, Technology, and General Purpose Software
Class F	General Purpose	Computing, Business, and IT Software

Notes: It is not uncommon for a project to contain multiple systems and subsystems having different software classes.

Figura 3.6: Grupos de software definidos por la NASA

Además, se clasifica al principio del desarrollo cada sistema y subsistema como crítico para la seguridad si cumple al menos uno de los siguientes criterios:

1. Causa o contribuye a una condición o evento peligroso del sistema.
2. Proporciona control o mitigación de una condición o evento peligroso del sistema.
3. Controla funciones críticas para la seguridad.
4. Mitiga el daño si se produce una condición o evento peligroso.
5. Detecta, informa y toma medidas correctivas si el sistema alcanza un estado potencialmente peligroso.

Un sistema clasificado como crítico para la seguridad se debe clasificar como mínimo en clase D y se le han de aplicar los requisitos definidos en el documento

de «NASA Software Safety Guidebook»[28] y «Software Assurance and Software Safety Standard»[29].

A continuación, cabe destacar que el documento define respecto a los procesos y prácticas de desarrollo de software los proyectos con clasificación A y B deben cumplir con el nivel de CMMI-DEV con un nivel de madurez 3 o superior, así como la necesidad de mantener la trazabilidad de los requisitos del proyecto y trazabilidad bidireccional entre los requisitos definidos y los artefactos resultantes como se puede ver ilustrado en la Figura 3.7 extraída de la guía en el apartado correspondiente del manual.

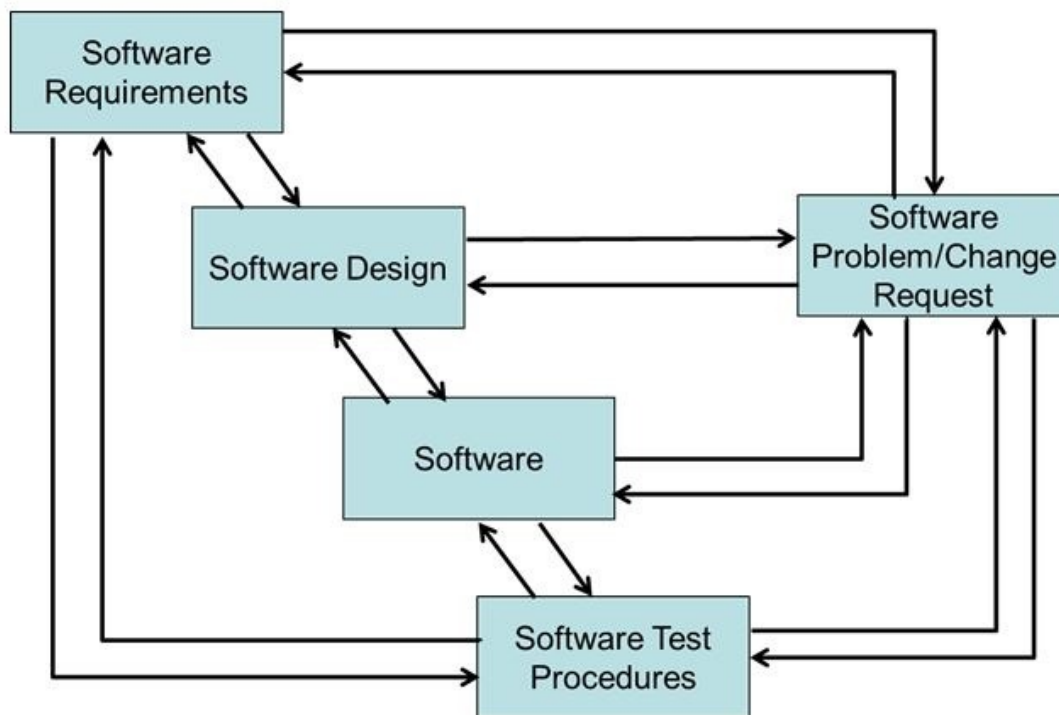


Figure 1: Bidirectional traceability for software products

Figura 3.7: Trazabilidad bidireccional entre requisitos y artefactos

Respecto a la implementación, el manual define la necesidad de seguir el estándar del SEI CERT³, que define la necesidad del uso de herramientas de análisis estático, tests unitarios y descripciones de documentación en cada release entre otras buenas prácticas.

³<https://wiki.sei.cmu.edu/confluence/display/seccode>

Seguidamente, respecto al testing y ciberseguridad, la NASA realiza pruebas y validaciones independientes de los proyectos desarrollados mediante el departamento de verificación y validación independiente (IV&V), externo a los principales desarrolladores del proyecto. Sin embargo, los desarrolladores han de proporcionar sus propias pruebas, con 100 % de cobertura o la justificación adecuada para que un cierto porcentaje del código no haya sido validado. Además de que se recomienda como la mejor práctica posible el uso de métodos formales para las pruebas del software de clase A, B y C. En cualquier caso, el proceso de desarrollo, roles, consejos y guías está definido al completo en el manual desde el punto de vista del ingeniero responsable del proyecto.

Finalmente, se puede encontrar, así como ocurría en el manual definido por la ECSS, una lista de artefactos de documentación necesarios como resultado del desarrollo de un proyecto de software. En este caso la lista se compone de 21 documentos:

1. CR-PR - Software Change Request - Problem Report
2. IDD - Interface Design Description
3. Inspect - Software Inspection, Peer Reviews, Inspections
4. Maint - Software Maintenance Plan
5. Metrics - Software Metrics Report
6. SAANALYSIS - Software Assurance Analysis on the Detailed Software Requirements
7. SADESIGN - Software Assurance Design Analysis
8. SAP - Software Assurance Plan
9. SASTATUS - Software Assurance and Software Safety Status Report
10. SCMP - Software Configuration Management Plan
11. SDD - Software Data Dictionary

12. SDP-SMP - Software Development - Management Plan
13. SRS - Software Requirements Specification
14. SSP - Software Safety Plan
15. STP - Software Test Plan
16. STR - Software Test Report
17. SUM - Software User Manual
18. SwDD - Software Design Description
19. Test - Software Test Procedures
20. Train - Software Training Plan
21. VDD - Version Description Document

Pero uno de los puntos más interesantes y que diferencia este manual del definido por la ECSS, es que el manual de la NASA sí que provee una lista de las herramientas software⁴ que se utilizan para cada propósito a lo largo del ciclo de vida de los proyectos. Desde herramientas para la gestión de requisitos que ayudan a los analistas a mantener un seguimiento eficiente de estos hasta software para el mantenimiento de productos. A pesar de que muchas de las herramientas son software específico y requieren de licencias especiales o son herramientas desarrolladas por y para el uso interno de la agencia, también hay una gran variedad de herramientas de software libre e incluso se pueden destacar herramientas de las que se hace uso a lo largo del grado de ingeniería informática en la ETSINF. Ya que son herramientas de uso cotidiano e indispensables en el desarrollo de software con las que podríamos completar el proceso de desarrollo y ciclo de vida de un proyecto desarrollado bajo las directrices de la NASA casi al completo. Algunos ejemplos son: desde el lenguaje UML para el modelado, el CheckStyle de Java, los entornos de desarrollo de Eclipse y Visual Studio, Matlab para tareas de cálculo matemático, Git o subversion como herramientas de control de versiones, Requisite PRO como herramienta de soporte en la especificación de requisitos y Bugzilla como sistema de seguimiento de errores para el mantenimiento.

⁴<https://swehb.nasa.gov/display/SWEHBVC/Tools+Table>

CAPÍTULO 4

Propuesta de análisis de riesgos y especificación de requisitos de MEDEA

4.1 Principios básicos de CDSS para emergencias médicas en exploración espacial

Los sistemas de ayuda a la decisión médica (CDSS) son sistemas inteligentes, que utilizan variables de datos del paciente para deducir su estado de salud y generar consejos para su tratamiento. El objetivo principal de los CDSS es ayudar a los médicos ofreciendo una guía de asistencia médica mediante el análisis de datos sobre los pacientes y el uso de esa información para formular un diagnóstico basado en ellos. Para ello se hace uso de métodos de inteligencia artificial y aprendizaje automático que analizan y reconocen patrones. Obteniendo resultados detallados y útiles para ofrecer diagnósticos y tratamientos.

Normalmente estos sistemas pueden incluir alertas y recordatorios sobre el estado y el tratamiento de los pacientes, tienen siempre en cuenta las guías clínicas y los datos de informes sobre el paciente y basan sus decisiones y recomendaciones en un sistema de reglas u otros métodos de inteligencia artificial junto

con información contextual relevante para formular un diagnóstico, tratamiento o ambos.

Algunas de las funciones y beneficios más importantes que cumplen los CDSS son:

- Mejorar la efectividad del proceso de toma de decisiones clínicas.
- Autorizar procedimientos cuando se cumplan ciertas condiciones.
- Reducir el riesgo de errores en los tratamientos y medicación.
- Reducir el riesgo de errores de diagnóstico.
- Ofrecer al equipo médico información y datos fiables y consistentes sobre el paciente.
- Mejorar la eficiencia de la atención médica y la satisfacción de los pacientes.

