

MÁSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de I+D en el marco de la Comisión Europea y propuesta de técnicas para la realización de actividades

Autor

Jorge Bueno Gómez

Tutor del Trabajo Fin de Máster

Alberto Sols Rodríguez-Candela

CURSO 2020-2021

Resumen ejecutivo

Las actividades de investigación de los programas marco de la Comisión Europea cubren diferentes áreas de interés para la sociedad europea, como la energía, el transporte o la seguridad y el medioambiente. Todas las áreas buscan investigar conceptos, procedimientos o sistemas que tengan un impacto relevante en la sociedad, así como mejorar el tejido industrial y la colaboración internacional.

Durante la participación y el análisis de múltiples proyectos, sobre todo centrados en las áreas del transporte y la seguridad, se ha visto que, tanto en la elaboración de propuestas de investigación, como en la ejecución de las mismas, los proyectos experimentan dificultades relacionadas con la identificación del problema a investigar (derivado del alcance propuesto por la Comisión Europea) y una ejecución inadecuada, lo que lleva a ineficacias en las actividades que se realizan para conseguir el objetivo final de la investigación.

Para solventar esta situación se presentan retos importantes como la identificación adecuada del problema a resolver durante la fase de elaboración de propuestas, cómo poder abordar ese problema correctamente y conseguir la financiación necesaria para ejecutar el proyecto, así como evitar problemas que puedan llevar a la Comisión Europea a cancelar los proyectos por una planificación inadecuada.

La ingeniería de sistemas permite abordar desde un punto de vista formal y holístico todo el ciclo de vida de un sistema, desde la identificación de una necesidad al desarrollo del sistema que responde a esa necesidad, su operación y la retirada del mismo. Por ello, es legítimo pensar que la aplicación de la ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos puede solventar o reducir el impacto de los problemas experimentados en este tipo de proyectos.

El objetivo de este trabajo de fin de máster es adaptar el marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos, cofinanciados por la Comisión Europea, en el ámbito de los programas marco.

Este objetivo no incluye otras actividades de I+D ya sean a nivel industrial o académico de manera aislada, salvo que estas estén inscritas en el ámbito de un proyecto de I+D europeo.

El primer paso ha sido caracterizar los proyectos de I+D europeos para, al considerar las actividades del marco de ingeniería de sistemas, entender qué actividades aplican y cómo se ejecutan, tanto en la fase de elaboración de la propuesta como en la de ejecución del proyecto.

Se han considerado tres tipos de proyectos: proyectos conceptuales, en los que solo se elaboran nuevos conceptos de operación; proyectos de definición de arquitectura, en los que se define una arquitectura funcional y se valida mediante simulaciones; y proyectos de desarrollo de prototipos, que se validan en un entorno real.

Los resultados de la adaptación del marco de ingeniería de sistemas a estos tres tipos de proyectos, teniendo en cuenta las características propias de los programas marco, muestran que en la mayoría de los casos no se ejecutan procesos formales para la identificación del problema, ya que esto se realiza mediante el uso del propio conocimiento interno de las organizaciones que conforman el consorcio. Dentro de la adaptación propuesta se plantea la interacción continua, durante toda la vida del proyecto, con los *stakeholders* para obtener información acerca de sus necesidades y tener todos los puntos de vista posibles del problema, de forma que este pueda ser identificado correctamente. Para identificar el problema y la validación por parte de los *stakeholders* se recurre al uso de entrevistas y sistemigramas que contribuyan a tener una visión común del problema.

Ya en el ámbito de la ejecución del proyecto, el mero hecho de no identificar necesidades conlleva que no se deriven requisitos de *stakeholder* y, por tanto, requisitos de sistema en el momento adecuado, ya que, generalmente, se derivan requisitos a posteriori y en ocasiones de forma poco clara para los interesados en el proyecto. Para abordar este problema se propone, no solo la ejecución de estos procesos así como los de ingeniería de requisitos y gestión de los mismos, sino que también se pone especial énfasis en la priorización de requisitos. La priorización evita que se generen problemas posteriores que puedan llevar a una especificación excesiva del sistema, olvidando que el objetivo es siempre llegar a la validación del sistema de I+D y no al desarrollo de un producto industrial. Esta especificación excesiva puede generar que el sistema no se valide correctamente y, debido a este exceso de requisitos, se desarrolle un sistema que consuma demasiado tiempo y esfuerzo. Esto puede dificultar la justificación ante la Comisión Europea y que, debido a ellos, esta decida cancelar el proyecto así como la retirada total o parcial de financiación.

También se aborda la validación de los tres tipos de proyectos considerados, ya que no es lo mismo validar un concepto de operaciones, que se puede realizar interactuando con los *stakeholders* mediante el uso de sistemigramas o usando técnicas de *gaming*, que validar un prototipo en un entorno real, en el que se requiere tener en cuenta el entorno e infraestructuras adicionales. Todo esto se trata mediante la elaboración de un plan de validación adecuado sin olvidar que, en el caso de la validación de los prototipos, estos tienen que ser previamente integrados y verificados correctamente, es decir, es necesario elaborar también un plan de integración y verificación, procesos que en los proyectos de I+D europeos no se tienen en cuenta como una parte intrínseca de los mismos.

Relacionado con la validación, tanto de arquitecturas funcionales como de prototipos, se trata un aspecto que no se ha considerado en los proyectos de I+D europeos: el apoyo logístico integrado. Las validaciones, sobre todo aquellas que se realizan en entornos reales, se extienden en el tiempo. Por ello es necesario tener en cuenta la fiabilidad adecuada para estas situaciones, así como el mantenimiento del sistema, la disponibilidad de repuestos y el almacenamiento y transporte del prototipo y sus repuestos.

Adaptando el marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos podremos conseguir que los resultados tengan una mayor probabilidad de ser exitosos y con ello contribuir a la mejora del tejido industrial europeo y las condiciones de vida de los ciudadanos europeos, que es el objetivo final de los programas Marco de la Comisión Europea.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER	8
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
4. DESARROLLO DEL PROYECTO – ADAPTACIÓN DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS A PROYECTOS DE I+D EUROPEOS.....	12
4.1 <i>CARACTERIZACIÓN DE PROYECTOS DE I+D EUROPEOS.....</i>	12
4.1.1 <i>Fase de propuesta.....</i>	12
4.1.2 <i>Fase de ejecución de proyecto</i>	14
4.2 <i>TIPOS DE PROYECTOS DE I+D EUROPEOS.....</i>	15
4.3 <i>APLICACIÓN ACTUAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS EN LOS PROYECTOS DE I+D EUROPEOS</i>	15
4.4 <i>ADAPTACIÓN DE PROCESOS DE INGENIERÍA DE SISTEMAS A LOS PROYECTOS DE I+D EUROPEOS.....</i>	20
4.4.1 <i>Fase de elaboración de propuesta.</i>	20
4.4.2 <i>Fase de ejecución de proyecto</i>	23
4.4.2.1 <i>Proyectos conceptuales</i>	23
4.4.2.2 <i>Proyectos de definición de arquitecturas.....</i>	24
4.4.2.3 <i>Proyectos de desarrollo de prototipo.....</i>	30
4.4.2.4 <i>Plan de ingeniería de sistemas.....</i>	35
5. CONCLUSIONES	37
6. LECCIONES APRENDIDAS	39
7. ANEXO 1 BIBLIOGRAFÍA.....	41

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE I+D EUROPEAS.....	13
TABLA 2 EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN DE TÓPICO	14
TABLA 3 MODELO DE FINANCIACIÓN.....	14
TABLA 4 APLICACIÓN ACTUAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS A LOS PROYECTOS DE I+D EUROPEOS.....	20

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 MODELO DE DIAMANTE NTCP PARA PROYECTOS DE I+D EUROPEOS (ADAPTADO DE SHENJAR Y DVIR, 2017).....	6
FIGURA 2 MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS. ADAPTADO DE (SOLS, 2014).....	8
FIGURA 3 MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS SIMPLIFICADO Y ORIENTADO A LOS PROYECTOS DE I+D EUROPEO	9
FIGURA 5 ENFOQUE DE CADA PROCESO DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS.	9
FIGURA 5 EJEMPLO DE DIAGRAMA CAUSAR QUE MUESTRA LA COMPLEJIDAD EN LA ELABORACIÓN (FUENTE: TRABAJO DEL GRUPO 1-MÓDULO 1 DEL MÁSTER DE INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADA DE LA UNIVERSIDAD EUROPEA. REPRODUCIDO CON EL PERMISO DE LUZ GIL, YON JAUREGUI, DAVID SÁNCHEZ Y JORGE BUENO).....	21
FIGURA 6 EJEMPLO DE SISTEMIGRAMA UTILIZADO PARA LA VALIDACIÓN DE NECESIDADES Y PROBLEMA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA PARA UN WORKSHOP DE VALIDACIÓN DE NECESIDADES EN EL PROYECTO USEPE EN MARZO DE 2021).....	22
FIGURA 7 ADAPTACIÓN DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS PARA LA ELABORACIÓN DE PROPUESTAS.....	23
FIGURA 8 ADAPTACIÓN DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS CONCEPTUALES	24
FIGURA 9 ADAPTACIÓN DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE DEFINICIÓN DE ARQUITECTURAS.....	30
FIGURA 10 ADAPTACIÓN DEL MARCO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE PROTOTIPOS.....	35

1. Introducción

La ingeniería de sistemas cubre todos los aspectos del ciclo de vida de un sistema, desde la identificación de una necesidad u oportunidad a la retirada del propio sistema.

En los proyectos de investigación y desarrollo (I+D) financiados por la Comisión Europea en el ámbito de los Programas Marco (en adelante, proyectos de I+D europeos), se ha detectado que muchos proyectos son desestimados, tras haber presentado una propuesta a la Comisión Europea, por no abordar correctamente el problema pretendido en la convocatoria. Por otro lado, aquellos proyectos que logran ser financiados, en ocasiones no obtienen resultados adecuados por múltiples razones: desde una mala planificación y gestión de recursos a una inadecuada aproximación a la ejecución de los trabajos.

Tanto la desestimación de las propuestas presentadas, como una ejecución inadecuada tienen dos efectos en las organizaciones que lo realizan:

1. Uno de los objetivos de los programas marco de la Comisión Europea es el fortalecimiento del tejido industrial europeo. Si las organizaciones no investigan, por no conseguir propuestas, ese tejido se debilita y con él las organizaciones.
2. Si la ejecución es inadecuada, esta provoca una falta de confianza en las organizaciones que conlleva una pérdida de interés en los Programas Marco y con ello se pierde una fuente de financiación y, con ello de nuevo, se debilita del tejido industrial europeo.

Estos efectos se pueden paliar, en cierta manera, realizando una aproximación formal de ingeniería de sistemas, tanto a la elaboración de propuestas como a la ejecución de los proyectos.

En el caso de los proyectos de I+D europeos el alcance se puede caracterizar mediante un diagrama NTCP (*Novelty, Technology, Complexity and Pace*) (Shenhar y Dvir, 2007). Aplicando esto se observa que se basan en una complejidad cercana a sistema, un ritmo de desarrollo muy rápido, un nivel de novedad a nivel de plataforma o incluso disruptivo y un nivel de tecnología entre medio y alto. Todo esto se deriva de la propia naturaleza de los proyectos y sus características, que se verán más adelante.

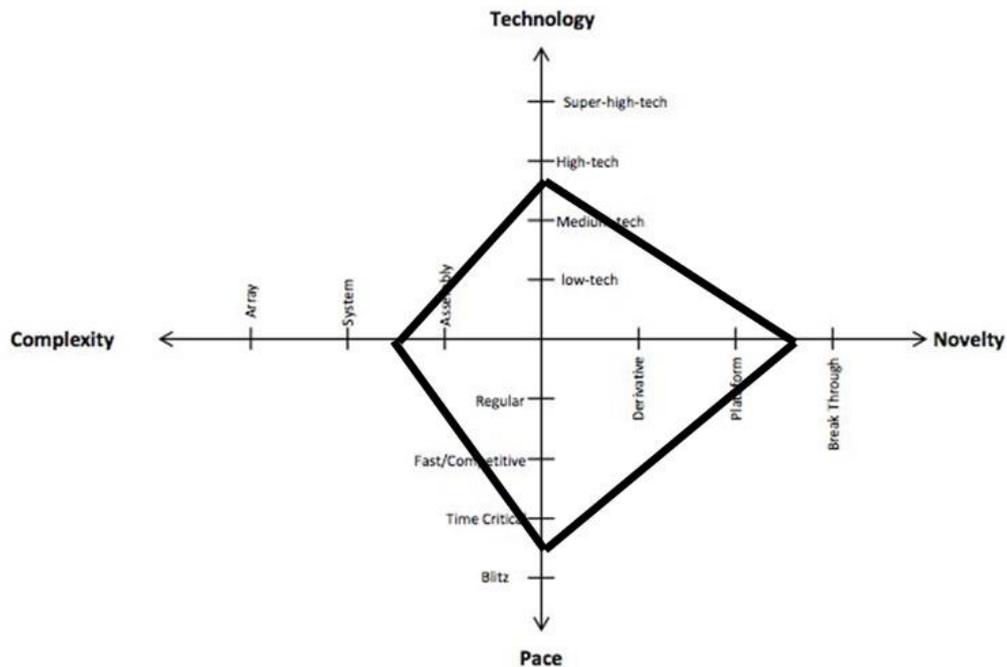


Figura 1 Modelo de diamante NTCP para proyectos de I+D europeos (Adaptado de Shenjar y Dvir, 2017)

Si uno de los problemas, por el cual se desestiman las propuestas es por no identificar correctamente el problema, la ingeniería de sistemas permite abordar de una forma sistemática y formal la identificación y definición del problema.

Teniendo en cuenta que otro de los problemas es una inadecuada ejecución del proyecto, la ingeniería de sistemas aborda el ciclo de vida completo de los sistemas y por ende, tiene una visión holística sobre el mismo y los procesos que llevan a buen puerto el sistema desde su concepción hasta su retirada.

Los proyectos de I+D europeos parten de la identificación de una línea de investigación propuesta por la Comisión Europea (denominado tópico en la terminología de los Programas Marco de la Comisión Europea) y, a partir de ahí, se elabora una propuesta cuyo objetivo, en caso de resultar financiada, es desarrollar y validar un sistema que dé respuesta al problema o necesidad percibido por los solicitantes del proyecto en esa línea de investigación.

El I+D, en términos generales y, sobre todo, en el ámbito industrial, se concibe como la búsqueda de una solución a un determinado problema. La identificación de ese problema es constante a lo largo de la vida del proyecto de investigación y se puede tratar desde el punto de vista de un modelo de ciclo de vida en espiral en el que, según se avanza en la investigación, el problema evoluciona y con él los requisitos.

Sin embargo, en los proyectos de I+D europeos, esta aproximación no es válida. El problema ha de quedar identificado durante la fase de elaboración de propuesta, cuya duración varía entre tres y cuatro meses. En caso de que el proyecto resulte financiado, se procede a dar una respuesta a ese problema durante la fase de ejecución del proyecto.

Este hecho pone de manifiesto 2 problemas:

1. Dada la vaguedad de la definición del tópico de investigación, para conseguir la financiación del proyecto, la identificación del problema ha de quedar definida con la mayor precisión posible durante la fase de elaboración de oferta.
2. Una vez el proyecto está en ejecución, es posible que el problema inicialmente identificado, tras haber llevado a cabo la investigación, sea total o parcialmente irresoluble (ya sea por una planificación inadecuada, por una incorrecta ejecución de las actividades o por la necesidad de incorporar elementos que se encuentran en un estado de madurez tecnológica distinta).

Ambos problemas son críticos y pueden abordarse mediante la aplicación de la ingeniería de sistemas y así minimizar los riesgos de una identificación del problema inadecuada o una investigación cuyo final sea un fracaso.

En el primer caso, la ingeniería de sistemas nos permite abordar la identificación del problema de una manera sistemática considerando a los *stakeholders* interesados en encontrar una solución al problema percibido en el tópico de investigación, teniendo en cuenta todos los puntos de vista posibles. En el segundo caso, nos permite identificar correctamente las actividades y métodos que nos lleven a una solución, y su posterior validación, del problema planteado de manera que la investigación sea satisfactoria.

No obstante, al tratarse de un proyecto de I+D, el hecho de que la investigación sea satisfactoria no significa que la solución dé una respuesta completa al problema y pueda pasar a fases posteriores, como su producción industrial o despliegue operacional. En estos casos, es decisión de la Comisión Europea si se continúa investigando en esa línea mediante la financiación de proyectos adicionales, se abandona la línea de investigación o se transfiere a una investigación industrial, de manera que pueda convertirse en un producto final que se pueda poner a disposición del mercado.

2. Objetivo y alcance del Trabajo de Fin de Master

El objetivo de este trabajo de fin de máster es adaptar el marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos centrándose en las fases de elaboración de propuesta y ejecución del proyecto.

No se trata solo de determinar qué actividades, propias del marco de ingeniería de sistemas, son aplicables, sino también de indagar dentro de ellas y determinar qué métodos o técnicas son las más apropiadas para llevar a cabo todas y cada una de las actividades del marco de ingeniería de sistemas aplicables a los proyectos de I+D europeos.

Para llevar a cabo este objetivo se considera como punto de inicio el marco de ingeniería de sistemas propuesto en (Sols, 2014). Dicho marco se ilustra en la Figura 2.

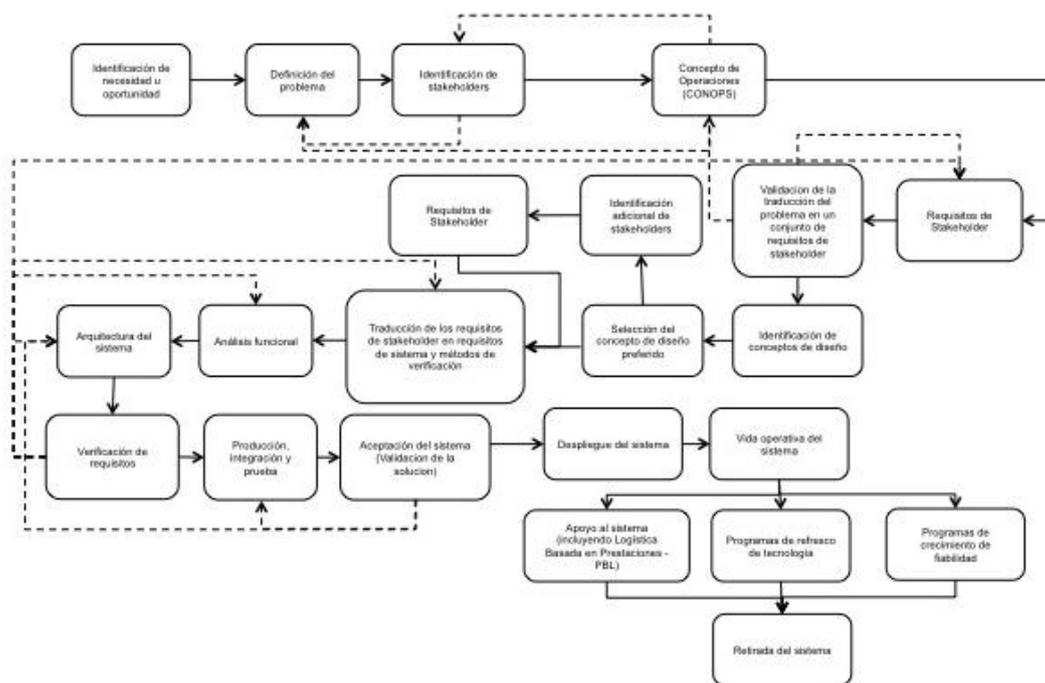


Figura 2 Marco de ingeniería de sistemas. Adaptado de (Sols, 2014)

A través de lo explicado anteriormente, el alcance de este trabajo de fin de máster se centrará en aquellos procesos y actividades del marco de ingeniería de sistemas que están comprendidos entre la identificación de la necesidad u oportunidad y la validación del sistema.

Aquí ya podemos detectar que el marco de ingeniería de sistemas de la Figura 3 no es del todo aplicable a los proyectos de I+D europeos debido a que no se produce una aceptación del sistema, sino la realización de una validación y la entrega de los resultados de esa validación a la Comisión Europea.

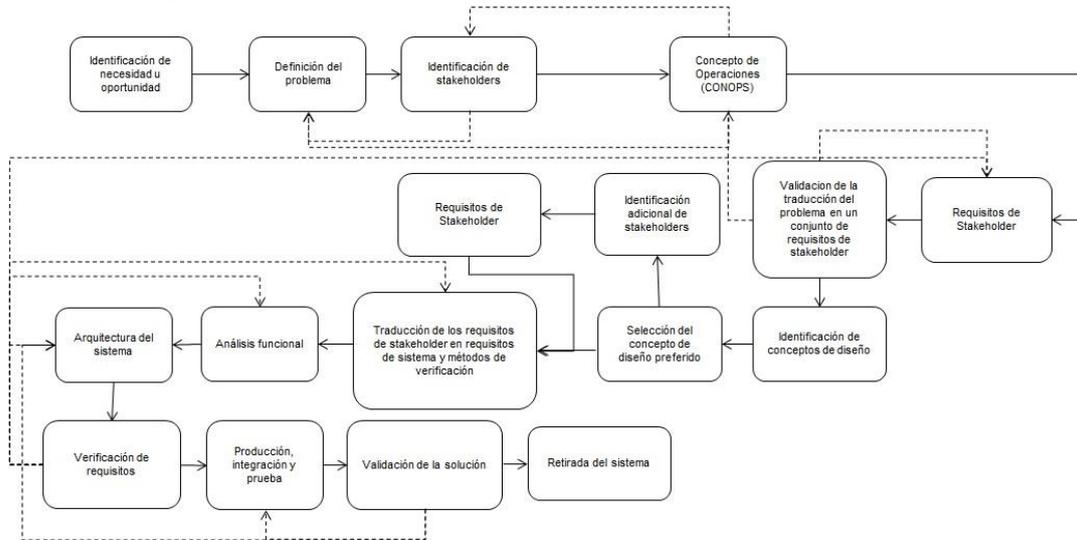


Figura 3 Marco de ingeniería de sistemas simplificado y orientado a los proyectos de I+D europeo

Como se puede ver en la figura anterior, se han eliminado los procesos de despliegue de sistema y vida operativa del mismo, pero se ha mantenido el proceso de retirada del sistema. Mantener este proceso es necesario ya que, una vez terminada la validación, el sistema o los elementos que lo componen tienen que ser retirados por los respectivos miembros del consorcio y hacer un uso adecuado de ellos.

Nos centraremos, por tanto, en analizar la aplicabilidad de cada proceso a los proyectos de I+D europeos y realizar propuestas de técnicas y métodos aplicados en ingeniería de sistemas para determinar cómo abordarlos y ejecutarlos.

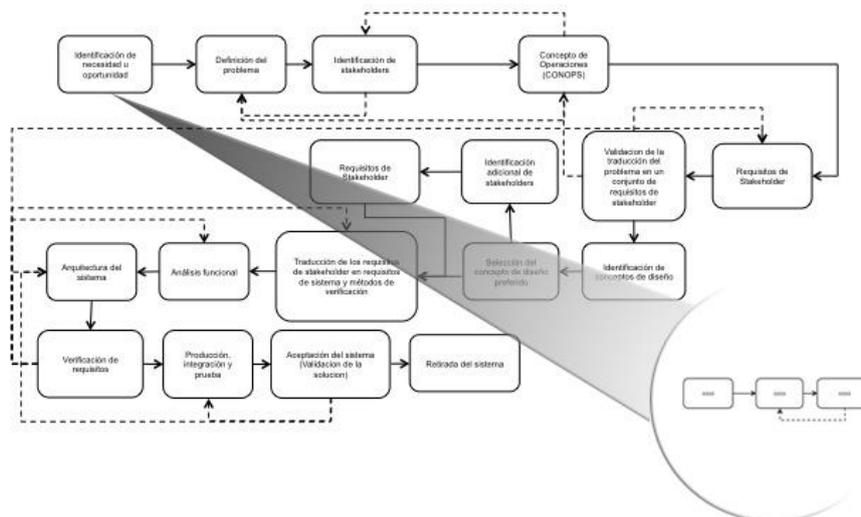


Figura 4 Enfoque de cada proceso del marco de ingeniería de sistemas.

El resultado final de este trabajo de fin de máster será la adaptación del marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D financiados por la Comisión Europea, junto con la descripción de las técnicas aplicables en dichos proyectos y los pasos a seguir en las fases de elaboración de propuesta y de ejecución del proyecto.

3. Revisión de literatura

El *International Council on Systems Engineering* (INCOSE) se encarga de definir la disciplina y práctica de la ingeniería de sistemas y proporciona una referencia autorizada en términos de contenido y práctica de la disciplina. Entre los procesos que incluye propone la adaptación de los mismos de forma que cualquier organización involucrada en actividades de ingeniería de sistemas puede y debe *“definir el proceso para adaptar los procesos estándar de ingeniería de sistemas para su uso en proyectos y para realizar mejoras en los procesos de ingeniería de sistemas aplicados a los proyectos adaptados”*¹ (INCOSE, 2015).

Realizar adaptaciones al marco y procesos de ingeniería de sistemas no es una novedad. (Shenhar y Bonen, 1997) propusieron una nueva taxonomía de sistemas para elaborar un marco de ingeniería de sistemas adaptativo. Por otro lado, no solo se han elaborado marcos propios de ingeniería de sistemas, sino que estos se han adaptado a diversas áreas de conocimiento como la construcción de parques eco-industriales (Haskins, 2006) o el desarrollo de sistemas de seguridad ciber física y resiliencia frente a ataques (DiMase, Collier, Heffner y Linkov, 2015).

Por ello, no es descabellado pensar que se pueda adaptar o desarrollar un marco de ingeniería de sistemas a la investigación y el desarrollo (I+D).

La I+D se realiza tanto a nivel empresarial o industrial como académico o en centros dedicados exclusivamente a esta actividad. La aplicación de la ingeniería de sistemas en los proyectos de I+D puede mejorar la consecución de los objetivos, así como la gestión de los proyectos (Hamid, Kashif y Naqvi, 2013).

Algunas organizaciones no solo aplican la ingeniería de sistemas en sus actividades, sino que han desarrollado sus propios marcos de ingeniería de sistemas para facilitar su labor, como la propia National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2020) o el Stevens Institute of Technology (Sols, 2017), y se han llegado a desarrollar tanto marcos genéricos para las actividades de I+D (Lombardo, Millard y Sturges, 2015) como específicos para una determinada organización (NASA, 2018).

No cabe duda de que cualquier organización que quiera alcanzar una mejor posición en el mercado frente a sus competidores o tenga el objetivo de mejorar el entorno que nos rodea debe invertir en I+D (European Commission, 2014).

En Europa, el programa marco de la Comisión Europea (Reillon, 2017) facilita las actividades de I+D mediante la cofinanciación de proyectos convocados, de manera regular, en forma de programas en múltiples áreas (European Commission. Funding and Tenders Portal). Estas áreas no son fijas, sino que van variando e incluyéndose nuevas a medida que la sociedad europea tiene necesidades adicionales (Edler y James, 2014).

Sin embargo, a pesar del impacto positivo que la aplicación de ingeniería de sistemas tiene en los proyectos de I+D, como indica (Hamid, Kashif y Naqvi, 2013), esta no se aplica de forma

¹ Traducción propia.

formal a los proyectos de I+D cofinanciados por la Comisión Europea. En ocasiones, en estos programas, la ingeniería de sistemas se considera, literalmente (SESAR, 2019), como la *“forma interdisciplinar de documentar, analizar, priorizar y acordar la gestión de los datos utilizados en el programa²”*.

Se han realizado algunos intentos a muy alto nivel para aplicar de forma práctica el formalismo de la ingeniería de sistemas a proyectos de I+D europeos, a partir de (Sols, 2014), en (Bueno y Arntzen, 2019) y actualmente se está utilizando en (USEPE, 2020), pero debido a la falta de un estudio previo más detallado, los resultados, aunque adecuados, han sufrido de problemas derivados de la falta de un análisis más profundo de la aplicación de la ingeniería de sistemas a los proyectos europeos de I+D.