Dadas las condiciones extremas y limitaciones impuestas por los viajes de exploración tripulados, un sistema de ayuda a la toma de decisiones clínicas para las misiones de exploración y Marte debe cumplir los siguientes diez principios básicos:

1. Dar soporte en tiempo real a la toma de decisiones médicas.
2. Asesoramiento cuantitativo y específico para cada paciente.
3. Tener en cuenta la información disponible del soporte vital y la monitorización de los miembros de la tripulación.
4. Ser totalmente autónomo desde las instalaciones remotas.
5. Adaptar continuamente las predicciones a las alteraciones fisiológicas y a las nuevas condiciones.
6. Optimizar la toma de decisiones médicas en función de las prioridades fundamentales de la misión.
7. Tener en cuenta los suministros y equipos médicos de a bordo.

8. Aplicar normas sanitarias para los niveles de atención V.¹
9. Aplicar normas éticas para los vuelos espaciales.
10. Aplicar normas éticas para la inteligencia artificial.

4.2 Diseño conceptual de MEDEA

En misiones cercanas a la Tierra (órbitas bajas), el procedimiento que se sigue frente a la necesidad de una intervención terciaria sobre un problema médico de un tripulante a bordo de una misión es la asistencia por telemedicina y en caso de problema grave la estabilización del astronauta hasta que sea posible su regreso a la Tierra para su intervención adecuada. Sin embargo, esta forma de proceder no es posible en misiones de larga distancia donde el regreso a la Tierra en poco tiempo no es posible y la comunicación tiene una latencia de minutos. Así pues, el sistema MEDEA es una propuesta actualmente en forma de diseño conceptual (TRL2) para solucionar el problema que presenta la asistencia médica de emergencia en misiones tripuladas de exploración espacial por J.M.García Gómez, 2020 [31]. Efectivamente, en futuras misiones de exploración espacial, la telemedicina dejará de ser aplicable debido al gran aumento en el retardo de las comunicaciones. Principalmente por estas razones, las agencias espaciales internacionales buscan desarrollar un sistema de ayuda a la decisión médica que pueda funcionar de forma autónoma en misión, se adapte a las nuevas condiciones de misiones de exploración y asegure la vida, así como la salud de los tripulantes.

MEDEA se compone de una suite compuesta por 4 módulos que son interoperables, pero independientes entre sí (ver Figura 4.1). Ya que el CDSS, módulo principal, con el que deberán interactuar directamente los tripulantes, sería considerado por la NASA como «safety-critical software», al estar relacionado directamente con situaciones de peligro u ocasionar situaciones laborales peligrosas. Este módulo cumple con la función principal de realizar las predicciones de los

¹Niveles de atención primaria: I. Fomento de la salud II. Prevención de enfermedades y lesiones III. Diagnóstico y tratamiento IV. Cuidados de rehabilitación. V. Cuidados de asistencia

diagnósticos médicos en situaciones de emergencia, así como la asistencia al tripulante responsable para realizar una intervención en caso de necesidad.

Al módulo principal le rodean otros 3 módulos, el primero de ellos es responsable de las tareas de aprendizaje automático para actualizar los modelos predictivos de diagnóstico en función de la historia de datos y condiciones recopiladas en la misión.

El segundo módulo se compone del conjunto de reglas que supervisan y aseguran que el comportamiento del módulo principal es el adecuado según con los procedimientos y protocolos médicos, los principios básicos de la ética y el cumplimiento de las leyes aplicables.

El tercer módulo, responsable de la interoperabilidad semántica del software, obtiene los datos vitales de los tripulantes, así como del equipo médico de la misión. La información de entrada se estandariza en FHIR para que el resto de módulos hagan uso de ella.

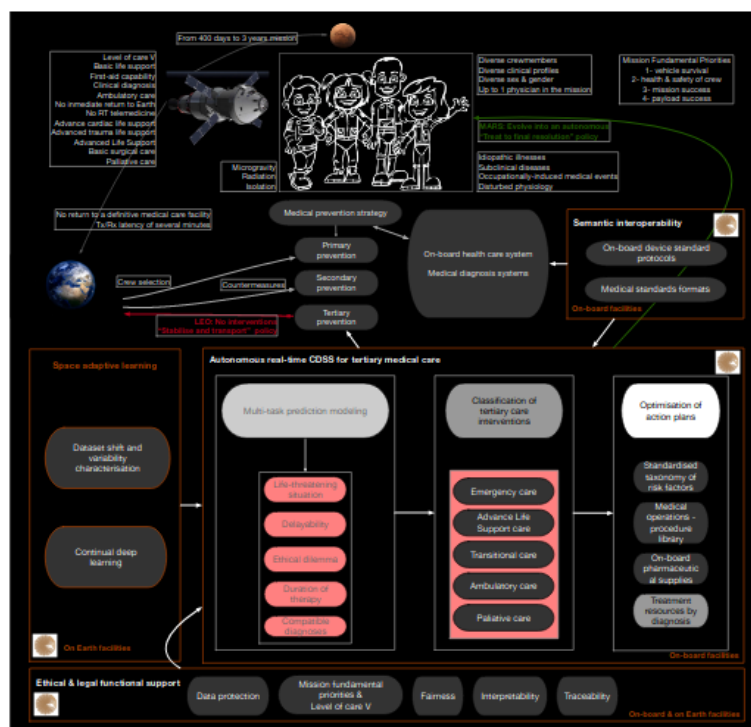


Figura 4.1: Diseño conceptual de MEDEA

Este proyecto se centra en el CDSS como sistema principal a analizar y especificar. Concretamente, se tienen en cuenta las restricciones, procesos y requisitos

tanto funcionales como no funcionales que impone la NASA para su software, y se redactará un documento que cumpla la función del documento «Software Requirements Specification» (SRS) para el subsistema CDSS, mencionado en el anterior capítulo como uno de los documentos necesarios del proceso de desarrollo de software de la agencia aeroespacial norteamericana.

Siguiendo el proceso de desarrollo que define el NASA Software Engineering Handbook [27] antes de realizar la especificación de requisitos se debería realizar una planificación del proyecto al completo, definir su alcance, realizar un análisis de riesgos y estimación de costes.

Antes de la propuesta de especificación de requisitos, se realizan unos comentarios breves sobre los posibles riesgos del proyecto, así como el proceso de estimación de costes y presupuesto necesario. Sin embargo, las siguientes secciones no son un análisis de riesgos ni una estimación de costes completamente desarrollados.

4.3 Análisis de riesgos

Respecto a los riesgos, existen una infinidad de riesgos que se podrían comentar sobre el desarrollo del software de MEDEA. Por ello se mencionan los que se han considerado principales ya que podrían tener un mayor impacto en el desarrollo y mantenimiento.

Desde riesgos de cometer errores al estimar el coste y el presupuesto del proyecto debido a la falta de experiencia de trabajo de gestión de proyectos y a la gran magnitud del concepto de un software espacial. Es un riesgo bastante probable y que supondría estimar los costes de nuevo y reorganizar la planificación del proyecto, provocando un gran impacto y retrasos en el desarrollo de este. Este tipo de riesgos fatales se pueden producir frente a muchos aspectos de la planificación del proyecto y se requiere un gran especialista capaz de gestionar la responsabilidad que suponen y minimizar las probabilidades de estos errores.

En cuanto a riesgos técnicos, se puede destacar la inexperiencia de trabajar con equipos y tecnología utilizada a bordo de una misión de exploración espacial, el funcionamiento del software ha de ser correcto, óptimo e idéntico al de su desarrollo y las pruebas que ha superado en los equipos durante su proceso de desarrollo. Para ello, se necesitan realizar pruebas de calidad y rendimiento tanto durante el desarrollo como en los equipos de misión de órbita terrestre. El impacto que tendría que el software no cumpla con los requisitos de calidad o rendimiento necesarios implicaría un gran fallo y supondría la necesidad de invertir más recursos en el desarrollo para optimizar el producto.

Finalmente, el riesgo que plantea una situación más peligrosa se da una vez el software esté en funcionamiento. El caso fatal de un diagnóstico o una asistencia incorrectos durante una situación de emergencia puede traducirse en la pérdida de la vida de un ser humano, con las responsabilidades que ello conlleva. A priori se contempla como una situación muy poco probable, ya que el propósito principal del software es precisamente evitar este desenlace frente a las situaciones de emergencia. Las funciones de los módulos de aprendizaje automático junto con el subsistema de reglas, aseguran el comportamiento del módulo principal en sus tareas tanto de diagnóstico como de soporte en intervenciones de emergencia haciendo que estas sean lo más precisas y adecuadas posibles. Con decisiones basadas en los modelos predictivos más actualizados posibles, así como en los procedimientos y protocolos médicos, los principios básicos de la ética y el cumplimiento de las leyes aplicables. A pesar de las precauciones, si acontece esta situación, el proyecto se vería gravemente afectado, un fallo supondría su retirada de las misiones y se discutiría su continuidad, ya que requeriría volver a pasar por el proceso de desarrollo para asegurar la ausencia total de errores de este calibre.

4.4 Presupuesto

Respecto a la estimación de costes y presupuesto, el requisito principal en este ámbito impuesto por la NASA es que el director del proyecto debe establecer,

documentar y mantener dos estimaciones de costes y parámetros de costes asociados para todos los proyectos de software de clase A y B que tengan un coste estimado de 2 millones de dólares o más.

Como se ha mencionado en la sección anterior, uno de los riesgos más probables del proyecto son los errores en la planificación, en especial en la estimación de costes y el presupuesto. El error es tan probable que incluso se destaca en el manual de la NASA el gráfico de la Figura 4.2, que representa que las estimaciones de costes varían mucho durante las primeras fases del ciclo de vida, siendo mayor el desfase cuanto mayor es la incertidumbre en el proyecto, pudiendo llegar a desfases donde el coste estimado es hasta cuatro veces mayor o menor que el coste real durante la fase de viabilidad.