² Traducción propia

4. Desarrollo del proyecto – Adaptación del marco de ingeniería de sistemas a proyectos de I+D europeos

4.1 Caracterización de proyectos de I+D europeos

Los proyectos de I+D europeos se caracterizan por tener dos fases principales en su ciclo de vida.

La primera fase corresponde a la preparación de la propuesta en la que se define el problema a investigar y la aproximación que se va a considerar para su investigación. Para ello se identifican los medios humanos y materiales, así como el presupuesto necesario para llevar la investigación a cabo. Esta fase comienza con la publicación por parte de la Comisión Europea de un tópico (descripción de la línea a investigar), que está asociado a una convocatoria de un programa de trabajo, y termina con la entrega de la propuesta. Tiene una duración de entre 3 y 4 meses, en función de la convocatoria.

La segunda fase, si el proyecto ha sido concedido, es la ejecución del proyecto. Durante esta fase se realizan las actividades descritas en la propuesta. Comienza con la firma del contrato (*Grant Agreement*) entre el consorcio y la Comisión Europea y termina con la entrega de los resultados. La duración varía entre uno y cuatro años como máximo y viene fijada por la convocatoria.

En los siguientes apartados vamos a establecer las principales características de estas dos fases.

4.1.1 Fase de propuesta

Las convocatorias de los programas de investigación y las descripciones de los tópicos establecen las características que tienen que cumplir estos proyectos. Estas características se explican a continuación:

1. Equipo del proyecto: Se trata de consorcios internacionales. Las reglas de los programas indican que tienen que estar formados por, al menos, tres socios de tres estados miembros (o estados miembros asociados a la Unión Europea). Esto tiene implicaciones desde el punto de vista de las diferencias culturales a la hora de realizar los trabajos.
2. Elaboración de propuestas: Una vez publicado el tópico se realiza un proceso de búsqueda de socios para formar un consorcio y elaborar las propuestas. El tiempo disponible desde que se publica el tópico hasta que se entrega la propuesta suele variar entre tres y cuatro meses. De media, la creación de un consorcio estable para elaborar la propuesta conlleva de uno a dos meses de ese tiempo. El resto del tiempo se dedica a la redacción de la propuesta.

Cada programa establece la estructura de la propuesta para ayudar a los evaluadores en su tarea mediante una estructura común para todas las propuestas presentadas. En términos generales, se trata de explicar, a lo largo del texto, los objetivos y aproximación a la investigación, de manera que los criterios de evaluación establecidos por la Comisión Europea queden cubiertos. Estos criterios son los

siguientes (en inglés, dado que están extraídos del modelo de evaluación de propuestas):

<p>Criterion 1 – Excellence</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Clarity and pertinence of the proposal: degree to which the objectives, scope, justification principles and requirements defined in the Technical Specifications are well understood and fully addressed</i> • <i>Feasibility, adequacy and scientific quality of the proposed methodology, including elaboration of the research questions and hypotheses, as well as explicit justification of the assumptions essential to the research</i> • <i>Level of awareness of the state-of-the-art: degree to which the proposal demonstrates knowledge of current operations and relevant previous R&D work and explains how their proposed work is beyond the state of the art, and demonstrates innovation potential</i>
<p>Criterion 2 – Impact</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Degree to which the proposal demonstrates that the research would contribute to achieve both the expected impact outlined in the call specification and provide additional benefits to society</i> • <i>Quality of the proposed measures to:</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Exploit and disseminate the project results (including management of IPR), and to manage research data where relevant.</i> ○ <i>Communicate the project activities to different target audiences.</i>
<p>Criterion 3 – Quality and efficiency of the implementation</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Quality and effectiveness of the Project Management Plan: degree to which the proposed plan complies with the guidance material referred to in the call specification including extent to which the resources assigned to work packages are in line with their objectives and deliverables.</i> • <i>Appropriateness of the management structure and procedures: degree to which the proposed management structure are appropriate, including complementarity of the participants within the Project and the use of governance structure and advisory board as appropriate.</i> • <i>Appropriateness of the technical expertise: degree to which the technical expertise is appropriate for undertaking the proposed tasks, and for ensuring that all participants have a valid role and adequate resources in the project to fulfill that role (including proposed mechanisms to ensure an appropriate involvement of stakeholders.</i> • <i>Consistency between the proposed activities and the estimated budget</i>

Tabla 1 Criterios de evaluación de propuestas de I+D europeas

3. Tópico o problema a investigar: En cada convocatoria se publican tópicos de investigación que tratan determinados problemas. Estos problemas suelen ser genéricos y muy abiertos. Cada consorcio analiza el tópico en función de sus intereses y conocimientos. Para un mismo tópico se pueden presentar varios consorcios con puntos de vista del problema totalmente diferentes. Esta variación de puntos de vista hace que, en determinadas ocasiones, los tópicos queden desiertos ya que no cumplen las expectativas de la Comisión Europea.

A continuación, se incluye un ejemplo de descripción de tópico, en inglés, extraído de una de las últimas convocatorias de investigación exploratoria publicada en 2019.

<p>Topic Description</p> <p><i>Specific Challenge:</i></p>

It is expected that the introduction of new delivery technologies such as drones, and mobility as a service will alter mobility, which will result in large improvements in the quality of urban living. These unmanned aerial systems (UAS) require new kind of services. U-space services provide services to UAS flying without services from ATM, but may take place in airspace shared with manned aviation, some of which may be receiving ATC services. This exploratory research challenge refers to the development of new U-space services (especially in the more advanced U3 and U4 service levels), as well as to the linked regulatory challenges.

Scope:

Proposals must include research activities leading to further development of the U-space concept.

Tabla 2 Ejemplo de descripción de tópico

4. Límite de presupuesto: Cada tópico tiene asignado un presupuesto máximo que, en caso de superarse, se considera causa directa de exclusión.
5. Modelo de financiación: Los proyectos de I+D europeos se basan en un modelo de cofinanciación según el cual la Comisión Europea financia un porcentaje del presupuesto total y los socios del consorcio aportan el presupuesto restante. Este modelo impacta en la competitividad ya que puede haber potenciales socios interesados en la investigación pero que, debido al modelo de cofinanciación, no estén interesados en participar debido a la baja rentabilidad.

La siguiente tabla muestra el modelo de cofinanciación:

Presupuesto Total (limitado según convocatoria y tópico)	Presupuesto de Costes Directos por socio (Labor)	Presupuesto de Costes Indirectos por socio
$\sum_i^N (X_i + Y_i) \leq \text{Límite convocatoria}$	X_i	$Y_i = \frac{C}{100} \times X_i$
$N = \text{Número de socios}$	Dependiendo de la convocatoria y el programa, el porcentaje de financiación de $X_i = \begin{cases} 100\% \\ 70\% \\ 50\% \end{cases}$	C es un valor que limita el porcentaje de costes indirectos calculado sobre los costes directos totales del socio. En los últimos años se ha establecido un valor fijo de $C = 25$

Tabla 3 Modelo de financiación

4.1.2 Fase de ejecución de proyecto

La ejecución del proyecto es libre en función de lo descrito en la fase de propuesta, siempre que esta haya sido aprobada por los evaluadores de la Comisión Europea. Sin embargo, existen algunas características relevantes que son requeridas

- Tiempo de ejecución: La duración del proyecto está limitada según la convocatoria y suele ser de entre 1 y 3 años (si bien es cierto que, en programas pasados, ha llegado a ser hasta de 4 años máximo)

- Ritmo de ejecución: Los desarrollos son más o menos rápidos dependiendo del tiempo de ejecución.
- Obligatoriedad del tipo de resultados: La obligatoriedad de ciertos resultados impacta directamente en la estructura de los trabajos. Es obligatorio incluir dos paquetes de trabajo, relativos a la gestión del proyecto y a la comunicación y divulgación de resultados. Además, suele ser obligatorio (en función del programa) elaborar un concepto de operaciones, un plan de validación y un documento con los resultados de la validación. Esto hace que prácticamente todos los proyectos tengan una estructura de trabajos (WBS, por sus siglas en inglés) en la que primero se elabora el concepto y después se desarrolla el sistema según la visión del concepto propuesto. Este sistema se utiliza para llevar a cabo la validación y finalmente se analizan los resultados.
- Madurez de la tecnología: Se utilizan los niveles de madurez de tecnología (TRL, por sus siglas en inglés) para definir la tecnología. Se consideran niveles TRL 1 a TRL 2 para investigación más básica, como es el caso de los programas *Research and Innovation Action* o *Exploratory Research*, y de TRL 3 a TRL 6 para investigación más avanzada, en los programas *Innovation Action* o *Industrial research*.

4.2 Tipos de proyectos de I+D europeos

A partir de esta caracterización, una vez establecidas las limitaciones en cuanto a duración del proyecto, presupuesto y madurez, podemos encontrar tres tipos de proyectos de I+D europeos:

1. Proyectos conceptuales: Son aquellos en los que el objetivo es desarrollar un concepto de operaciones. Son los más breves y cuyo presupuesto máximo permitido es el menor.
2. Proyectos de definición de arquitecturas: En estos proyectos el objetivo es desarrollar un concepto de operaciones (o la evolución de uno que ya haya sido definido) y a partir de él, definir una arquitectura funcional de forma que se pueda validar mediante simulaciones. La duración es mayor y también el presupuesto ya que se tienen que realizar las simulaciones en simuladores existentes o desarrollados ad-hoc.
3. Proyectos de desarrollo de prototipo: Son los más completos. No solo se desarrolla un concepto de operaciones (en caso de no tratarse de una evolución de un concepto anterior) y se define una arquitectura (si no se trata de una arquitectura previamente definida) sino que además se fabrica un prototipo y se valida en un entorno real (ya sea restringido para no interferir con operaciones actuales o en concurrencia con dichas operaciones).

4.3 Aplicación actual de la ingeniería de sistemas en los proyectos de I+D europeos

En esta sección analizaremos qué actividades del marco de ingeniería de sistemas (representados en la Figura 3) se aplican tanto a la fase de la elaboración de propuestas como a la ejecución de las mismas para todos los tipos de proyectos de I+D europeos definidos. Así

mismo, se determinará si los procesos de la ingeniería de sistemas se aplican (total o parcialmente) o no y, en caso de aplicarse, cómo se aplica³.

Actividad	Aplicación	¿Cómo se aplica?
Identificación de necesidad u oportunidad	Sí	Se identifica la convocatoria y tópico de interés. Esta identificación se basa en las necesidades de investigación de la organización, que a su vez se derivan de las necesidades de negocio, de conocimiento o tecnológicas de dicha organización y que se puedan obtener mediante la realización de proyectos de I+D europeos.
Definición del problema	Sí. Parcialmente	<p>Se usan, de forma generalizada dos técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso del conocimiento de la propia organización, o del consorcio (si ya se ha identificado) para definir el problema que mejor se adapta a sus necesidades. • Tormenta de ideas para identificar distintos problemas que puedan ser transportables a la descripción del tópico descrito en la convocatoria. <p>Se corre el riesgo de dejar de lado ciertos problemas, ya que una única organización o un consorcio no disponen de todos los puntos de vista posibles desde los cuales se pueden percibir los problemas. Este riesgo, junto con que la elaboración de propuestas se realiza en base a la descripción de un tópico breve y al corto plazo para la elaboración de la propuesta, contribuye a que en muchas ocasiones las propuestas presentadas no se ajusten a lo esperado por la Comisión, debido a que no se ha entendido bien el problema.</p> <p>Además, este proceso adolece de un problema fundamental que es la base de la ingeniería de sistemas: La identificación de las necesidades de los <i>stakeholders</i>.</p>
Identificación de <i>stakeholders</i>	Sí. Parcialmente	<p>Se solicitan cartas de apoyo a algunos <i>stakeholders</i> para cumplir con el trámite de tener un consejo asesor (advisory board) durante la ejecución del proyecto, como se muestra en la Tabla 1. Es decir, no se identifican todos los posible o necesarios <i>stakeholders</i>.</p> <p>Esto conlleva que muchas propuestas sean desestimadas por falta de involucración de los <i>stakeholders</i>, <i>en parte debido a</i> que estos no reciben financiación por parte del proyecto ni de la Comisión.</p>

³ Para realizar este análisis, se ha utilizado la experiencia del autor en 22 proyectos de I+D europeos durante 15 años (principalmente en el ámbito de los sistemas aéreos no tripulados y de la gestión de tráfico aéreo) y la participación como *stakeholder* en varios proyectos del mismo tipo. También se ha consultado con el área de I+D de ISDEFE, empresa en la cual trabaja el autor, para obtener información sobre proyectos de I+D en otras áreas como defensa, seguridad y espacio. Además, se consultado con socios de proyectos externos a ISDEFE, con los que el autor ha desarrollado confianza a lo largo de este tiempo.

Actividad	Aplicación	¿Cómo se aplica?
		Además, al solicitarles el apoyo durante la fase de preparación de la propuesta solo se les informa del objetivo y alcance del proyecto tal y como se describe en el tópico. Esto hace que pueda haber interpretaciones distintas entre los <i>stakeholders</i> y el consorcio. Esta distinta interpretación provoca que, una vez comience la ejecución del proyecto, existan discrepancias entre ambos y la involucración de los <i>stakeholders</i> no se materialice ⁴ .
Concepto de Operaciones (CONOPS)	Sí. Parcialmente	Hay proyectos que definen la situación actual y cómo el sistema cambia o mejora la situación futura. En cambio otros proyectos lo usan como herramienta para especificar el sistema, por ejemplo (ICONUS, 2015).
Requisitos de Stakeholder	No	<p>No se derivan requisitos de <i>stakeholder por los siguientes motivos.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Motivos culturales. Cada miembro del consorcio contempla los requisitos desde un punto de vista distinto por lo que en muchos casos los requisitos son expresiones orientadas al sistema y en ocasiones se derivan una vez todo el sistema está definido, desarrollado y validado. 2. En ningún momento, se menciona en los manuales para la ejecución de proyectos ni para la elaboración de ofertas, la necesidad de establecer requisitos en los proyectos al contrario que con otros aspectos que sí son obligatorios (como la necesidad de gestionar el proyecto, incluyendo que el esfuerzo tiene que ser entre un 7% y un 8% del total del proyecto, o la obligatoriedad de elaborar un concepto de operaciones, un plan de validación o un plan de comunicación). Por esta razón no se planifica el esfuerzo adecuado para esta tarea y se subestima su importancia desde la misma base de la Comisión Europea. 3. Relacionado con la subestimación de la Comisión Europea, ocurre con cierta frecuencia que, en programas formados por varios proyectos de I+D europeo de temática relacionada, se soliciten requisitos a cada proyecto una vez este ha concluido para crear una línea de base para futuros proyectos (SESAR, 2017), (SESAR, 2018) y (SESAR, 2020). Al no haberse planificado desde el inicio del

⁴ La involucración de *stakeholders* no es sencilla en los proyectos de I+D europeos ya que la competencia entre diferentes consorcios que pretenden presentar una propuesta al mismo tópico genera un aluvión de solicitudes para participar en los mismos.