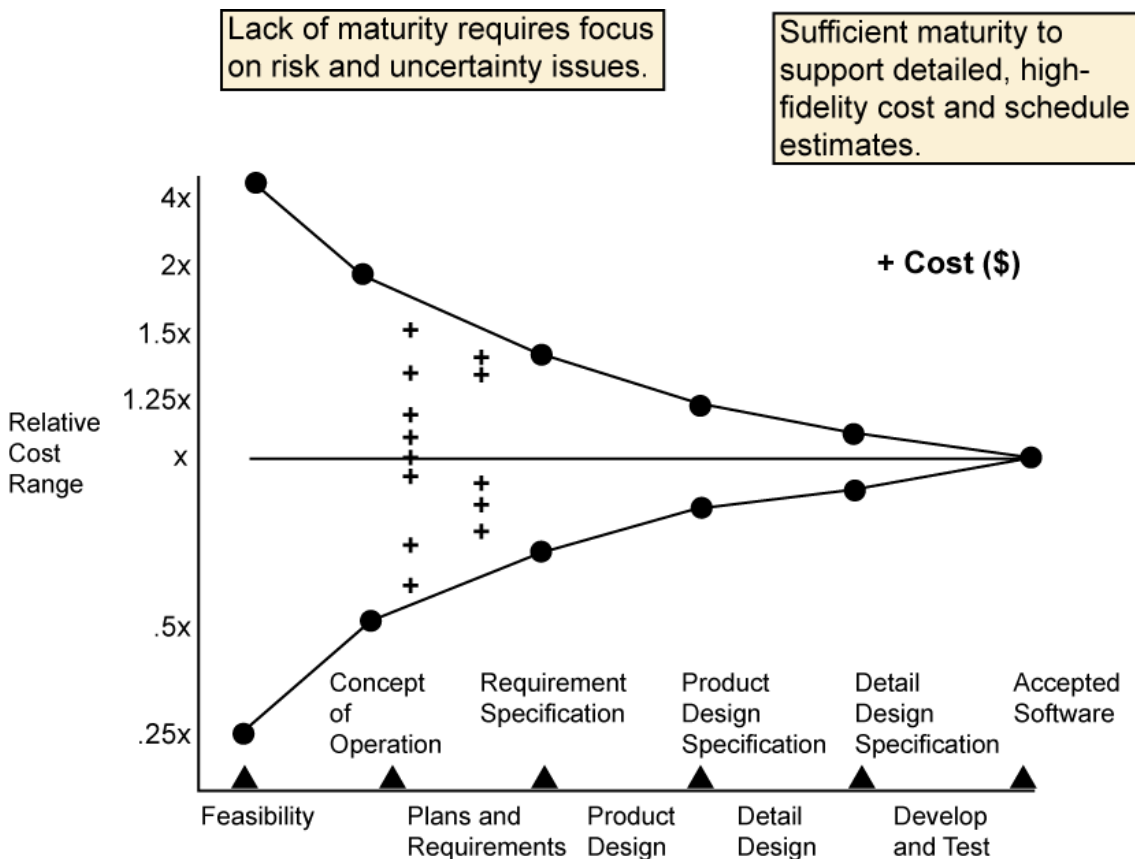


Figura 4.2: Desviación del coste estimado frente al real durante la planificación de un proyecto de desarrollo de software

El nivel de madurez del proyecto no es el suficiente para establecer una estimación adecuada, solo se podría afirmar que teniendo en cuenta los requisitos y necesidades que presentan los proyectos de tipo A y los largos periodos de tiem-

po para su planificación, desarrollo y pruebas en la ISS, el proyecto supondría un presupuesto millonario, de entorno a 20 millones de dólares, pero no se puede ofrecer una estimación de costes y presupuesto concreta.

4.5 Especificación de requisitos

Para la especificación de requisitos de MEDEA, a pesar de que se necesitaría obtener y especificar los requisitos del sistema completo, en el alcance de este proyecto se ha decidido centrar la atención solamente en los requisitos del subsistema principal. Para ello, se definen los requisitos de información que precisa el subsistema como datos de entrada y el diagrama de actividad que describe su comportamiento mediante actividades concretas, así como la especificación de requisitos tanto funcionales como no funcionales.

Para ello, se ha de seguir el proceso de especificación ilustración de la Figura 4.3 del manual de la NASA, donde podemos observar el proceso completo de especificación de requisitos definido. Este proyecto se centra en la primera fase del proceso, la obtención de los requisitos.

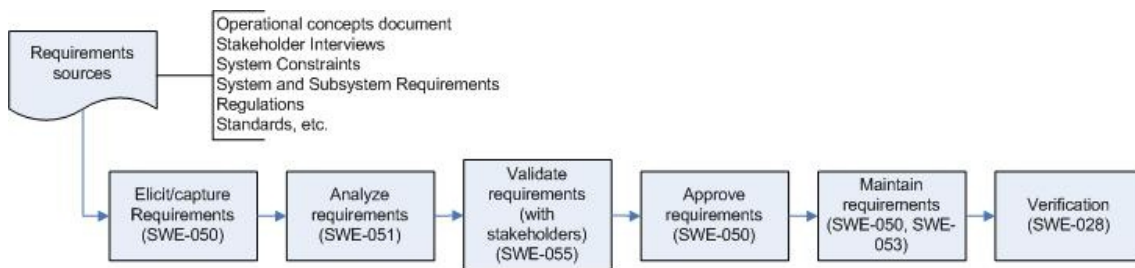


Figura 4.3: Proceso de especificación de requisitos del NASA Software Engineering Handbook

4.5.1. Requisitos de información

Siguiendo el diseño conceptual, se precisan como información inicial y datos de entrada para el sistema, los siguientes requisitos:

IRQ-0001	Acceso a la monitorización de la tripulación
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de interoperabilidad
Dependencias	Subsistema de interoperabilidad
Descripción	El sistema ha tener acceso a la monitorización de las constantes vitales y el estado de los tripulantes constantemente.
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	Los datos de entrada han de estar disponibles en el estándar FHIR.

Tabla 4.1: IRQ-0001 Acceso a la monitorización de la tripulación

IRQ-0002	Acceso a las historias clínicas de los tripulantes
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de interoperabilidad
Dependencias	Subsistema de interoperabilidad
Descripción	El sistema ha de tener acceso a la historia clínica electrónica de los tripulantes.
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	Los datos de entrada han de estar disponibles en el estándar FHIR.

Tabla 4.2: IRQ-0002 Acceso a las historias clínicas de los tripulantes

IRQ-0003	Equipo y recursos médicos abordo
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de interoperabilidad
Dependencias	Subsistema de interoperabilidad
Descripción	El sistema ha de disponer en todo momento de la información relativa a los recursos médicos disponibles de la misión, así como el estado de todo el equipamiento médico.
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.3: IRQ-0003 Equipo y recursos médicos abordo

IRQ-0004	Reglas para el soporte ético y legal
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de reglas
Dependencias	Subsistema de reglas
Descripción	El sistema ha de disponer de las reglas basadas en los protocolos deontológicos y legales aplicables al nivel 5 de cuidado médico (sobre health standards for levels of care V), y a las prioridades del vuelo espacial (spaceflights priorities).
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	La información y reglas sobre estos protocolos de actuación debe ser actualizada constantemente y con la mayor brevedad posible.

Tabla 4.4: IRQ-0004 Reglas para el soporte ético y legal

IRQ-0005	Modelos predictivos
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de aprendizaje automático
Dependencias	Subsistema de aprendizaje automático
Descripción	El sistema ha de disponer de los últimos modelos predictivos como entrada para la función de diagnóstico.
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	Los modelos predictivos se actualizan periódicamente en función de las nuevas condiciones influidas por la exposición a las condiciones de la misión.

Tabla 4.5: IRQ-0005 Modelos predictivos

4.5.2. Diagrama de actividad

Podemos ver el comportamiento del sistema ilustrado en el diagrama de actividad en la Figura 4.4 y especificado mediante la descripción de sus tareas durante las tablas de la subsección.

CDSS Diagrama de Actividad

Diagrama de actividad del CDSS autónomo para la gestión de emergencias médicas en tiempo real.

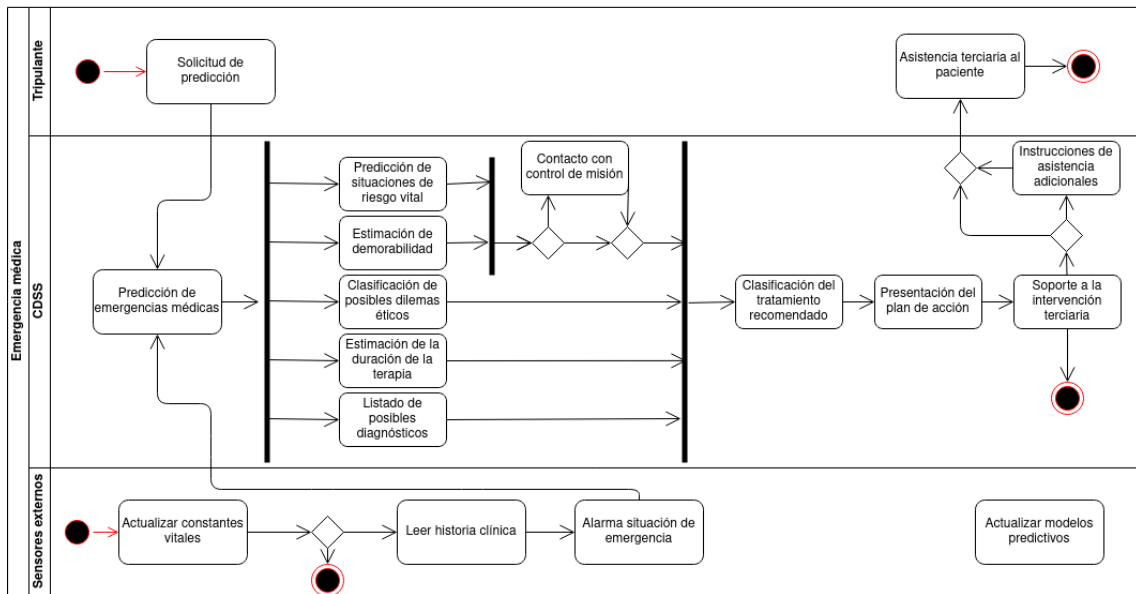


Figura 4.4: Diagrama de actividad del subsistema CDSS de MEDEA

T-0001	Solicitud de predicción
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	Un tripulante solicita una predicción en base a la situación médica de otro de los tripulantes.
Precondición	-
Secuencia normal	1 – El tripulante solicita asistencia para la decisión y la intervención recomendada para otro tripulante. 2 – El sistema identifica al tripulante objetivo de análisis y el tripulante a cargo de una posible intervención.
Postcondición	Se inicia la predicción de emergencia médica con la tarea T-0003 Tabla 4.8
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.6: T-0001 Solicitud de predicción

T-0002	Alarma de situación de emergencia
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	Se alerta a los tripulantes que una situación de emergencia médica ha sido detectada.
Precondición	Se ejecuta la tarea T-0012 Tabla 4.17 y se obtienen datos anómalos.
Secuencia normal	1 – El sistema detecta una situación donde las constantes vitales no están dentro del rango de normalidad según el historial clínico del tripulante.
Postcondición	Se inicia la predicción de emergencia médica T-0003 Tabla 4.8
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.7: T-0002 Alarma de situación de emergencia

T-0003	Predicción de emergencia médica
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	Se ofrece al tripulante al cargo la ayuda a la decisión necesaria para intervenir en la situación de emergencia médica que se ha presentado
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0001 Tabla 4.6 o la tarea T-0002 Tabla 4.7
Secuencia normal	<p>1 – El tripulante solicita asistencia para la decisión y la intervención recomendada para otro tripulante o para si mismo.</p> <p>2 – El sistema obtiene las predicciones de las tareas T-004 Tabla 4.9, T-005 Tabla 4.10, T-006 Tabla 4.11, T-007 Tabla 4.12, T-008 Tabla 4.13.</p> <p>3 – El módulo de soporte ético y legal supervisa mediante reglas que el procedimiento es correcto.</p> <p>4 – El sistema muestra el tratamiento y diagnósticos más adecuados.</p>
Postcondición	El tripulante es asistido para el tratamiento recomendado.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.8: T-0003 Predicción de emergencia médica

T-0004	Clasificación en situación de peligro vital
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	Se clasifica la emergencia que ha iniciado la función según si es de riesgo vital o no.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0003 Tabla 4.8
Secuencia normal	1 – El sistema realiza una tarea de clasificación en Sí/No según la situación de emergencia médica. 2 - Si la clasificación ha sido positiva, puede iniciar protocolos de emergencia abordó. Si no, el sistema puede comunicarse con Tierra para solicitar instrucciones de actuación.
Postcondición	El sistema ha clasificado la incidencia y ha lanzado un protocolo de emergencia si es necesario.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.9: T-0004 Clasificación en situación de peligro vital

T-0005	Estimación de la demorabilidad.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema estima el tiempo que puede retrasarse la atención que precisa la emergencia.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0003 Tabla 4.8
Secuencia normal	1 – El sistema estima el tiempo que puede retrasarse la atención que precisa la emergencia. 2 – El resultado se utiliza para decidir si se puede hacer conexión con control de misión o no en caso de riesgo vital.
Postcondición	El sistema ha calculado el tiempo que puede retrasarse la atención del paciente.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.10: T-0005 Estimación de la demorabilidad

T-0006	Clasificación en situación de dilema ético
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	Se clasifica la emergencia que ha iniciado la función según si representa un dilema ético para las prioridades fundamentales de la misión.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0003 Tabla 4.8
Secuencia normal	1 – El sistema realiza una tarea de clasificación en Sí/No según la situación de emergencia médica. 2 – En caso positivo, se deben contemplar limitaciones en el plan de actuación, teniendo en cuenta las prioridades básicas de la misión (1-hábitat, 2-tripulación, 3-objetivo, 4-carga) y la duración de los tratamientos.
Postcondición	El sistema ha clasificado la incidencia.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.11: T-0006 Clasificación en situación de dilema ético

T-0007	Estimación de la duración del tratamiento
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema estima la duración de los tratamientos.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0003 Tabla 4.8
Secuencia normal	1 – El sistema calcula y estima la duración de los tratamientos mediante una tarea de regresión.
Postcondición	El sistema tiene una estimación de la duración recomendada de los tratamientos.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.12: T-0007 Estimación de la duración del tratamiento

T-0008	Sugerencia de diagnósticos compatibles
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema recomienda una lista de posibles diagnósticos para el paciente.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0003 Tabla 4.8
Secuencia normal	1 – El sistema presenta una lista de posibles diagnósticos para el paciente. 2 – Mediante una tarea de recomendación, se presenta una lista ordenada de los diagnósticos más probables.
Postcondición	El sistema ha presentado una lista ordenada de los diagnósticos más probables.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.13: T-0008 Sugerencia de diagnósticos compatibles

T-0009	Clasificación del tipo de intervención recomendado.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de clasificar clasificar el tipo de intervención médica requerida a partir de los datos obtenidos por las tareas de predicción
Precondición	Se han ejecutado las tarea T-0004 Tabla 4.9, T-0005 Tabla 4.10, T-0006 Tabla 4.11, T-0007 Tabla 4.12 y T-0008 Tabla 4.13.
Secuencia normal	1 – El sistema reúne los datos de las predicciones. 2 – Se clasifica en uno de los 5 tipos de atención necesaria: Atención de emergencia, cuidados de soporte vital, atención transitoria, atención ambulatoria o cuidados paliativos.
Postcondición	El sistema ha clasificado y determinado uno de los 5 tipos de cuidados a recomendar.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.14: T-0009 Clasificación del tipo de intervención recomendado

T-0010	Presentación del plan de acción
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de presentar el plan de acción a la tripulación y asistir al tripulante en cargo en caso de que sea necesaria una intervención.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0009 Tabla 4.14
Secuencia normal	1 – El sistema reúne los datos de las predicciones. 2 – En función de las restricciones que se presenten, se presenta el plan de acción a seguir por la tripulación.
Postcondición	El sistema ha elaborado un plan de acción para hacer frente a la emergencia médica.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.15: T-0010 Presentación del plan de acción

T-0011	Soporte a la intervención terciaria
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de asistir al tripulante en cargo de la intervención sobre el tripulante en situación de emergencia.
Precondición	Se ha ejecutado la tarea T-0010 Tabla 4.15
Secuencia normal	1 – El sistema reconoce la identidad del tripulante en cargo y su formación médica 2 – En función del tipo de decisor, se le proporciona asistencia en la intervención.
Postcondición	El sistema ha asistido en diferentes grados de detalle al tripulante en cargo de la intervención en función de su formación y habilidades en asistencia médica.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.16: T-0011 Soporte a la intervención terciaria

T-0012	Leer historia clínica.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema obtiene la información de la historia clínica del paciente.
Precondición	
Secuencia normal	1 – El sistema accede a la información de la historia clínica del tripulante objetivo.
Postcondición	El CDSS ha obtenido la información de la historia clínica del paciente.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.17: T-0012 Leer historia clínica

T-0013	Actualizar constantes vitales.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	Subsistema de interoperabilidad.
Descripción	El sistema renueva la información del paciente a partir de los dispositivos de equipo que los monitorizan
Precondición	
Secuencia normal	1 – El sistema obtiene la información del subsistema de interoperabilidad que proviene de los dispositivos que monitorizan al tripulante.
Postcondición	El CDSS ha obtenido la información de los dispositivos que monitorizan al paciente.
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.18: T-0013 Actualizar constantes vitales

T-0014	Conexión con control de misión
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de ponerse en contacto con control de misión si la situación de emergencia no es clasificada de riesgo vital o si la demorabilidad lo permite en el caso de ser una situación de peligro vital.
Precondición	Se ha en ejecutado las tareas T-0004 Tabla 4.9y T-0005 Tabla 4.10 con el resultado de ser una situación de peligro vital pero disponer de tiempo para establecer contacto con la Tierra e informar de la situación a control de misión.
Secuencia normal	1 – El sistema ha estimado una demorabilidad que permite hacer contacto con control de misión. 2 – Se produce la conexión con control de misión.
Postcondición	
Excepciones	
Importancia	Muy alta
Urgencia	Muy alta
Estado	Especificación
Comentarios	

Tabla 4.19: T-0014 Leer historia clínica

4.5.3. Requisitos funcionales y no funcionales

Respecto a los requisitos funcionales y no funcionales, se ha realizado la obtención de los requisitos para el subsistema de ayuda a la decisión médica siguiendo la metodología y los criterios que marca la NASA además de prácticas que la propia organización recomienda, como las que describe Ronald Kirk, 2003 [32]. Incluyendo funciones y requisitos necesarios según la clasificación de clase A que debería tener el software, además de considerarse un subsistema crítico para la seguridad.