Actividad	Aplicación	¿Cómo se aplica?
		proyecto, los “requisitos” suelen ser redactados sin dedicarles esfuerzo dando lugar a requisitos que a veces son necesidades, otras son especificaciones de sistema, otras son acciones a tomar y en muchas ocasiones la redacción es poco clara ⁵ .
Validación de la traducción del problema en un conjunto de requisitos de <i>stakeholder</i>	No	Al no derivar requisitos de <i>stakeholder</i> , no existe esta validación. En su lugar, se “valida” el concepto de operaciones mediante su envío a los miembros del consejo asesor para su revisión o la organización de un <i>workshop</i> en el que se presenta a los <i>stakeholders</i> el concepto de operaciones y se solicita su opinión.
Identificación de conceptos de diseño	No	No se tienen en cuenta los posibles conceptos de diseño que puedan ser más adecuados para el concepto de operaciones elaborado ya que, durante la fase de elaboración de la oferta, se propone una solución basada en la experiencia o conocimiento existente del consorcio que va a ejecutar el proyecto. Si la propuesta es aceptada en base a la solución planteada, se elabora el concepto de diseño propuesto. A pesar de que, desde un punto de vista formal de ingeniería de sistemas, esta aproximación no sea la más adecuada, al tratarse de proyectos de I+D, esto no significa que la aproximación sea incorrecta ya que desde un principio se propone un posible concepto de diseño a investigar mientras que otros proyectos pueden proponer otro concepto de diseño diferente para el mismo problema.
Selección del concepto de diseño preferido	No	Al no identificar conceptos de diseño, no existe la necesidad de seleccionar uno de ellos.
Identificación adicional de <i>stakeholders</i>	Sí	Una vez el proyecto es financiado se contacta con <i>stakeholders</i> adicionales e incluso se incorporan al consejo asesor. Asimismo, la Comisión Europea establece acuerdos con asociaciones profesionales que sugiere a los proyectos para incluir como miembros del consejo asesor. Del mismo modo, la Comisión Europea potencia la interacción entre proyectos que trabajan en proyectos similares para que se completen mutuamente.
Traducción de requisitos de <i>stakeholder</i> en requisitos de sistema y	Sí. Parcialmente	Al no derivar requisitos de <i>stakeholder</i> , los requisitos de sistema no se derivan de ellos. Sin embargo, cómo se ha mencionado en la actividad Requisitos de <i>stakeholder</i> , sí se elaboran requisitos de sistema a pesar de que estos sean hechos a posteriori y en

⁵ Un ejemplo del formato y redacción de requisitos extraído de (SESAR, 2020) es:

Title: Drone log storage

Description: Drone log storage

Actividad	Aplicación	¿Cómo se aplica?
métodos de verificación		ocasiones incompletos, incorrectos e incomprensibles (ver nota al pie 5). No obstante, estos requisitos no incluyen métodos de verificación.
Análisis funcional	Sí. Parcialmente	En los casos en los que es necesario, se realizan análisis funcionales, aunque no se sigue ninguna técnica concreta. Se trata mayoritariamente de representaciones gráficas.
Arquitectura del sistema	Sí. Parcialmente	La arquitectura del sistema no se realiza a nivel del proyecto, es decir, de forma que todos los miembros del consorcio tengan visibilidad sobre ella ni se refleje en ningún documento. Sin embargo, dado que en los procesos de validación se hace uso de ella, se desprende que cada miembro del consorcio encargado de desarrollar un elemento del sistema sí ha elaborado una arquitectura del sistema e incluso, posiblemente, ha interactuado con otros socios encargados de otros elementos.
Verificación de requisitos	No	Debido a que no se elaboran requisitos de sistema, como tales, ni se definen métodos de verificación, estos no se verifican. Los miembros del consorcio encargados de desarrollar elementos del sistema hacen un desarrollo basado en las funcionalidades esperadas (definidas en el análisis funcional) y para cumplir con lo definido el Concepto de operaciones.
Producción, integración y prueba	Sí. Parcialmente	No se realiza una producción al uso, es decir, como si se tratara de un producto industrial para el mercado ⁶ . Sí se desarrollan los elementos de los que cada miembro del consorcio es responsable y se integran y prueban de acuerdo a las conversaciones internas entre los distintos miembros. No existe un plan de integración, ni pruebas a nivel de proyecto. Tampoco existen documentos de requisitos y control de interfaces.
Aceptación del sistema (validación de la solución)	Sí. Parcialmente	No se realiza una aceptación del sistema ya que no se trata de un desarrollo para poner en el mercado. Sí se realiza la validación del desarrollo propuesto para comprobar que el sistema cumple su propósito. Esta validación va acompañada de un documento de análisis de resultados de validación que se entrega a la Comisión Europea. La validación no se realiza frente a las necesidades de los <i>stakeholder</i> , sino que es el propio consorcio quien define unos objetivos de validación y unos criterios para su cumplimiento. Esto hace que el sistema

⁶ Esto es así por las propias normas de los programas de investigación de la Comisión Europea y porque los resultados del proyecto pertenecen (según lo que se establezca en los acuerdos de consorcio) a todos los miembros del consorcio y la Comisión Europea. No es posible solicitar cofinanciación en un proyecto de I+D europeo para financiar un desarrollo que se pretenda poner en el mercado usando dichos fondos.

Actividad	Aplicación	¿Cómo se aplica?
		siempre sea validado positivamente ya que se desarrolla para cumplir esos objetivos de validación y los criterios (por ejemplo, (DOMUS, 2020) o (GoF, 2020) entre otros).
Retirada del sistema	Sí. Parcialmente	Este proceso, generalmente se realiza al terminar la vida operativa del sistema. Sin embargo, en los proyectos de I+D europeos, el sistema se retira una vez terminada la validación. En estos casos la retirada se realiza sin seguir ningún plan específico. Cada miembro del consorcio encargado de un elemento se hace cargo de él sin comprobar las interacciones que ese elemento haya podido tener con otros, lo cual genera conflictos entre los distintos miembros (por ejemplo, por el almacenamiento de datos del elemento de otro miembro del consorcio).

Tabla 4 Aplicación actual de la ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos.

En base a este análisis, en la siguiente sección se estudiará cómo adaptar estas actividades a los proyectos de I+D europeos.

4.4 *Adaptación de procesos de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos.*

Como hemos visto, en los proyectos de I+D europeos, las actividades propias del marco de ingeniería de sistemas se realizan total o parcialmente e, incluso, algunas no llegan a realizarse nunca. Algunas se llevan a cabo debido a que existe la obligatoriedad de entregar ciertos resultados, como el concepto de operaciones y otras no se realizan debido al desconocimiento de su existencia o por una inadecuada planificación de las actividades y el esfuerzo necesario para llevarlas a cabo, lo que genera que los resultados no sean totalmente satisfactorios o estén sesgados por el conocimiento de los propios miembros del consorcio.

Para adaptar y aplicar las actividades de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos tendremos en cuenta las dos principales fases del proyecto: la fase de elaboración de la propuesta y la fase de ejecución del proyecto.

4.4.1 Fase de elaboración de propuesta.

Teniendo en cuenta las actividades del marco de ingeniería de sistemas, podemos considerar que las actividades aplicables a la fase de elaboración de propuesta son la identificación de la necesidad u oportunidad, la definición del problema y la identificación de *stakeholders*.

En la Tabla 4 se ha visto que las dos últimas sí se realizan pero de forma parcial. El uso de la ingeniería de sistemas puede ayudar a ejecutar estas actividades de forma completa, maximizando las probabilidades de que la propuesta sea aceptada por la Comisión Europea y obtener financiación para su posterior ejecución. Así mismo, aplicar la ingeniería de sistemas en este punto de elaboración de la propuesta facilitará el trabajo posterior en la ejecución del proyecto.

Sin embargo, la elaboración de diagramas causales es costosa en términos de esfuerzo laboral y requieren tiempo para su elaboración. Como hemos visto, el tiempo transcurrido desde la publicación de la convocatoria hasta la presentación de la propuesta es de 3-4 meses, por lo que, en lugar de diagramas causales, una vez conseguidas las necesidades y los puntos de vista de los *stakeholders*, podemos representar estos resultados en forma de sistemigrama.

Los sistemigramas contextualizan de manera gráfica un sistema (Sausser y Boardman, 2015). En estas representaciones se establecen las relaciones entre los diferentes elementos que conforman el sistema y su interacción con el mundo exterior y permiten la definición del problema (Sausser, Mansouri y Omer, 2011).

El uso de sistemigramas para la identificación del problema en la fase de elaboración de la propuesta tiene dos ventajas frente al uso de diagramas causales.

- El tiempo necesario para elaborarlos es menor.
- Su uso se ha mostrado como una técnica útil para validar las necesidades obtenidas de los *stakeholders* (Kjørstad, Mansouri, Muller y Kjenner, 2019).

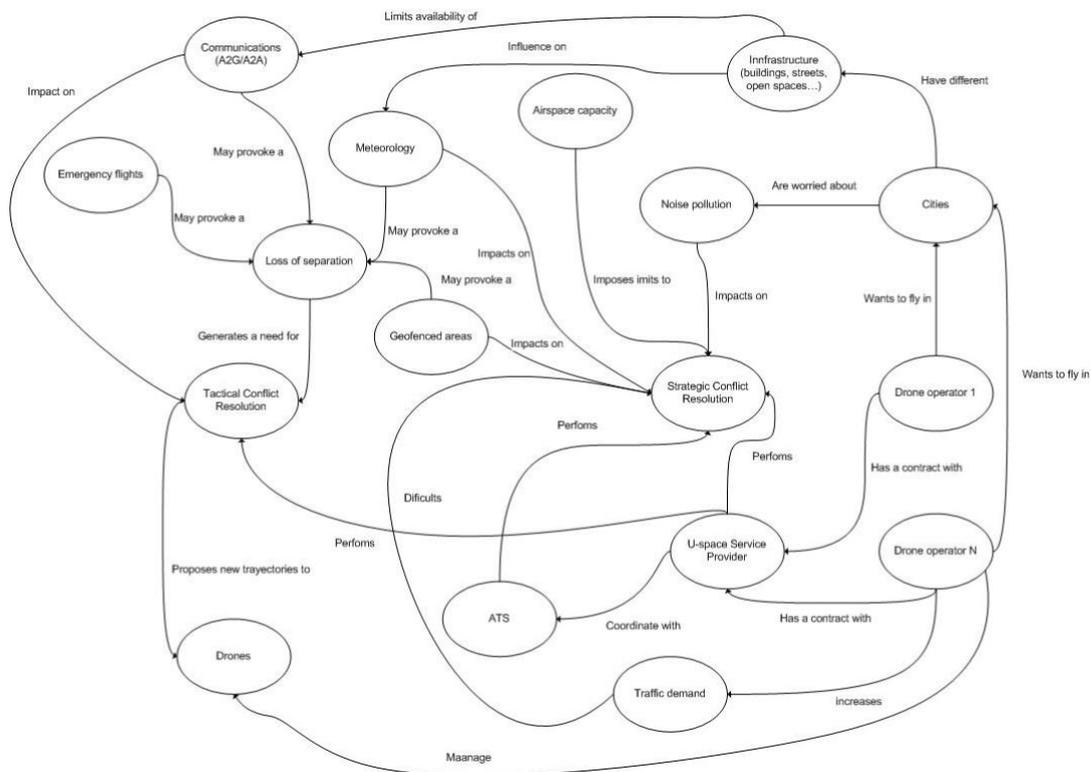


Figura 6 Ejemplo de sistemigrama utilizado para la validación de necesidades y problema (Fuente: Elaboración propia para un workshop de validación de necesidades en el proyecto USEPE en marzo de 2021)

Además, existe un asunto adicional a tener en cuenta que también impacta en todo el proceso de identificación del problema: las diferencias culturales. Mediante la representación gráfica en forma de sistemigrama, todos los *stakeholders* disponen de la misma información y se puede discutir con ellos de forma abierta las interpretaciones, evitando así las diferencias culturales y/o organizacionales.

En conclusión, mediante el uso de sistemigramas y la interacción con los *stakeholders* podemos determinar que las necesidades que nos han proporcionado son adecuadas y contribuyen a definir el problema que desarrollaremos en la propuesta del proyecto de I+D europeo.

En otras palabras, utilizando la visión, actividades y técnicas de ingeniería de sistemas, la elaboración de propuestas de proyectos de I+D europeos se puede llegar a una definición más concreta del problema a resolver en la ejecución del proyecto y con la garantía de que el problema es el que realmente interesa a los *stakeholders*.