Los requisitos funcionales adicionales que se han detectado y añadido en función de estas condiciones son la necesidad de incluir la función de alarma e inicio de funciones de emergencia, debido a que todos los sistemas críticos para la seguridad han de poder avisar a los tripulantes del estado de emergencia y las condiciones de este si se produce una situación de peligro.

Respecto a los requisitos no funcionales, la NASA establece la necesidad de definir una trazabilidad bidireccional completa entre los requisitos del proyecto y los artefactos resultantes, así como define la verificación y validación del producto a través del departamento de seguridad y garantía de la misión (SMA), se requiere la definición de la información de entrada y salida del subsistema, los criterios de corrección, tiempos de respuesta y disponibilidad del subsistema.

La primera versión del documento de especificación de requisitos del subsistema CDSS se puede encontrar en el apéndice A.

Respecto al proceso de especificación de requisitos de los proyectos de la NASA ², el proyecto se encuentra en una versión embrionaria. Se puede observar el proceso iterativo que sigue la guía de la NASA de manera ilustrada en la Figura 4.5.

²<https://swehb.nasa.gov/display/SWEHBVB/SWE-050+-+Software+Requirements>

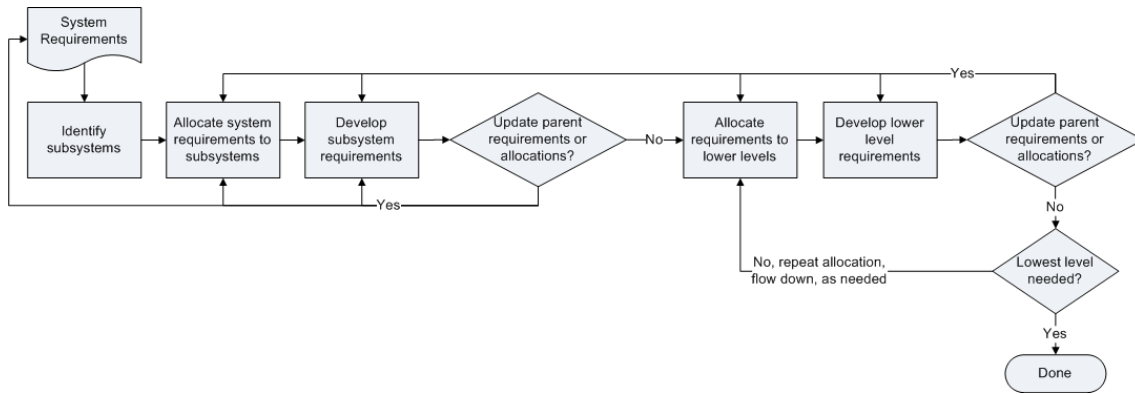


Figura 4.5: Proceso iterativo de especificación de requisitos de la NASA

Se puede situar el estado de la especificación de requisitos como máximo en la cuarta fase de la imagen que vemos en la Figura 4.5, sin embargo el estado de la especificación es el resultado de un par de iteraciones sin llegar a profundizar, especificando solamente el qué debe hacer el subsistema sin llegar a una especificación formal. Es necesario realizar más iteraciones para ampliar la especificación y corregir los posibles errores de las primeras iteraciones, así como seguir con la especificación de los requisitos del sistema al completo y el resto de subsistemas de manera iterativa.

CAPÍTULO 5

Discusión de resultados

5.1 Impacto

El impacto de los resultados se puede valorar en diferentes niveles, desde el ámbito individual, pasando por un nivel organizativo hasta el impacto en la comunidad investigadora.

En primer lugar, en el ámbito individual los resultados del trabajo realizado tienen como efecto inmediato el inicio del desarrollo del proyecto MEDEA. Se ha estudiado la información necesaria en cuanto a requisitos y metodología para desarrollar y adaptar un software de ayuda a la decisión médica a misiones de exploración espacial, así como se han obtenido y definido los primeros requisitos del subsistema principal.

En segundo lugar, respecto a nivel organizativo los resultados del trabajo resultan útiles al realizar una comparación de la metodología y los manuales que siguen las dos principales agencias espaciales para el desarrollo de software. Destacando las diferencias que presentan en cuanto a organización y contenido de sus estándares y manuales. Información que, a pesar de estar publicada en la red, no es de fácil acceso para la comunidad investigadora debido a que el acceso a gran cantidad de documentación sobre la materia está restringido a los empleados de las agencias, además del alto nivel de concreción en el ámbito de estudio.

Así pues, como último nivel de impacto, la comunidad investigadora y los desarrolladores que no son expertos en el ámbito de software espacial se benefician sobretodo del trabajo bibliográfico, ya que como resultado de este se dispone de un breve resumen de los estándares y contenidos que ofrecen las agencias espaciales, así como mayor acceso a los recursos que necesiten. Fomentando el interés de jóvenes desarrolladores y otras entidades de investigación en llevar sus proyectos o adaptarlos a los requisitos de software espacial al facilitar el acceso a la información y documentación necesaria.

5.2 Comparación con estado del arte

Respecto al trabajo bibliográfico, se ha hecho uso de las fuentes de consulta y material de trabajo específico de las organizaciones que son caso de estudio. Es cierto que las fuentes renuevan la información disponible constantemente y muchos de los documentos activos presentan fecha de caducidad, dejando de estar activos cuando los estándares y guías actuales se modifiquen o amplíen. Sin embargo, las organizaciones tienen muy en cuenta el estado de su documentación y solventan el posible problema destacando que el documento ha podido quedar obsoleto y se señalan las nuevas versiones que se encuentran activas en la actualidad de la consulta. Lo que hace que la investigación y guías de referencia se actualicen casi automáticamente de manera indirecta.

En comparación con los proyectos mencionados en el estado del arte y en el análisis del problema, se puede exponer que el concepto de MEDEA es un proyecto que propone una solución frente a las necesidades y las brechas detectadas durante las últimas décadas y los últimos proyectos de las agencias de exploración espacial. Así como aprovecha prácticamente todos los avances tecnológicos y las investigaciones que estas plantean actualmente y durante el futuro próximo. De hecho, la ECSS está trabajando en un manual para documentar los requisitos del aprendizaje automático en aplicaciones espaciales que todavía no ha sido publicado, pero el proyecto debería seguir sus indicaciones en un futuro.

En definitiva, MEDEA puede presentarse perfectamente como el siguiente software de ayuda a la decisión médica proporcionando la autonomía de misión que concluyen como necesaria para futuras misiones de exploración los proyectos de Krihak, M. et al, 2019 [18] y Hurst, V., 2015 [19].

5.3 Limitaciones

Sobre las limitaciones que se han enfrentado durante el proyecto, podríamos destacar dos ámbitos diferentes. En primer lugar, limitaciones debidas a la falta de experiencia previa en gestión de proyectos, ha conllevado errores al definir el alcance del proyecto y los objetivos de este en un primer lugar, provocados por subestimar inicialmente la complejidad de la idea que se había planteado. El error en la planificación y los motivos que lo provocan son tanto la falta de experiencia práctica en proyectos tan ambiciosos como el tiempo limitado para la realización del trabajo de final de grado.

En segundo lugar, limitaciones técnicas provocadas por la falta de acceso a recursos y herramientas que habrían resultado útiles, tanto como para el proceso de estudio como para el desarrollo de la especificación de requisitos. Por ejemplo el acceso a la información de los estándares definidos por la ECSS. Ya que estos documentos a pesar de estar publicados en el sitio web oficial de la organización que los define y mantiene, se requiere para su consulta o descarga un registro en la web mediante un correo electrónico que forme parte de una organización asociada a alguna de las agencias relacionadas con la organización. Como consecuencia no ha sido posible acceder a esta información hasta que se ha establecido contacto con la ESA mediante una dirección de contacto y uno de los ingenieros jefes de sistemas de software, Jean-Loup Terraillon, respondió la consulta sobre los documentos ofreciendo las indicaciones adecuadas para acceder a toda la información que ha sido de gran utilidad. Por suerte, el dominio de correo asociado a la UPV provee de acceso a la información.

Sin embargo, aunque ha sido posible solucionar la limitación de acceso a la información, no se ha obtenido una lista o ejemplos de herramientas software de

desarrollo por parte de la ECSS como sí se puede encontrar una lista de estas en el manual de la NASA. Otra de las limitaciones técnicas es el acceso a estas herramientas, ya que hubiera proporcionado una gran experiencia de trabajo el disponer de acceso a ellas y seguir el proceso de desarrollo de la manera más rigurosa posible, haciendo uso de las herramientas recomendadas. Sin embargo, muchas de estas son propias de la NASA, o están disponibles en el servidor SPAN, para las cual se necesita acceso como empleado. Otras en cambio, son software propietario para el que no se dispone de la licencia y el precio de esta no es asumible para un usuario. Como consecuencia, se podría haber utilizado un software más adecuado para mantener la trazabilidad de los requisitos durante el desarrollo de este proyecto.

A pesar de las limitaciones, se han resuelto los mayores problemas afrontados y el desarrollo del proyecto se ha completado con éxito, manteniendo un buen ritmo de trabajo.

5.4 Sigüientes pasos

Para continuar el proyecto, hay una gran variedad de posibilidades y líneas de trabajo que quedan abiertas. El resultado de esta tarea principalmente ha sido iniciar el proyecto de desarrollo del software MEDEA, lo que resulta en una gran cantidad de tareas de desarrollo pendientes que podrían abarcar las próximas décadas.

Para ello, se debe seguir trabajando sobre la solución propuesta por Ferri et al, 2020 [22], adaptando el software propuesto por el equipo de desarrollo a los requisitos impuestos por las agencias espaciales para elevar el proyecto a una propuesta de software espacial realista y competitiva.

En primer lugar, se necesita planificar el proyecto de desarrollo de MEDEA al completo, siguiendo el diseño conceptual de J.M. García-Gómez, 2020 [31] y adaptando la solución a un plan de proyecto realista que pueda desarrollarse durante los próximos años. En segundo lugar, ha de realizarse la especificación de

requisitos del sistema MEDEA completo, así como seguir especificando esta propuesta para el módulo principal de manera formal y realizar la misma tarea con el resto de subsistemas. Finalmente, se ha de implementar la validación de los requisitos definidos tanto en este proyecto como los que se definan posteriormente, siguiendo la metodología definida en los manuales que se han descrito en este trabajo y cumpliendo los estándares de calidad también mencionados.

En términos generales, siguiendo el manual de la consulta de la NASA con una planificación y una gestión del proyecto adecuadas, los siguientes pasos marcan el objetivo de completar el desarrollo del software MEDEA y que este pueda ser utilizado en una misión de exploración tripulada.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

Como conclusión, la utilidad más inmediata que se ha obtenido ha sido la labor de realizar un trabajo de investigación y recopilación bibliográfica que consigue reunir la documentación necesaria y suficiente para el completar un proyecto de desarrollo de software espacial en cuanto a a la planificación, requisitos, metodología y proceso de trabajo a seguir durante todo el ciclo de vida. El estudio se ha realizado para las principales agencias espaciales actualmente.

En primer lugar, la NASA, por su buena documentación al respecto y la amplia bibliografía que ofrece de manera pública. En segundo lugar, se ha decidido estudiar el proceso de trabajo y estándares de la ESA, ya que es el que sigue no solo la principal agencia europea, sino todas las agencias nacionales del continente que colaboran con esta, así como por ser la agencia más cercana a la universitat politècnica de València y por lo tanto a la ETSINF. Con lo que es la agencia más probable y con la que es posible llevar a cabo en un futuro el desarrollo y la implementación de la solución MEDEA.

El trabajo de investigación y recopilación bibliográfica cumple con éxito tanto el primer y segundo objetivo, como la primera parte del cuarto objetivo de este proyecto mencionados en el primer capítulo. Ya que sin el trabajo de investigación no sería posible el inicio del proceso de desarrollo de la propuesta.

Con la información disponible obtenida, se han obtenido los requisitos de la propuesta software MEDEA, adaptados a las imposiciones por necesidad de la

NASA debido al carácter, magnitud, y objetivos que definen el software propuesto, cumpliendo el tercer objetivo del trabajo. Sin embargo, la especificación de los requisitos sigue estando en una primera etapa y necesita que se amplíe, ya que solamente se han obtenido los requisitos del subsistema principal, pero faltan por especificar los requisitos del sistema al completo, así como el resto de subsistemas.

Es complicado establecer un impacto del trabajo realizado más concreto, ya que el último objetivo depende de resultados y acontecimientos futuros que todavía no han sucedido. Sin embargo, no hay duda de que el proceso de desarrollo de MEDEA es una realidad, un proceso largo que podría alargarse incluso más de una década, pero la puerta está abierta y la ventana de oportunidad está planteada. En cuanto a la base de conocimientos y requisitos necesarios para iniciar el proyecto de MEDEA, la información está disponible con fácil acceso y los procedimientos necesarios más relevantes han sido estudiados. Así se inicia el proceso de desarrollo del que podría ser el primer sistema de ayuda a la decisión médica en emergencias basado en inteligencia artificial, completamente autónomo y adaptado a las necesidades de misiones de exploración espacial.

El desarrollo de software espacial sin duda es una disciplina que plantea desafíos a gran escala. Desafíos donde todavía existen brechas por resolver, que seguirán existiendo y se descubrirán nuevas necesidades durante los próximos años.

Como conclusiones del trabajo de final de grado, cabe destacar que el trabajo de investigación y estudio de la metodología de trabajo de las agencias espaciales, así como los estándares de calidad definidos por estas, han sido realmente útiles para aprender a valorar y desarrollar las aptitudes del alumno en campos de la ingeniería del software como pueden ser la ingeniería de requisitos, así como la calidad del software y los procesos de mantenimiento y documentación, disciplinas que pueden quedar en un segundo plano, ocultas tras el diseño de proyectos y la implementación de aplicaciones que a priori pueden parecer más útiles o prácticas. Pero que sin el trabajo de investigación y documentación pre-

vio que requieren no pueden ser aptas para cumplir con los estándares de calidad más exigentes.

Es por ello que, a pesar de no presentar una implementación de la solución propuesta, se ha aprendido a enfocar el proceso de ingeniería del software desde un punto de vista más analítico, en contraposición con el punto de vista de desarrollador que ha sido más común durante los estudios teóricos del grado y prácticas tanto académicas como en empresariales.

CAPÍTULO 7

Relación del trabajo con los estudios cursados

El desarrollo del trabajo ha estado muy fuertemente relacionado a los conceptos, tanto teóricos como prácticos aprendidos a lo largo del grado de ingeniería informática. Concretamente en la rama de ingeniería del software.

Si bien el proyecto no incluye una implementación de la solución MEDEA debido al estado embrionario del proyecto, el estudio realizado y las prácticas empleadas están directamente relacionadas con la experiencia y el conocimiento obtenido en asignaturas relacionadas con la ingeniería de requisitos, específicamente análisis y especificación de requisitos, así como calidad de software, que aporta el conocimiento indispensable para entender la importancia de la definición de estándares y la metodología de trabajo exigidos en proyectos de desarrollo con un alcance y objetivos de tan alto nivel así como estar familiarizado con las métricas y estándares más utilizados de la industria.

De la misma manera, el trabajo está directamente relacionado con la asignatura optativa de bioinformática, dónde además de obtener los conocimientos básicos sobre sistemas de ayuda a la decisión médica, se realiza una propuesta teórica de un proyecto de investigación siguiendo la normativa de la unión europea. La metodología de trabajo y fuentes de información han sido de gran ayuda en el desarrollo de este proyecto.

También han sido de gran ayuda e importancia disponer de conocimientos previos en gestión de proyectos y proceso de software, así como en el resto de asignaturas cursadas en la rama de ingeniería del software que aportan la visión necesaria para planificar y dirigir un proyecto identificando la metodología adecuada, ya sea con un ciclo de vida tradicional o haciendo uso de metodologías ágiles. Estas habilidades técnicas son de vital importancia tanto en los estudios como en el futuro laboral.

Por último, como ya se hizo mención en el último párrafo del capítulo 3, los estudios a lo largo de todo el grado ofrecen la posibilidad de trabajar y establecer un primer contacto con tecnologías y herramientas de desarrollo aplicables desde las aulas del primer curso del grado hasta proyectos de desarrollo de software espacial. Como puede ser el lenguaje de modelado UML utilizado en varias asignaturas, hasta herramientas más específicas como el controlador de versiones subversion, utilizado en mantenimiento y evolución de software, así como el sistema de seguimiento de errores, Bugzilla, mencionado y utilizado junto a otras herramientas como Calysto y Selenium en la misma asignatura o Requisite PRO, del que se hace uso en las prácticas de análisis y especificación de requisitos. Aunque algunas de estas herramientas no sean la última solución tecnológica de la industria, siguen siendo muy útiles en el desarrollo de proyectos y sobretodo cumplen una función importante en el ámbito académico.

Bibliografía

- [1] Wooster, P., Braun, R., Ahn, J., Putnam, Z. (2007). Mission design options for human Mars missions.
MARS. doi: 10.1555/mars.2007.0002
- [2] Exploration Medical Capability (ExMC). 2021. HRR - Gap - Medical-701: We need to increase inflight medical capabilities and identify new capabilities that (a) maximize benefit and/or (b) reduce “costs” on human system/mission/vehicle resources.. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov.
Disponibile en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=716#>
- [3] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med03: We do not know how to apply personalized medicine effectively to reduce health risk for a selected crew. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=635>
- [4] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med04: We do not have a defined rehabilitation capability for injured or de-conditioned crew members during exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=635>
- [5] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med01: We do not have a concept of operations for medical care during exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=633>

-
- [6] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med03: We do not know how to apply personalized medicine effectively to reduce health risk for a selected crew.. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=635>
- [7] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med10: We do not have the capability to provide computed medical decision support during exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=642>
- [8] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med06: We do not know how to define medical planning or operational needs for ethical issues that may arise during exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=638>
- [9] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med11: We do not have the capability to minimize medical system resource utilization during exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=643>
- [10] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med13: We do not have the capability to implement medical resources that enhance operational innovation for medical needs. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=645>
- [11] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med02: We do not have the capability to provide a safe and effective pharmacy for exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=634>
- [12] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med08: We do not have quantified knowledge bases and modeling to estimate medical risk incurred on exploration missions. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov.