En base a lo discutido en esta sección podemos representar la adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la fase de elaboración de propuesta como sigue:

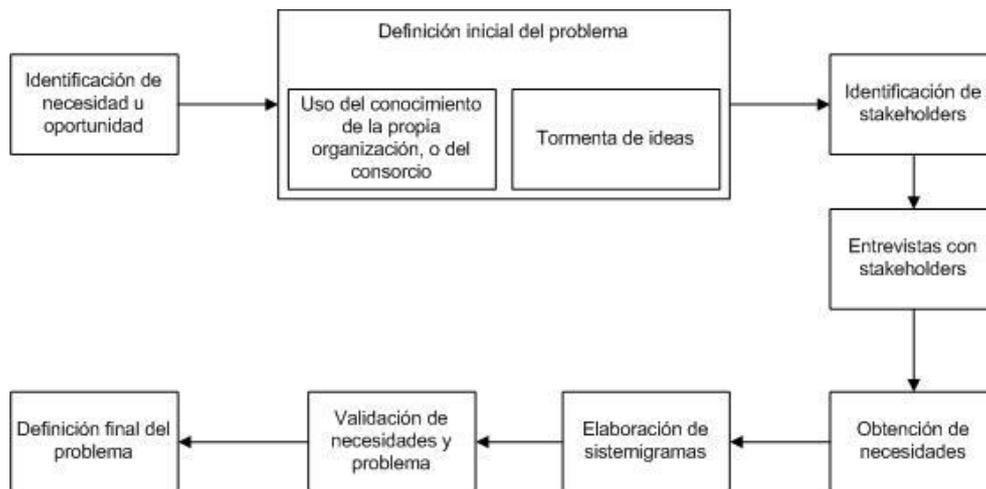


Figura 7 Adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la elaboración de propuestas

4.4.2 Fase de ejecución de proyecto

Mientras que la fase de elaboración de elaboración de propuesta es común a todos los tipos de proyectos mencionados en la sección 4.4.1, la fase de ejecución depende del tipo de proyecto, ya que el alcance es diferente, y no en todos será necesario ejecutar todas las actividades del marco de ingeniería de sistemas. Es precisamente en esta fase dónde se precisa particularizar y adaptar el marco.

4.4.2.1 Proyectos conceptuales

Como se ha dicho, en este tipo de proyectos el objetivo es elaborar un concepto de operaciones que proponga una forma distinta y novedosa de abordar un problema. En la Tabla 4 se ha mostrado que sí se elabora un concepto de operaciones en los proyectos. En parte porque es uno de los resultados obligatorios a incluir y en parte porque es el objetivo principal del proyecto. Sin embargo, también se ha visto que esta tarea se elabora solo de forma parcial ya que en ocasiones se utiliza para especificar el sistema, es decir se selecciona el concepto de diseño incluso antes de obtener los requisitos de *stakeholder*.

El motivo por el cual se incluye el concepto de operaciones en la fase de ejecución de este tipo de proyectos se debe a que se trata de un proceso esencial de ingeniería de sistemas y es

importante detallar los problemas actuales y la situación en la que operará el sistema propuesto para el desarrollo.

No obstante, en la Tabla 4, también se ha comentado que en el proceso de traducción del problema en un conjunto de requisitos de *stakeholder*, se utiliza el concepto de operaciones como método de validación, sin ni siquiera existir requisitos de *stakeholder*. Es aquí donde la ingeniería de sistemas es necesaria. Si el objetivo final del proyecto es la elaboración de un concepto de operaciones, es importante que este concepto sea validado por los *stakeholders* antes de su entrega final.

En otras palabras, la adaptación del marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos implica la introducción del proceso de validación del concepto de operaciones justo después de su elaboración.

En este trabajo proponemos dos métodos de validación del concepto de operaciones:

- 1 Validación conceptual: como aquella en la que se muestra a los *stakeholders* identificados el concepto de operaciones y se explica su objetivo, alcance y propuesta y se utilizan distintas técnicas:
 - Presentación del concepto de operaciones y solicitud de realimentación mediante preguntas y cuestionarios.
 - Elaboración de un sistemagrama que represente el concepto de operaciones tal y como se propuso en la fase de elaboración de la propuesta⁷.
- 2 Validación interactiva: aquella en la que se asignan roles a los *stakeholders* en función de su área de conocimiento o involucración en la futura implementación del sistema y estos actúan como si el sistema estuviera en activo, interactuando con él. Este modo de validación también es conocido como *gaming*.

En este caso podemos representar la adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos conceptuales de acuerdo a la siguiente figura.

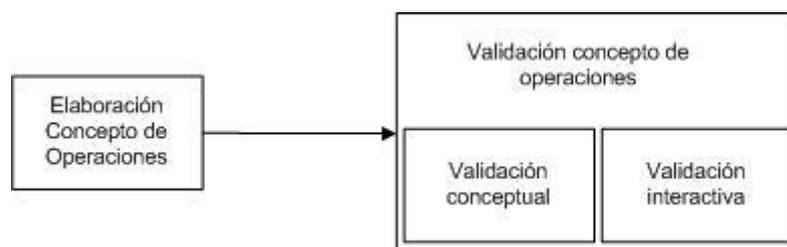


Figura 8 Adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos conceptuales

2.1.1.1 Proyectos de definición de arquitecturas

En estos proyectos el objetivo es obtener una arquitectura funcional que pueda ser validada mediante simulaciones.

⁷ Durante la elaboración de este trabajo, el autor utilizó estas técnicas en un proyecto, actualmente en ejecución, y los resultados fueron una realimentación importante por parte de todos los *stakeholders* y la validación del concepto de operaciones, una vez implementadas las propuestas de los *stakeholders*.

El primer paso, si el proyecto requiere la elaboración de un concepto de operaciones, se llevará a cabo lo establecido en la sección 4.4.2.1.

Si consultamos la Figura 3 vemos que el marco de ingeniería de sistemas, continua con la derivación de requisitos de *stakeholder*. Por otro lado en la Tabla 4 hemos visto que este proceso no se está aplicando actualmente. Esto es un error ya que sin la obtención de las necesidades y requisitos de *stakeholder* la arquitectura funcional, y su posterior validación mediante simulaciones, simplemente será la visión de los miembros del consorcio y se corre el riesgo de que el resultado no cubra todas las necesidades de los *stakeholders* y los usuarios finales.

En primer lugar, debemos remarcar que los requisitos de *stakeholder* forman parte del dominio del problema, es decir, del ámbito en el que estamos planteando la investigación y no deben contener ninguna referencia específica a la solución (al igual que no se deben hacer referencias a la solución en el concepto de operaciones, como ya se ha dicho). Es por ello, que tenemos que derivarlas o formalizarlas en expresiones que cumplan una serie de propiedades básicas (Santos, 2021).

Para un lector especializado estas propiedades pueden resultar evidentes, pero no olvidemos que, como se menciona en (Sols 2016) derivado de diversos autores, los *“requisitos son los fundamentos de cualquier esfuerzo de ingeniería”*⁸, así como que *“existe una tendencia a subestimar [...] la importancia de los requisitos, y el esfuerzo y conocimiento requerido para redactarlos correctamente”*⁹. Es esta tendencia a subestimar el esfuerzo en la derivación de requisitos de *stakeholder*, así como en su gestión, lo que provoca que las soluciones de arquitecturas funcionales propuestas generen resultados que no cubren completamente las necesidades de los *stakeholders* y los usuarios finales.

La obtención de requisitos de *stakeholder* puede y, en este tipo de proyectos, debe partir de la validación del concepto de operaciones. Durante la validación del concepto de operaciones se han propuesto técnicas de validación basadas en la interacción con los *stakeholders* con entrevistas o *gaming*. Dada la limitación temporal en la ejecución de los proyectos de I+D europeos es importante utilizar toda la información obtenida en un proceso para avanzar en el siguiente, es decir, los ingenieros de sistemas deben estar pensando en el final (no solo en el final del proyecto, sino en procesos posteriores) antes que en el principio (no solo en el principio del proyecto, sino en el proceso en el cual se encuentran trabajando o en procesos anteriores).

A este respecto, (Wheatcraft y Ryan, 2018) explicita que *“No hay una única realidad, sólo solo lo que cada individuo percibe como real”*. Esta expresión la hace en el contexto de la comunicación de los requisitos, no solo a nivel interno del proyecto, también con los *stakeholders*.

Los requisitos de *stakeholder* obtenidos y elaborados por el ingeniero de sistemas tienen que ser, por supuesto, validados por los *stakeholders*, es decir, debemos de nuevo interactuar con los *stakeholders*.

⁸ Traducción propia.

⁹ Idem.

Para llevar a cabo la validación de los requisitos de *stakeholder* es necesario que tanto los miembros del consorcio como los *stakeholder* hablen el mismo lenguaje. Como explican (Wheatcraft y Ryan, 2018), no existe una manera homogénea y única para llevar a cabo esta comunicación, por lo que es importante adaptar el lenguaje y los medios de comunicación a todos y cada uno de los *stakeholder*.

Una vez validados los requisitos de *stakeholder*, entramos en una fase de diseño. Dado que el objetivo es definir una arquitectura, es necesario identificar cuál será el concepto de diseño para el cual definiremos la arquitectura. Hemos visto que este proceso no se aplica en los proyectos de I+D y realmente no es necesario, precisamente, por la naturaleza de investigación del proyecto. Sin embargo, es recomendable llevarlo a cabo ya que no todos los posibles conceptos serán igualmente válidos para todos los *stakeholders* involucrados.

Existen técnicas para identificar conceptos de diseño como la matriz de TRIZ (*Теория решения изобретательских задач, Theory of Inventive Problem Solving*) o teoría para resolver problemas de inventiva desarrollada por Genrich Altshuller, que es útil para la resolución de problemas de I+D (Blackburn, Mazzuchi y Sarkani, 2012). También, una revisión extensa de literatura procedente de diferentes autores, da como resultado un amplio abanico de conceptos de diseño que se pueden considerar, además de mantener la posibilidad de identificar nuevos conceptos dentro del marco del proyecto de I+D europeo, como se ha realizado en (USEPE, 2021) con la revisión de trabajos previos como los de (DLR, 2017) o (Sunil, Hoekstra, et al., 2015) entre otros.

En cualquier caso, la identificación de conceptos de diseño es uno de los procesos más creativos que puede realizar el ingeniero de sistemas y se puede considerar más un arte que una ciencia (Sols, 2021).

Cuanto mayor sea el número de conceptos de diseño, mayor es la necesidad de seleccionar el más adecuado. Uno de los métodos más utilizados para la selección de conceptos de diseño, en los que la participación de expertos y *stakeholders* es importante, es el proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés). El método AHP es una técnica cuantitativa (Saaty, 1980) que permite establecer prioridades entre diferentes alternativas a través de comparaciones por pares.

Esta técnica tiene la ventaja de que, para cada comparación (entre criterios, subcriterios y conceptos de diseño), se puede calcular un parámetro denominado razón de inconsistencia que indica la coherencia o incoherencia con la que los expertos, *stakeholders* y personal involucrado han realizado la comparación. Además existen herramientas software disponibles para la realización de esta técnica como, por ejemplo, Superdecisions (<http://www.superdecisions.com/>).

En cualquier caso, la selección del concepto de diseño preferido implica un proceso de toma de decisiones (generalmente multicriterio) que se tiene que adaptar tanto al sistema que se está desarrollando como al proyecto en el cual está enmarcado el sistema, ya que inevitablemente implica un uso de recursos (Parnell, Driscoll, Henderson, 2011).

Seleccionado el concepto de diseño preferido, deberíamos continuar con el diseño de la arquitectura funcional mediante la traducción de requisitos de *stakeholder* en requisitos de sistema y sus métodos de verificación asociados. Como hemos visto, al no obtener requisitos de *stakeholder*, en los proyectos de I+D europeos, los requisitos de sistema no se derivan de ellos. Sin embargo, como se ha mencionado en el proceso de requisitos de *stakeholders*, sí se elaboran requisitos de sistema a pesar de que estos sean hechos a posteriori y debido a esto y a que no se recogen las necesidades de los *stakeholders*, en ocasiones pueden ser incompletos, incorrectos y/o incomprensibles.

Adicionalmente, debido a que se derivan a posteriori estos requisitos no incluyen métodos de verificación y por lo tanto no se puede comprobar la validez de los mismos.

A este respecto, es importante recalcar que, no solo se deben derivar requisitos de sistema para desarrollar una arquitectura funcional correcta, sino que también es necesario que estos requisitos se redacten de forma que tengan las propiedades correctas (Sols, 2016), entre las que se incluye que los requisitos han de ser verificables, y que el conjunto de requisitos sea completo, es decir, que todos los requisitos de sistema hayan sido derivados de requisitos de stakeholder (Salado, Nilchiani y Verma, 2017).

En el caso de los proyectos de I+D europeos, no debemos olvidar que el conjunto completo de requisitos ha de aplicar únicamente al objetivo último del sistema que se esté desarrollando, ya que su propósito no es la industrialización sino validar el sistema (en este caso la arquitectura funcional o el prototipo como veremos más adelante) más allá de una futura industrialización. Por supuesto, ya que dentro del conjunto de requisitos de *stakeholder* que se derive de las necesidades habrá requisitos que puedan aplicar igualmente al futuro sistema industrializado, los requisitos de sistema derivados de los requisitos de *stakeholder* que apliquen tanto al sistema desarrollado dentro del proyecto de I+D como al posible sistema industrial deberán ser considerados en ambas fases.

Las propiedades que tiene que cumplir el conjunto de requisitos de sistema desarrollado en el proyecto de I+D europeo, además de ser completo, debe ser consistente (que no existan contradicciones entre ellos), asequible (que la solución pueda ser desarrollada) y, sobre todo, correcto (Buede, 2009) en el sentido explicado anteriormente, es decir, que sea válido para el alcance del proyecto.

Además, en cualquier desarrollo, pero en especial en los proyectos de I+D europeo, es importante priorizar los requisitos que se deriven para el concepto de diseño seleccionado. La priorización sirve, por un lado, para establecer un orden de importancia en los requisitos y, por otro lado, para aclarar qué funciones tendrá el sistema en sucesivas implementaciones, si este pasara a ser un posterior prototipo o incluso a su industrialización.

En los proyectos de I+D europeos, la priorización cobra una especial importancia debido a que, si se ha previsto llegar a un punto de desarrollo (diseño de una arquitectura funcional o un prototipo), pero no se puede cumplir por motivos de falta de recursos, una complejidad mayor de la inicialmente planificada o problemas derivados de procesos anteriores, se puede recurrir a implementar únicamente los requisitos que tengan una prioridad mayor. El hecho de no priorizar requisitos que puedan generar problemas de

recursos posteriormente puede tener consecuencias fatales en cuanto a la recepción de la financiación por parte de la Comisión Europea.