- Disponibile en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=640>
- [13] Exploration Medical Capability (ExMC), 2020 HRR - Gap - Med09: We do not have the capability to predict estimated medical risk posture during exploration missions based on current crew health and resources. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=641>
- [14] Exploration Medical Capability (ExMC). 2021. HRR - Gap - Medical-501: We need to develop integrated exploration medical system models for the Moon and Mars.. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=714>
- [15] NASA's Mars Exploration Program. 2021. NASA's Mars Exploration Program. [online] Disponible en: https://mars.nasa.gov/#red_planet/0
- [16] Lumpkins, S. and Amador, J., 2019. Human Research Program. IMPACT Concept of Operations. [online] Core.ac.uk. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/288485184.pdf>.
- [17] Descartin, K., Menger, R. and Watkins, S., 2015. Application of Advances in Telemedicine for Long-Duration Space Flight. [online] Humanresearchroadmap.nasa.gov. Disponible en: https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/closureDocumentation/1-Karina-S_TM-2015-218562.pdf
- [18] Krihak, M., Middour, C., Reyes, D., Nusbaum, D. and Antonsen, E., 2019. Communication Bandwidth Considerations for Exploration Medical Care During Space Missions. [online] Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200001702>

- [19] Hurst, V., 2015. Assisted Medical Procedures (AMP). [online]
Disponibile en:
<https://taskbook.nasaprs.com/tbp/tbpdf.cfm?id=9860>
- [20] Hexoskin. Astroskin product.
<https://www.hexoskin.com/blogs/news/astroskin> [Accedido en: 25 Mayo de 2021].
- [21] Esa.int. 2017. A patch of health. [online] Disponible en: http://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Space_for_health/A_patch_of_health
- [22] Ferri, P., Sáez, C., Félix-De Castro, A., Juan-Albarracín, J., Blanes-Selva, V., Sánchez-Cuesta, P. and García-Gómez, J., 2020. Deep ensemble multitask classification of emergency medical call incidents combining multimodal data improves emergency medical dispatch. *Artificial Intelligence in Medicine*, 117, p.102088.
- [23] Jobs.esa.int. 2021. Astronaut Application. [online]
Disponibile en:
<https://jobs.esa.int/job/Porz-Wahn-Astronaut-ES0C/662874901/> [Accedido en: 25 Mayo de 2021].
- [24] European Cooperation for Space Standarization (ECSS), Requirements & Standards Division, 2009. ECSS-E-ST-40C Software. Noordwijk, The Netherlands.
- [25] European Cooperation for Space Standarization (ECSS), Requirements & Standards Division, 2013. ECSS-E-HB-40A Software engineering handbook. Noordwijk, The Netherlands.
- [26] European Cooperation for Space Standarization (ECSS), Requirements & Standards Division, 2020. ECSS-E-HB-40-01A Agile software development handbook. Noordwijk, The Netherlands.
- [27] NASA SW Engineering Handbook Ver C, swehb.nasa.gov, 2021. [online]
Disponibile en: <https://swehb.nasa.gov/display/SWEHBVC>

- [28] NASA Software Safety Guidebook standards.nasa.gov. 2004. NASA-GB-8719.13 | NASA Technical Standards System (NTSS). [online] Disponible en: <https://standards.nasa.gov/standard/nasa/nasa-gb-871913>
- [29] Software Assurance and Software Safety Standard standards.nasa.gov. 2020. NASA-STD-8739.8 | NASA Technical Standards System (NTSS). [online] Disponible en: <https://standards.nasa.gov/standard/nasa/nasa-std-87398>
- [30] Software Formal Inspections Standard standards.nasa.gov. 2017. NASA-STD-8739.9 | NASA Technical Standards System (NTSS). [online] Disponible en: <https://standards.nasa.gov/standard/nasa/nasa-std-87399>
- [31] Juan Miguel García Gómez. Basic principles and concept design of a real-time clinical decision support system for autonomous medical care on missions to Mars based on adaptive deep learning. *eprint arXiv:2010.07029* [Online], Octubre, 2020.
Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2010.07029v1>
- [32] Ronald Kirk Kandt. Software Requirements Engineering: Practices and Techniques. 2003. [online]
Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=BEAE2C1B9147717B1BFFFFBF39E20C461?doi=10.1.1.470.2651&rep=rep1&type=pdf>

APÉNDICE A

Documento de especificación de requisitos MEDEA CDSS

Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica



etsinf

MEDEA

Software Requirements Specification

CDSS

Versión 1.1

Alumno: Miguel Alejandro Muñoz Gil

Tutor: Juan Miguel García Gómez

Valencia, 3 de junio de 2021



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Historial de versiones

Versión	Descripción de los cambios	Autor	Fecha
0.1	Primera especificación de requisitos funcionales y no funcionales.	Miguel Alejandro Muñoz Gil	03/02/21
0.2	Ampliación y revisión de requisitos, ampliación y corrección del glosario.	Miguel Alejandro Muñoz Gil	20/02/21
0.3	Cambios de revisión con Juan Miguel García Gómez hasta Casos de Uso	Miguel Alejandro Muñoz Gil	14/02/21
0.4	Primera iteración documento de especificación de requisitos	Miguel Alejandro Muñoz Gil	11/04/21
1.0	Primera versión a revisar	Miguel Alejandro Muñoz Gil	20/04/21
1.1	Cambios de revisión con Juan Miguel García Gómez	Miguel Alejandro Muñoz Gil	23/04/21

GLOSARIO

Actividad laboral peligrosa: Cualquier operación u otra actividad laboral que, sin la aplicación de las medidas de mitigación adecuadas, tiene un alto potencial de provocar la pérdida de vidas, lesiones graves al personal o al público, o daños a la propiedad debido al material o al equipo implicado o a la naturaleza de la propia actividad.

Artefacto: El elemento más bajo de uno o varios componentes de software.

Atención ambulatoria: Prestación sanitaria de servicios preventivos, curativos y rehabilitadores, sin ingreso, que dispensan los profesionales sanitarios y las organizaciones relacionadas a los beneficiarios que pueden desplazarse por sí mismos al establecimiento sanitario.

Atención transitoria: Que dura algún tiempo o pasa con el tiempo, que no es permanente.

CDSS: Clinical Decision Support System. Sistema de apoyo a la decisión clínica. Es un sistema de tecnología de la información sanitaria que está diseñado para proporcionar a los médicos y otros profesionales de la salud apoyo a la decisión clínica (CDS), es decir, asistencia en las tareas de toma de decisiones clínicas sobre pacientes individualizados.

Cobertura: El porcentaje del software que ha sido ejecutado (cubierto) por el conjunto de pruebas.

Constantes vitales: Conjunto de magnitudes clínicas medibles a través de la observación o con un aparato apropiado que proporcionan información básica sobre el estado general del organismo. Algunos ejemplos que se consideran constantes vitales la frecuencia del pulso, la tensión arterial, la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal.

Cuidados paliativos: Cuidados sanitarios específicos, activos e integrales prestados a los pacientes con una enfermedad avanzada, progresiva e incurable, y a sus familias con objeto de aliviar su sufrimiento y mejorar su calidad de vida. Se llevan a cabo tanto en atención primaria como en el hospital por un equipo interdisciplinar de profesionales sanitarios formado por médicos, enfermeras, auxiliares de enfermería, psicólogos y trabajadores sociales.

Decisor médico: Tripulante responsable y al cargo de realizar la asistencia médica.

Demorabilidad: Tiempo que puede retrasarse el tratamiento o la asistencia de un paciente.

Estándares de salud: Hace referencia a los procedimientos que seguiría un médico competente en el mismo campo en circunstancias similares.

ESA: Siglas de European Space Agency, organización que ofrece la puerta de acceso al espacio del continente europeo. Su misión consiste en configurar el desarrollo de la capacidad espacial europea y garantizar que la inversión en actividades espaciales siga dando beneficios a los ciudadanos de Europa.

FHIR: Fast Healthcare Interoperability Resources. Es un estándar que describe formatos y elementos de datos y una interfaz de programación de aplicaciones para el intercambio de registros médicos electrónicos. El estándar fue creado por la organización internacional de estándares de salud HL7. Health Level Seven.

Interoperabilidad: Capacidad de dos o más sistemas para relacionarse e intercambiar información.

Interoperabilidad semántica: Capacidad de intercambiar información entre sistemas heterogéneos de tal forma que el significado de la información intercambiada pueda ser comprendida intrínsecamente por los sistemas participantes y por lo tanto no requiere establecer previamente la interpretación de los mensajes.

ISS: ISS son las siglas de International Space Station. La Estación Espacial Internacional es una estación espacial modular situada en la órbita baja de la Tierra. Es un proyecto de colaboración multinacional en el que participan cinco agencias espaciales: NASA, Roscosmos, JAXA, ESA y CSA.

MEDEA: Sistema de ayuda a la decisión para emergencias médicas en misiones de exploración espacial.

NASA: NASA son las siglas de National Aeronautics and Space Administration. La NASA se puso en marcha el 1 de octubre de 1958, como parte del gobierno de los Estados Unidos. La NASA se encarga de la ciencia y la tecnología estadounidenses que tienen que ver con los aviones o el espacio.

Peligro: Un estado o un conjunto de condiciones, internas o externas a un sistema que tiene el potencial de causar daño.

Precisión: La similitud entre un valor estimado de un parámetro o variable (o un conjunto de parámetros o variables) de un modelo, y el valor verdadero o el valor verdadero asumido.

Protocolo: Conjunto de reglas que especifican las órdenes y el procedimiento a seguir bajo una condición determinada.