En (Achimugu, Selamat, Ibrahim y Mahrin, 2014) se analizan las técnicas más utilizadas para la priorización de requisitos y la más utilizada es el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), que se ha mencionado anteriormente, pero al igual que para la selección del concepto de diseño, cualquier técnica es interesante siempre que se utilice correctamente y se identifiquen los criterios de evaluación adecuados. Por la cantidad de recursos y tiempo limitados en los proyectos de I+D europeos, se recomienda usar técnicas de priorización que requieran el menor esfuerzo posible, como por ejemplo la matriz de Wiegers (Wiegers, 1999), aunque hay que tener especial cuidado con esta técnica ya que no está definida para soportar sucesivas evoluciones de los requisitos que, a su vez, requieran volver a priorizarse (Achimugu, Selamat, Ibrahim y Mahrin, 2014).

Los requisitos de sistema permiten avanzar en el diseño y realizar un análisis funcional que permita la definición de la arquitectura funcional. Tradicionalmente no se utilizan técnicas específicas para llevar a cabo el análisis funcional debido a su desconocimiento.

Por ejemplo, en (USEPE, 2020) se realizó una encuesta entre los miembros del consorcio para ver el conocimiento que se tenía sobre ciertas técnicas (concretamente, *Functional Block Diagrams*, IDEF0 y matrices N2) con el propósito de utilizarlas para el desarrollo de una arquitectura funcional. De los 21 miembros que forman el equipo de trabajo solo una persona conocía todas las técnicas y podía aplicarlas con fluidez y otra persona (en concreto, el autor de este trabajo) las conocía, pero tenía dificultad para aplicarlas debido a la poca experiencia que tenía en su uso.

En general sí se realizan análisis funcionales, pero sin seguir ningún proceso formal que garantice la identificación de las funciones y/o interfaces. Lo más común es que, simplemente, se realice una representación gráfica de las funciones identificadas entre los miembros del consorcio.

Por ello, es recomendable aplicar técnicas formales que permitan el análisis funcional. De nuevo, debido a la duración limitada de los proyectos de I+D europeos y el esfuerzo disponible, cuando el objetivo es realizar una arquitectura funcional, las técnicas recomendadas, teniendo en cuenta estas limitaciones son:

- 1 Diagramas de bloques funcionales. En (Goode y Machol, 1957) encontramos que los diagramas de bloque funcionales son utilizados para describir las funciones y sus interacciones de un sistema. En concreto:
 - 1.1 Diagrama de bloques funcionales (FBD, por sus siglas en inglés): donde representamos las funciones y los interfaces entre ellas.
 - 1.2 Diagramas de flujo funcionales (FFD, por sus siglas en inglés) que es una representación secuencial del flujo funcional que tiene que seguir el sistema para ejecutar su propósito (Sols 2014).
- 2 Matrices N2: Los proyectos de I+D europeos rara vez contienen un documento de requisitos de interfaz, debido a que los desarrollos se realizan por un solo miembro del

consorcio, o en caso de hacerlo entre varios, la coordinación entre elementos se hace entre los propios desarrolladores. Por ello, los diagramas N2 serían una herramienta útil para la coordinación entre los desarrolladores y el equipo que elabora el concepto o ejecuta la validación, ya que una de las principales funciones de los diagramas N2 es identificar los interfaces.

- 3 Diagramas de secuencia: Diagramas que muestran cómo son las interacciones, de forma dinámica, entre los objetos o servicios que participan en el sistema mediante la secuencia de intercambio de mensajes, es decir, muestran el comportamiento del sistema (OMG, 2019).

Definidas las funciones y representadas, siguiendo estas técnicas ya disponemos del diseño de la arquitectura funcional.

Al tratarse del diseño de una arquitectura funcional, la verificación de los requisitos solo se podrá realizar mediante la realización de modelos matemáticos o incluso mediante la interacción entre los miembros del consorcio y los *stakeholders* (de nuevo, vemos que la implicación de los *stakeholders* es fundamental) para comprobar con ellos que el requisito de sistema derivado para el concepto de diseño seleccionado es el más adecuado.

Por otro lado, el último paso antes de entregar el proyecto es la validación de la arquitectura funcional y el análisis de los resultados de la validación, para comprobar si la arquitectura funcional cumple con el propósito para el que ha sido diseñada.

Al tratarse de un diseño de una arquitectura funcional, el principal modo de llevar a cabo la validación es mediante una simulación (ya sea en tiempo real o en tiempo acelerado). Cada vez más, la Comisión Europea, con el afán de generar, gestionar y compartir conocimiento recomienda el uso de software libre. No obstante, si el propósito del proyecto es diseñar una arquitectura funcional y validarla mediante simulaciones, durante la fase de elaboración de propuesta es necesario incorporar al consorcio al menos una organización que disponga de los simuladores adecuados para el propósito del proyecto de I+D europeo¹⁰.

Con todo esto, ya estamos en disposición de representar la adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de definición de arquitecturas.

¹⁰ Por ejemplo, si el propósito del proyecto es desarrollar una arquitectura funcional novedosa de apoyo a los controladores de tráfico aéreo, al menos uno de los miembros del consorcio deberá disponer de simuladores apropiados. Si por el contrario la arquitectura funcional está orientada a dotar a las fuerzas y cuerpos de seguridad del estado de olfateadores artificiales para la detección de drogas, de nada sirve un miembro que disponga de simuladores de control de tráfico aéreo. En concreto se trata de que los miembros del consorcio se complementen mutuamente con sus respectivas áreas de conocimiento.

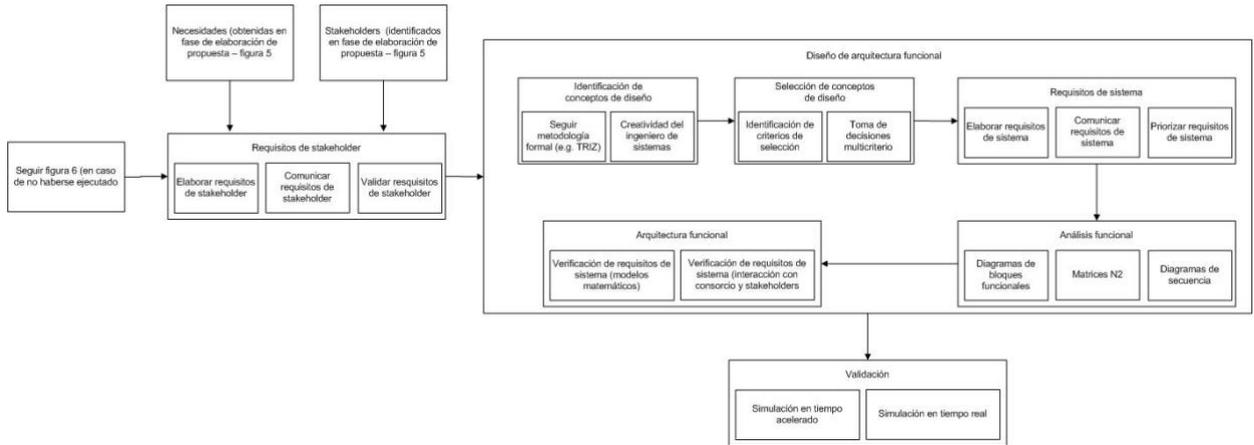


Figura 9 Adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de definición de arquitecturas

4.4.2.3 Proyectos de desarrollo de prototipo

En estos proyectos, como ya hemos comentado, el objetivo es fabricar un prototipo y validarlo en un entorno real.

Los primeros pasos, si el proyecto comprende la elaboración de un concepto de operaciones y la definición de una arquitectura funcional, se llevarán a cabo según lo descrito en las secciones 4.4.2.1 y 2.1.1.1.

Completados los procesos anteriores, comienza la fase del desarrollo de la arquitectura.

Según (Buede, 2009) la arquitectura del sistema *“representa la partición de los recursos físicos disponibles para ejecutar las funciones del sistema”*. En otras palabras, se trata de definir los componentes físicos que pueden llevar a cabo las funciones definidas para que el sistema cumpla su propósito. Con este proceso lo que conseguimos es asignar cada elemento a cada función. En una situación ideal (Salado, 2021) cada función debe ser ejecutada por un único elemento, de forma que no se omitan capacidades, se utilicen componentes innecesarios o realicemos una arquitectura poco elegante en la que haya funciones que sean ejecutadas por distintos elementos.

En los proyectos de I+D europeos, al igual que en cualquier otro programa en el que participan distintas organizaciones desarrollando diferentes partes del sistema, no existe una visibilidad a nivel de consorcio, sobre la arquitectura de los distintos elementos del sistema. Esto es en parte debido a las políticas de propiedad intelectual de cada organización y en parte a la obligación de firmar un Acuerdo de Consorcio por todos los miembros que lo forman por parte de la Comisión Europea.

Sin embargo, esto no impide que una vez desarrollada la arquitectura funcional, se relacione cada función con el componente genérico (entendido como una caja negra específica) que ejecutará esa función para aclarar qué miembro del consorcio desarrollará el componente y qué función ejecutará para evitar que la arquitectura del sistema sea poco elegante, se omitan capacidades o se utilicen componentes innecesarios. Esto, sin duda, contribuye a un desarrollo más eficiente y una adecuación de costes más acorde con los presupuestos declarados en la

fase de preparación de la propuesta. De esta manera se evitan sobrecostos y la necesidad de realizar modificaciones al contrato con la Comisión Europea para trasvasar presupuesto de un miembro del consorcio a otro, algo que es relativamente habitual.

El desarrollo es realizado por parte de los miembros del consorcio encargados de ello (es común que distintos miembros desarrollen elementos distintos del sistema) ya que cada organización tiene la información necesaria para realizar el desarrollo.

Como se ha repetido varias veces, los proyectos de I+D europeos disponen de un tiempo limitado para ser ejecutados ya que el proyecto completo se ha de entregar en los plazos establecidos en el contrato con la Comisión Europea. En caso de no cumplirse estos plazos, la Comisión Europea puede llegar a rechazar el proyecto y no realizar los pagos correspondientes.

Esto hace que sea necesario planificar todas las actividades con precisión.

En el caso de los proyectos de desarrollo de un prototipo esta planificación necesita de unos planes que hasta la fecha no suelen realizarse: el plan de integración y el plan de verificación. Esto se debe en parte a la falta de interacción entre los miembros del consorcio que desarrollan diferentes elementos del sistema. Por ello, este trabajo pretende poner un énfasis especial en la elaboración de los planes de integración y verificación estableciendo unas recomendaciones.

(Grumbach y Thomas, 2020) identifica seis principios a considerar para planificar y ejecutar el desarrollo del Sistema y los procesos de integración:

- 1 Jerarquía: la arquitectura se ha de componer de subsistemas intermedios estables y fijos.
- 2 Verificación Jerárquica: cada vez que se integra un subsistema se ha de verificar antes de proceder al siguiente nivel de integración.
- 3 Dependencia: la complejidad ha de ir aumentando de abajo a arriba, de manera que la complejidad de las integraciones intermedias contribuya a reducir el esfuerzo total.
- 4 Reutilización y evolucionabilidad: los componentes pueden ser conseguidos de formas distinta al desarrollo desde cero (por ejemplo, mediante el uso de COTS – Commercial-Of-The-Self).
- 5 Entendimiento: el último integrador tiene que entender correctamente los pasos realizados anteriormente.
- 6 Optimización: la información intercambiada dentro y fuera del sistema se ha de reducir al mínimo.

Teniendo en cuenta estos seis principios, en base a la experiencia observada en este tipo de proyectos y, por norma general, a la baja complejidad de los sistemas, ya que se trata de investigación y desarrollo de prototipos que no se industrializarán una vez terminado el proyecto, se recomienda una estrategia de integración *botton-up* de forma general.

Esta integración tiene ventajas e inconvenientes (Santos, 2021) pero, debido a la baja complejidad de los sistemas y a que el tiempo para la ejecución del proyecto es limitado, contribuye a que se pueda realizar una planificación adecuada del desarrollo e integración de

los componentes, ya que en gran parte de las ocasiones la arquitectura suele tener una estructura jerárquica.

Una vez definida la estrategia de integración y definidos los métodos de verificación para cada requisito, la realización del plan de verificación es sencilla ya que la estrategia *botton-up* permite una definición fácil de los casos de ensayo, así como la detección de los errores de bajo nivel.

El elemento clave a la hora de elaborar el plan de verificación es la correcta definición de los ensayos. En un proyecto de I+D europeo, estos casos han de tener en cuenta no solo el sistema sino el proceso de validación que se va a llevar a cabo. Como en este tipo de proyectos de desarrollo de prototipos la validación se hace en un entorno real, la definición de los ensayos tendrá que tener en cuenta la integración de los elementos del prototipo así como las condiciones del entorno en el cual va a operar el sistema, como por ejemplo temperaturas, condiciones atmosféricas, etc.

No hay que olvidar que para llevar a cabo la verificación se ha de considerar la formación necesaria del personal que realice los ensayos de verificación, así como los equipos técnicos necesarios para realizar estos ensayos.

Sin embargo, estos ensayos, con una alta probabilidad, nunca serán todos positivos. En estos casos, se debe volver hacia atrás en el proceso descrito anteriormente para revisar tanto el desarrollo del sistema como la arquitectura del sistema y la arquitectura funcional. De igual manera se han de revisar los requisitos de sistema y, en caso de ser necesario, los requisitos de *stakeholder*.

El principal problema que nos podemos encontrar al volver hacia atrás en los proyectos de I+D europeos es el tiempo y el esfuerzo comprometido de acuerdo al contrato firmado con la Comisión Europea. Si el esfuerzo es asumible por el consorcio (debido a que se ha consumido menos esfuerzo del previsto en otras actividades y se puede emplear en revisar el desarrollo) y el problema es el tiempo, se puede plantear a la Comisión Europea una modificación al contrato para extenderlo, siempre que no sea mayor de tres meses (European Commission. Funding and Tenders Portal).

Si se requiere más esfuerzo o el tiempo necesario para realizar los cambios es superior a tres meses, se podrá modificar el contrato con la Comisión Europea si se solicita una reducción del alcance del proyecto para simplificar las actividades de integración, verificación y validación. Para poder solicitar estas modificaciones a la Comisión Europea de una manera justificada, se puede recurrir a la priorización de requisitos. Aquí podemos entender por qué se puso énfasis en la priorización de requisitos de sistema cuando hablamos de ellos en la sección 2.1.1.1.

En el caso de que no se pueda reducir el alcance del proyecto, y el problema sea un inadecuado dimensionamiento del proyecto, la Comisión Europea puede terminar el contrato y realizar una auditoría externa a la Corte Europea de Auditores que determinarán hasta qué punto se puede realizar el pago de los costes incurridos en el proyecto.

Realizada la verificación e integración, siguiendo los planes establecidos, llega la hora de validar el prototipo desarrollado en el entorno real.

Al contrario que con los planes de verificación e integración, al tratarse de un resultado obligatorio en los proyectos de I+D europeos, sí tienen una estructura definida. Algunos ejemplos, se puede encontrar en (SESAR, 2020b).

De forma general, el plan de validación contiene tres puntos fundamentales:

- Objetivos de validación
- Escenarios de validación
- Ejercicios de validación y su planificación

El principal problema que se encuentra en estos proyectos es que tanto los objetivos como los escenarios los define el propio equipo del consorcio para demostrar a la Comisión Europea que el sistema cumple el propósito para el cual ha sido desarrollado. Ejemplos de este problema se pueden encontrar en los resultados de (DOMUS, 2020) o (GoF, 2020) entre otros.

Como llevamos viendo desde el comienzo de este trabajo, la involucración de los *stakeholders* es fundamental en el uso de la disciplina de ingeniería de sistemas. Por ello, una vez obtenidas las necesidades de *stakeholder*, se han de definir los objetivos de validación en base a ellas. De igual forma, durante la elaboración detallada del concepto de operaciones es más que conveniente identificar cuáles son los escenarios operacionales en los que están interesados, de forma que estos se puedan incorporar en el plan de validación y definir así unos ejercicios adecuados.

La definición de los ejercicios de validación, no solo incluye cómo se va a validar, sino también el lugar y las condiciones externas (aspectos relacionados con la meteorología, por ejemplo) que pueden afectar a la realización de los ejercicios ya que estas impondrán limitaciones de cara al desarrollo del sistema, así como los elementos externos que se requieran para la ejecución de los ejercicios (por ejemplo, sistemas de medida adicionales o incluso sistemas de vídeo que permitan grabar los ejercicios).

Con el plan de validación realizado se procede a desplegar el sistema en el lugar elegido para realizar los ejercicios de validación.

En los proyectos de I+D europeos, dado que no todos los *stakeholders*, incluida la Comisión Europea, pueden asistir a los ejercicios de validación, especialmente cuando se realizan simulaciones en tiempo real o pruebas en entorno real, es necesario analizar y documentar los ejercicios de validación y evaluar si los resultados obtenidos (mediante medidas y/u observación) cumplen los objetivos definidos en el plan de validación, es decir, cumplen con las necesidades de los *stakeholder*.

En una situación ideal, en el marco de ingeniería de sistemas, si los resultados de la validación fueran negativos se debería revisar las actividades de desarrollo del sistema, integración y verificación e incluso la arquitectura del sistema. Sin embargo, en los proyectos europeos de I+D, la validación no tiene por qué producir resultados positivos ya que se trata de investigación. Un resultado negativo es aceptable y puede generar como recomendación a la

Comisión Europea abandonar cierta línea de trabajo e investigación o descartar el uso de determinadas tecnologías.

Terminados los ejercicios de validación, se procede a la retirada del sistema. Sin embargo, antes de hablar de esta fase, tenemos que hacer un inciso y abordar un aspecto importante que impacta tanto en la retirada como en la propia validación del prototipo en el entorno real: el apoyo logístico integrado.

Si observamos la Figura 2 observamos que tras el proceso de validación de la solución, aparecen los procesos de despliegue de sistema y vida operativa del sistema en el que se incluye el apoyo al sistema. Sin embargo, en la Figura 3 se han eliminado. La razón por la que se han eliminado se porque los proyectos de I+D europeos, al no pasar a una fase de industrialización, no tienen vida operativa como tal, más allá de la validación.

Sin embargo, la validación de un prototipo en un entorno real requiere de un apoyo logístico que no se tiene en cuenta. Si no se considera el mantenimiento o la fiabilidad de los sistemas durante el desarrollo, puede ocurrir que los sistemas fallen durante la ejecución de las pruebas de validación.

De la misma manera, algunos sistemas complejos, como los sistemas aéreos no tripulados (en la experiencia del autor) hay que transportarlos correctamente al lugar dónde se van a realizar las pruebas de validación y almacenarlos durante el tiempo que duren las mismas. Estos sistemas son sensibles a golpes durante el transporte (por ejemplo, rotura de hélices) y a las condiciones atmosféricas si no se protegen adecuadamente en, por ejemplo, un hangar. Estos aspectos tienen que estar correctamente identificados, especialmente al comienzo del proyecto (ya que pueden generar requisitos de *stakeholder* o influir en la toma de decisiones en cuanto al concepto de diseño elegido) o cuando se elabore el plan de validación. Es decir, no es recomendable, y no se recomienda, en este documento, esperar hasta el comienzo de la validación para tratar aspectos relativos a la fiabilidad esperada durante el tiempo que dure la validación o aspectos relacionados con el empaquetado, manejo, almacenamiento y transporte del sistema al lugar donde se realice la validación.

Igualmente, y de ahí realizar el inciso en este punto del trabajo, es importante tener en cuenta estos aspectos de cara a la retirada del sistema desde el lugar dónde se realice la validación.

Por ello, la retirada del sistema, que en la Tabla 4 vimos que sí se realizaba, pero sin ningún plan específico de retirada, tiene que seguir un plan. De forma simplificada para el objetivo de este documento, se propone realizar los siguientes pasos.

- Desmontar el sistema que se hayan desarrollado y utilizado en la validación en los elementos de los que cada miembro del consorcio sea propietario.
- Comprobar que los interfaces entre los distintos elementos están, efectivamente, deshabilitados y que cada elemento no ha almacenado información procedente de otro elemento, de forma que la propiedad de los datos utilizados quede en posesión de su legítimo dueño.
- Empaquetar todas los elementos y el material de repuesto desplegado de acuerdo a las necesidades de protección frente a golpes u otras condiciones externas.

- En caso de haber integrado el prototipo desarrollado con sistemas en activo, comprobar que una vez, desmontado el prototipo de I+D, el sistema en activo sigue cumpliendo las funciones que tenía asignadas.
- Transportar todos los elementos y el material de repuesto a las instalaciones de las organizaciones propietarias usando el medio de transporte más apropiado para cada elemento y teniendo en cuenta su protección frente a golpes o condiciones externas.
- Manejar y almacenar todos los elementos y el material de repuesto en las instalaciones de las organizaciones propietarias de acuerdo a sus políticas de manejo (por ejemplo, uso de carretillas mecánicas) y almacenamiento (almacenes, estanterías, etc.).

Con todo esto, ya estamos en disposición de representar la adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de definición de arquitecturas.

Finalmente, podemos representar la adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de desarrollo de prototipo.

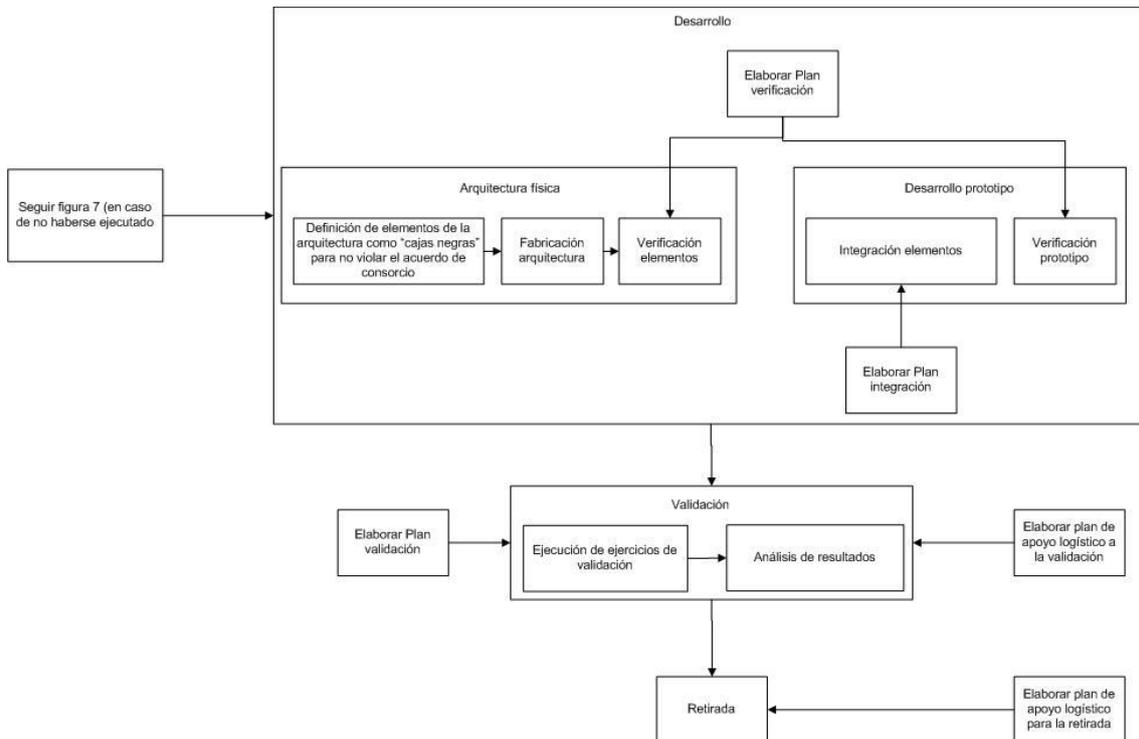


Figura 10 Adaptación del marco de ingeniería de sistemas para la ejecución de proyectos de desarrollo de prototipos

6.1.1.1 Plan de ingeniería de sistemas

Dejamos para el final un punto tan importante como es el plan de ingeniería de sistemas debido a que no forma, como tal, parte del marco de ingeniería de sistemas y para enfatizar que, el hecho de no considerar específicamente la disciplina de ingeniería de sistemas en los proyectos de I+D europeos, en ningún caso se plantea la posibilidad de elaborarlo.

El plan de gestión del proyecto está orientado a una gestión administrativa coordinada con la Comisión Europea.

Sin embargo, en el mismo (European Commission. Funding and Tenders Portal], se obvian los aspectos de planificación de los desarrollos técnicos, así como las necesidades técnicas, y humanas, que hay que tener en cuenta en cada actividad en estos paquetes de trabajo. Esta planificación se deja a merced de cada líder de paquete de trabajo que, debido a los aspectos culturales (Atienza, 2018), (Misiego y Sols, 2017) difiere en función de la nacionalidad de cada uno. Además, cada paquete de trabajo comienza en fases diferentes del proyecto y no es hasta que empieza que se definen dichas necesidades.

Esta falta indefinición de las necesidades de cada paquete de trabajo desde el comienzo del proyecto tiene como resultado problemas a la hora de ejecutarlos ya que, ocurre con frecuencia, un paquete de trabajo debiera haber tenido en cuenta algo que un paquete posterior requiere. Esto conlleva que los distintos socios no puedan planificar adecuadamente los recursos humanos y/o técnicos para cubrir estas necesidades detectadas a posteriori.

Si, como trata este trabajo, pretendemos hacer uso del marco de ingeniería de sistemas aplicado a los proyectos de I+D europeos, es necesario introducir un documento adicional, al comienzo del proyecto, denominado plan de gestión ingeniería de sistemas.

En este plan, en función del tipo de proyecto identificado en la propuesta, se deberá incluir, no solo los aspectos relacionados con la gestión administrativa mencionada anteriormente, sino, al menos, también los siguientes planes (Calvo, 2021):

- Plan de Factores Humanos, tanto para la ejecución del proyecto como para la formación del personal asignado, en el caso de realizar pruebas de verificación y validación involucrando a distintos actores.
- Plan de apoyo logístico integrado y de empaquetamiento, almacenamiento y transporte, como ya hemos mencionado anteriormente.

Además, los proyectos de I+D, por su naturaleza, son proyectos transdisciplinares en los que se requiere el conocimiento de distintas disciplinas (Bueno, 2019). El plan de gestión de ingeniería de sistemas debe identificar también las disciplinas necesarias, su planificación y el esfuerzo requerido en cada una de ellas para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

5. Conclusiones

Este trabajo tiene como objetivo final adaptar el marco de ingeniería de sistemas a los proyectos de I+D europeos centrándose en las fases de elaboración de propuesta y ejecución del proyecto.

La ingeniería de sistemas aborda los problemas de un punto de vista holístico desde su identificación hasta la retirada, pasando por todas los procesos de definición del sistema, su desarrollo y su validación. En los proyectos de I+D europeos estos procesos se pueden identificar fácilmente como fases de elaboración de propuesta (identificación del problema) y de ejecución del proyecto (desde el desarrollo del concepto de operaciones hasta la validación del sistema desarrollado).

Mediante el uso de la ingeniería de sistemas en la identificación del problema, dentro de la fase de elaboración de propuesta no sólo se pueden obtener todos los puntos de vista necesarios para identificarlo, sino también facilitar la redacción de la propuesta teniendo en cuenta las necesidades de los *stakeholders* y plantear las ideas en las que se basará el concepto de operaciones como entregable obligatorio del proyecto.

En cuanto a la fase de ejecución del proyecto, la adaptación de los procesos de ingeniería de sistemas a las características y tipología de proyectos de I+D europeos permiten una planificación y ejecución más fluida del proyecto. También posibilita una mejora en la calidad y fiabilidad en los resultados, ya que estos estarán totalmente orientados al problema identificado.

Por ello, ambas fases se han abordado desde el punto de vista de ingeniería de sistemas no solo identificando las actividades del marco de ingeniería de sistemas que aplican a los proyectos de I+D europeos, sino también las técnicas y métodos que permitirían llevar a cabo cada actividad.

Los Programas Marco de la Comisión Europea tratan áreas tan diversas como energía, transporte (por cualquier medio), medioambiente o seguridad, entre muchas otras. La experiencia y el acceso a documentación del autor está limitada al área del transporte aéreo y por superficie y la seguridad, por lo que no ha tenido acceso a información procedente de otras áreas en las que es posible que las necesidades de aplicación de ingeniería de sistemas sean distintas y por ello haya que particularizar o adaptar el marco de ingeniería de sistemas a estas otras áreas.