Red neuronal: Las redes neuronales son un medio de aprendizaje automático, en el que un ordenador aprende a realizar alguna tarea analizando ejemplos de entrenamiento. Normalmente, los ejemplos han sido etiquetados a mano de antemano.

Reglas: Conjunto de restricciones que limitan los valores admitidos, condiciones y relaciones.

Requisito: Un requisito es una capacidad, función, propiedad, característica o comportamiento necesario, cuantificable y verificable que un producto debe mostrar para resolver un problema del mundo real, o una restricción que debe satisfacer o ser satisfecha durante el desarrollo de un producto.

Requisito funcional: Los requisitos funcionales definen las capacidades funcionales, o el comportamiento, de un producto.

Requisito no funcional: Los requisitos no funcionales identifican las restricciones que debe satisfacer un producto, que son cualidades obligatorias del mismo. Estos suelen identificar las necesidades de CPU, los datos, la interfaz, la memoria, el rendimiento, el tamaño y el tiempo de respuesta.

Riesgo vital: Característica de una situación médica que indica que el paciente puede morir debido a esta situación.

Safety-Critical Software: Para la NASA, el software se clasifica como crítico para la seguridad si cumple al menos uno de los siguientes criterios: (1) Causa o contribuye a una condición/evento peligroso del sistema, (2) Proporciona control o mitigación de una condición/evento peligroso del sistema, (3) Controla funciones críticas para la seguridad, (4) Mitiga los daños si se produce una condición/evento peligroso, (5) detecta, informa y toma medidas correctivas si el sistema alcanza un estado potencialmente peligroso.

SMA: Office of Safety and Mission Assurance (OSMA). La Oficina de Seguridad y Garantía de la Misión (OSMA) garantiza la seguridad y mejora el éxito de todas las actividades de la NASA mediante el desarrollo, la aplicación y la supervisión de las políticas y procedimientos de seguridad, fiabilidad, mantenimiento y garantía de calidad de toda la agencia.

Sistema: Se considera el sistema como el módulo CDSS de MEDEA, ya que se considera el módulo principal y por lo tanto es el objetivo de las especificaciones de este documento.

Situación de emergencia: Accidente, suceso imprevisto, desastre o que requieren remedio o acción inmediatos.

Soporte vital: Nivel de atención médica indicada en pacientes con parada cardiorrespiratoria por enfermedades o lesiones que amenacen su vida y aplicables hasta que el paciente reciba atención médica completa. Se distinguen el soporte vital básico (SBV) y el soporte vital avanzado (SVA). Las maniobras iniciales del SVB son: liberación de las vías aéreas, ventilación boca a boca y masaje cardíaco externo; pueden llevarse a cabo por personal médico o no médico capacitado, y se utiliza generalmente en situaciones de emergencia prehospitalaria. El SVA incluye masaje cardíaco, desfibrilación cardíaca con desfibrilador externo en caso de fibrilación ventricular, ventilación orotraqueal y canalización de una vía venosa para la administración de fármacos y sustancias electrolíticas para mantener el equilibrio ácido-básico. Debe llevarse a cabo por personal sanitario especializado en medio hospitalario o en medios de transporte medicalizados.

Suite: Conjunto de programas que se comercializan en un solo paquete.

Tablet: Dispositivo electrónico portátil con pantalla táctil y múltiples prestaciones, pero capacidad de computación limitada.

Tareas de regresión: Las tareas de regresión forman parte del campo de la estadística multivariante o del aprendizaje automático supervisado. El objetivo principal de la regresión es establecer un método para la relación entre un cierto número de características y una variable objetivo con un rango de valores continuos. Algunas de las técnicas de regresión más frecuentes son la regresión lineal, logística, o redes neuronales.

Telemedicina: Según la OMS la telemedicina es la "prestación de servicios sanitarios en la que pacientes y proveedores están separados por la distancia". La telemedicina utiliza las TIC para el intercambio de información para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades y lesiones, la investigación y la evaluación, y para la formación continua de los profesionales sanitarios.

Trazabilidad bidireccional: Asociación entre dos o más entidades lógicas que son discernibles en cualquier dirección (hacia y desde una entidad).

PARTICIPANTES

Los participantes en el proyecto, rol e información de contacto

Participante	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Organización	UPV - ETSINF
Rol	Alumno – Analista de requisitos
email	mimuogi@inf.upv.es

Participante	Juan Miguel García Gómez
Organización	UPV - ETSINF
Rol	Tutor – Analista de diseño conceptual
email	juanmig@ibime.upv.es

REQUISITOS FUNCIONALES

Se definen las siguientes funciones que ha de realizar el sistema:

FRQ-0001	Clasificación de situaciones de peligro vital
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema implementará una tarea de clasificación de las emergencias médicas en situaciones donde la vida del tripulante está o puede estar en situación de peligro vital o no.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0002	Estimación de la demorabilidad.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ofrece una estimación del tiempo que puede posponerse el tratamiento de la emergencia médica.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0003	Clasificación de situaciones con dilemas médicos
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema realiza una tarea de clasificación de las emergencias médicas en casos donde se produzca un dilema ético en el tratamiento del tripulante en contraposición con las prioridades y objetivos de la misión o no.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0004	Estimación de la duración del tratamiento
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ofrece una estimación del tiempo que se recomienda estar bajo tratamiento al tripulante que se encuentra afectado por la emergencia médica.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0005	Diagnóstico
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de ofrecer una lista de los diagnósticos compatibles más probables para la situación de emergencia médica.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0006	Clasificación de la intervención médica
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	FRQ-001, FRQ-002, FRQ-003, FRQ-004, FRQ-005.
Descripción	El sistema ha de proponer un tipo de intervención médica requerida a partir de la información del diagnóstico del paciente.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0007	Optimización del plan de actuación
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	Subsistema de reglas, FRQ-0006, FRQ-008.
Descripción	El sistema ha de optimizar el procedimiento recomendado en base al diagnóstico y tratamiento, el riesgo que estos conllevan, el objetivo de la misión, los recursos disponibles y la información disponible sobre el protocolo tanto ético como profesional.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0008	Comunicación con los dispositivos de abordó
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica
Dependencias	Subsistema de interoperabilidad
Descripción	El sistema ha de tener acceso a la información de los equipos médicos de la misión, así como los dispositivos de monitorización del estado de los tripulantes a través del módulo de interoperabilidad
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0009	Alarma e inicio de funciones de emergencia
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	El sistema lanza una alarma y sigue el protocolo de emergencia en caso de que se detecte una situación donde la vida de algún tripulante se encuentre en peligro.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

FRQ-0010	Conexión con control de misión
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Sistema de ayuda a la decisión médica.
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de contactar con el control de misión en caso de que la emergencia a tratar haya sido clasificada de riesgo vital mientras la demorabilidad de su atención lo permita.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

REQUISITOS NO FUNCIONALES

En este apartado se describen las características técnicas que debe cumplir el sistema para ser implementado correctamente y cumplir sus funcionalidades:

NFR-0001	Verificación y validación del producto.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	Se han de utilizar herramientas de testeo automático que proporcionen 100% de cobertura para los módulos críticos.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	El sistema ha de pasar la validación y verificación del SMA, completando con éxito los test que esta entidad diseñe.

NFR-0002	Rendimiento de entrada/salida
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	<p>La información de entrada se recibe en formato FHIR, mientras que se ofrecen 5 tipos de información de salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Life-threatening situation (Boolean) · Delayability (Positive number) · Ethical dilemma (Boolean) · Treatment duration (Positive number) · Recommendation task (Ordered list of diagnostics)
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Resuelto
Comentarios	El sistema ha de definir con exactitud el tipo de información de entrada y de salida.

NFR-0003	Criterio de corrección
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	<p>Los 5 tipos de información de salida están sujetos a pruebas de criterios de corrección:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Life-threatening situation (100% accuracy) · Delayability (round-off) · Ethical dilemma (100% accuracy) · Treatment duration (round-off)

	· Recommendation task (100% accuracy)
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Resuelto
Comentarios	El sistema ha de ofrecer información de salida correcta, concretamente, asegurando un diagnóstico correcto con una precisión del 100%. Además de asegurar medidas para los otros 4 tipos de datos de salida.

NFR-0004	Tiempos de respuesta
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	El tiempo de respuesta de cualquier acción del sistema, con especial importancia la función de diagnóstico y tratamiento debe ser menor a los 2 segundos.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

NFR-0005	Disponibilidad del sistema.
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	El sistema debe estar siempre disponible y con la información médica más actualizada posible durante la misión.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

NFR-0006	Fiabilidad del sistema
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	
Descripción	El sistema debe proporcionar en todo momento una respuesta correcta y que proporcione un comportamiento seguro que evite situaciones de peligro.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

NFR-0007	Dependencia del decisor
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	Subsistema de ayuda a la decisión medica
Dependencias	
Descripción	El sistema ha de seguir un protocolo distinto y dar un nivel de detalle en las instrucciones de la intervención cada vez más preciso en función de quién está actuando frente a la emergencia médica. Control de misión en tierra, el médico a bordo u otro tripulante sin experiencia médica profesional.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	

NFR-0008	Trazabilidad bidireccional
Versión	1.0
Autores	Miguel Alejandro Muñoz Gil
Fuentes	NASA Software Engineering Handbook
Dependencias	Sistema MEDEA
Descripción	Durante el desarrollo del sistema, se debe mantener la trazabilidad entre los requisitos definidos y los artefactos resultantes, así como a la inversa.
Importancia	Alta
Urgencia	Alta
Estado	Especificación
Comentarios	