Tampoco se ha abordado como hacer la transición del resultado de un proyecto I+D europeo a un producto industrial. Para ello habría que indagar más en tres aspectos:

- 1 Avanzar en otras áreas de investigación mediante proyectos de I+D europeos.
- 2 Investigación más aplicada al producto final por parte de la industria.
- 3 Integración de productos ya comerciales con productos de I+D.

Y todo ello integrado en el marco de un sistema de gestión del conocimiento que permitiera difundir los resultados de los proyectos de I+D europeos a la industria (aunque ésta no haya participado en dichos proyectos) y su uso para mejorar la competitividad del tejido industrial europeo.

En resumen, la ingeniería de sistemas no sólo se puede (y debe) aplicar en sistemas orientados a solucionar problemas de diversos clientes, o con el objetivo de conseguir un producto que se pueda poner a disposición del mercado sino que en la elaboración de propuestas y la ejecución de proyectos de I+D europeos no hay que olvidar que también es fundamental para obtener resultados adecuados y eficaces.

6. Lecciones aprendidas

La realización de este Trabajo de Fin de Máster ha sido una experiencia enriquecedora en varios aspectos personales y profesionales.

En primer lugar, a nivel personal, he aprendido a pensar y razonar sin perder de vista dos objetivos: el resultado final esperado y la visión de otros autores.

Esta lección, a mi juicio la más importante, tiene una segunda derivada. La visión de distintos autores, aunque orientada a un mismo objetivo, va por distintos caminos en los que van encontrando puntos a favor y en contra. A lo largo de mi experiencia profesional he leído y estudiado a muchos autores de forma independiente, pero no ha sido hasta ahora, con el objetivo del proyecto, que he comenzado a relacionarlos para poner en común la información proporcionada por cada uno de ellos y analizarla para llegar al final esperado con el trabajo de fin de máster.

En segundo lugar, a nivel profesional, después de 15 años de experiencia profesional en una empresa de ingeniería de sistemas, he llegado a la conclusión que ésta no se ha considerado en ningún momento para su aplicación a los proyectos de I+D europeos.

La visión proporcionada durante la elaboración del trabajo me ha dado un punto de vista más global y holístico a la hora de llevar a cabo las actividades que tengo encomendadas en el ámbito de los proyectos de I+D europeos, con lo que a partir de ahora podré desempeñar mis funciones con mayor rigor a la vez que me permitirá transmitir el conocimiento y crear cultura de ingeniería de sistemas en Europa mediante la participación en consorcios para la ejecución de proyectos de este tipo.

Este trabajo, sin embargo, está lejos de ser completo y mucho menos perfecto. Si tuviera la oportunidad de volver a comenzar, teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos durante la elaboración del trabajo y la realización de todos los módulos del máster, habría enfocado el trabajo de forma más abierta y completa. Si en un principio, la idea original del trabajo era adaptar el marco de ingeniería de sistemas de (Sols, 2014), ahora, después de la revisión de literatura y la consolidación de los conocimientos de diversos autores, me habría planteado elaborar un marco de ingeniería de sistemas diferente y propio, de forma que este fuera exclusivamente aplicable a los proyectos de I+D europeos.

Esto no quiere decir que el marco inicial considerado sea inexacto y no aplicable ni adaptable a los proyectos europeos de I+D, simplemente mis propios sesgos de conocimiento y la falta de una perspectiva y visión de todos los trabajos previos existentes, lo cual es fundamental en ingeniería de sistemas y parte indispensable del pensamiento sistémico, han hecho que adopte esta aproximación y no otra.

En cualquier caso, haber llevado a cabo esta aproximación hubiera estado fuera del alcance de un TFM debido a la limitación de tiempo para ejecutarlo y, en caso de haber realizado el TFM en este ámbito, el alcance se habría reducido por ejemplo a la creación de un marco para la

elaboración de propuestas simplemente o para una tipología específica de proyectos como los proyectos conceptuales.

No obstante, el enfoque adoptado en este trabajo no lo puedo considerar inadecuado o inservible ya que, desde el mes de marzo de 2021, y simultáneamente a la elaboración del texto, lo he estoy poniendo en práctica, al menos la fase de ejecución de proyecto, en el proyecto USEPE (*U-space SEParation in Europe*).

El proyecto USEPE, formado por organizaciones, industria y universidades, de 4 países europeos (Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, *Nommon Solutions and Technology*, *University of South-Eastern Norway*, DLR, INDRA Navia, *University of Leibniz Hannover* y POLIS), es un proyecto de I+D financiado con fondos del programa H2020 de la Comisión Europea, que busca investigar métodos y tecnologías para la separación de sistemas aéreos no tripulados, volando a baja altitud, en un espacio aéreo denominado (recientemente tras su publicación como reglamento Europeo) *U-space*, en entornos urbanos.

Además de ser el ideólogo que identificó la oportunidad, formó el consorcio y participó en la elaboración de la propuesta, soy el coordinador del proyecto y líder del paquete de trabajo que elabora el concepto de operaciones y (por insistencia mía) la derivación de requisitos de *stakeholder* y de sistema para permitir el diseño del sistema. Por otro lado, debido a que el proyecto tiene como fecha de fin diciembre de 2022, y tiene como objetivo final validar mediante simulaciones en tiempo acelerado el diseño de los métodos y las tecnologías propuestas, pretendo seguir aplicando lo desarrollado en este trabajo para obtener mejores resultados al final del proyecto.

Finalmente, la elaboración de este trabajo y la insistencia en la aplicación de la ingeniería de sistemas en la ejecución de proyectos de I+D también ha generado, en algunos miembros del consorcio, un especial interés en aprender y entender un poco más en que consiste la ingeniería de sistemas.

7. Anexo 1 Bibliografía

Achimugu, P., Selamat, A., Ibrahim R., Mahrin, M.N (2014). A systematic literature review of software requirements prioritization research, *Information and Software Technology*. Volume 56, Issue 6, 2014, Pages 568-585, ISSN 0950-5849. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.02.001>.

Atienza, M.T. (2018). Aspectos socio-culturales en el despliegue de procesos de una multinacional. Sevilla, España. Punto Rojo Libros, S.L.

Blackburn, T.D., Mazzuchi, T.A., Sarkani, S. (2012). Using a TRIZ Framework for Systems Engineering Trade Studies. Wiley Online Library. doi: 10.1002/sys.21199.

Buede, D. M. (2009). *The Engineering Design of Systems: Models and Methods* (Second edition). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Bueno, J. (2019). Aeronautical, Computer and Systems Engineering. A Transdisciplinary Approach to U-space Development. Paper presented at the 2019 Workshop of The Society for Design and Process Engineering. Printed in Madrid, Spain, November 2019. Society for Design and Process Science.

Bueno, J., Arntzen, A. (2019). A systems engineering approach to U-Space drones: concepts and challenges. Paper presented at the 14th System of Systems Engineering Conference (SoSE). IEEE Catalog Number: CFP19SOS-USB.

Calvo, M. (2021). Apuntes del Módulo Apoyo al Ciclo de Vida. Master en ingeniería de sistemas aplicada. Universidad Europea de Madrid.

DiMase, D., Collier, Z.A., Heffner, K., Linkov, I. (2015). Systems engineering framework for cyber physical security. *Environ Syst Decis*. Springer Science+Business Media New York (outside the USA). doi 10.1007/s10669-015-9540-y.

DLR (2017) Blueprint. Concept for Urban Airspace Integration.

DOMUS (2020). Final Study Report. (Disponible en <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

Edler, J., James, A.D. (2015). Understanding the emergence of new science and technology policies: Policy entrepreneurship, agenda setting and the development of the European Framework Programme, *Research Policy*, Volume 44, Issue 6, 2015, Pages 1252-1265, ISSN 0048-7333, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.12.008>.

European Commission. (2014). European Commission Fact Sheet, World Trends in private investment. Facts and figures.

European Commission. Funding and Tenders Portal. On line: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/home>. (Consultado

por última vez el 22 de mayo de 2021. Accesos a la sección pública y privada como participante en consorcios).

GoF (2020). Final Study Report. (Disponible en <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

Goode, H.H., Machol, R.E. (1957) System engineering: an introduction to the design of large-scale systems. New York, McGraw-Hill, 1957.

Grumbach, J.L., Thomas, L.D., (2020). Integration principles for complex systems. Wiley Periodicals LLC, Systems Engineering. 2020;23:684–706. doi: 10.1002/sys.21554.

Hamind, U., Kashif, M., Naqvi, R.F. (2013). Impact of System Engineering Practices on the Performance of R&D Projects – Initial Results. International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 5, No. 1. doi: 10.7763/IJCTE.2013.V5.668.

Haskins, C. (2006). A Systems Engineering Framework for Eco-Industrial Park Formation. Wiley InterScience. doi 10.1002/sys.20063.

ICONUS. (2012). Concept of Operation for UAS in SESAR. DB-2. Edition 02.00.00.

INCOSE. (2015). Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (version 4.0 ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, Inc.

Kjørstad, M., Mansouri, M., Muller, G., Kjenner, S. (2019). Systems Thinking for Early Validation of User Needs in the Front End of Innovation; a Case Study in an Offshore SoS. Paper presented at the 14th System of Systems Engineering Conference (SoSE). IEEE Catalog Number: CFP19SOS-USB.

Meadows, D.H. (2008). Thinking in Systems: A primer. White River Junction, Vermont, USA. Chelsea Green Publishing.

Misiego, B. Sols, A. Lessons learned in the tailoring of life cycle models and systems engineering processes to sociocultural diversity (2017). Proceedings of the American Society for Engineering Management 2017. International Annual Conference.

NASA (2020). Systems Engineering Handbook NASA SP-2016-6105 Rev2.

NASA (2018). Research and Technology Program and Project Management Requirements NPR, 7120.8A.

Lombardo, N., Millard, D., Sturges, M. (2015) A systems Engineering Framework for R&D organisations. 25th Annual INCOSE International Symposium (IS2015). Seattle, WA, USA. doi: 10.1002/j.2334-5837.2015.00113.x.

OMG (2019). OMG Systems Modeling Language (OMG SysML™). formal/19-11-01.

Parnell, G.S., Driscoll, P.J., Henderson, D.L. (editors) (2011). *Decision Making in Systems Engineering and Management (Second edition)*. Hoboken, New Jersey, USA. John Wiley & Sons, Inc.

Pugh, S. (1981) *Concept Selection: A Method that Works*. Proceedings of International Conference on Engineering Design, Heurista, Zürich, pp. 497-506.

Reillon, V. (2017). *EU framework programmes for research and innovation. Evolution and key data from FP1 to Horizon 2020 in view of FP9*. European Parliamentary Research Service. PE 608.697.

Saaty, T. (1980). *Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process*. New York, McGraw Hill.

Santos, L. (2021). *Apuntes del Módulo Gestión de requisitos, integración, validación y Verificación*. Master en ingeniería de sistemas aplicada. Universidad Europea de Madrid.

Salado, A., Nilchiani, R. (2014). *A Categorization Model of Requirements Based on Max-Neef's Model of Human Needs*. *Systems Engineering* 17(3): 348-360.

Salado, A., Nilchiani, R. & Verma, D. (2017) *A contribution to the scientific foundations of systems engineering: Solution spaces and requirements*. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 26, 549–589 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11518-016-5315-3>.

Salado, A. (2021). *Apuntes del Módulo Fundamentos de Ingeniería de Sistemas*. Master en ingeniería de sistemas aplicada. Universidad Europea de Madrid.

Sausser, B., Mansouri, M., Omer, M. (2011) *Using Systemigrams in Problem Definition: A Case Study in Maritime Resilience for Homeland Security*, *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, Volume 8, Issue 1 2011 Article 31. doi: 10.2202/1547-7355.1773.

Sausser, B., Boardman, J. (2015). *Systemigram Modelling for Contextualizing Complexity in System of Systems*. Modelling and simulation support for System of Systems Engineering Applications (First Edition). Chapter 11. John Wiley & Sons, Inc.

Shenhar, A.J., Bonen, Z. (1997). *The New Taxonomy of Systems: Toward an Adaptive Systems Engineering Framework*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, vol. 27, no. 2.

SESAR (2017). *U-space requirements baseline 1*. On-line (Consultado por última vez el 22 de mayo de 2021. <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

SESAR (2018). *U-space requirements baseline 2*. On-line (Consultado por última vez el 22 de mayo de 2021. <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

SESAR (2020). *U-space requirements baseline 3*. On-line (Consultado por última vez el 22 de mayo de 2021. <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

SESAR, (2020b). SESAR Solution XX: Validation Plan (VALP) Template for Vx On-line (Consultado por última vez el 22 de mayo de 2021. <https://stellar.sesarju.eu/> Acceso privado para miembros de proyectos).

SESAR (2019). Project Handbook of SESAR 2020 Exploratory Research Call (Programme Execution Guidance).

Shenhar, A.J., Dvir, D. (2007). Reinventing Project Management: The Diamond Approach to Successful Growth and Innovation. Boston, MA, USA. Harvard Business School Press.

Sols, A. (2014). Systems engineering: theory and practice. Universidad Pontificia Comillas.

Sols, A. (2016). Requirements Engineering and Management. Amazon's CreateSpace Publishing Platform.

Sols, A. (2017). SEFS - Fundamentals of Systems Engineering. University of South East Norway. Curso impartido en Isdefe.

Sols, A. (2021). Conversaciones en las tutorías para la elaboración de este TFM.

Sunil, E., Hoekstra, J., Ellebroek, J., Bussink, F., Nieuwenhuisen, D., Vidosavljevic, A., Kerns, S. (2015) Metropolis: Relating Airspace Structure and Capacity for Extreme Traffic Densities. 11th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. Conference Paper.

USEPE. (2020). Grant Agreement No. 890378. USEPE - U-Space Separation in Europe.

USEPE. (2021). D3.1 Concept of Operations Outline. Grant Agreement 890378.

Wieggers, K.E., 1999, First Things First: Prioritizing Requirements, Software Development, vol. 7, no. 9.

Wheatcraft, L.S., Ryan, M.J., Dick, J. (2016). On the Use of Attributes to Manage Requirements. Wiley Online Library. doi: 10.1002/sys.21369.

Wheatcraft, L.S., Ryan, M.J. (2018). Communicating Requirements – Effectively!. 28th annual INCOSE international symposium. Washington, DC, USA.