

03-049

BIO-ROV CONCEPTUAL DESIGN AND DEVELOPMENT

Ramos Calderón, Teresa ⁽¹⁾; Córdoba Roldán, Antonio ⁽¹⁾; Ávila Gutiérrez, María Jesús ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla

The present research project focuses on the design and development process of a remote operated underwater vehicle (ROV). Applying as design model the Pugh's Total Design model, the project focuses on the early stages of the product design and development process (PDDP) such as market analysis, product specifications and conceptual design. The interest in these stages is justified by the lack of development and depth detected in the state of art carried out about the PDDP in ROVs, also considers the impact of ROV in the interaction with the environment. According to the analysis of established needs, in this work the main functional groups will be specified comparing different technologies to define a list of base components of a ROV. For that purpose, suitable techniques and methodological design tools will be applied, such as requirements education techniques, competitor analysis, dominance and correlation matrixes, QFDs and DSM Matrix. Finally, as a result of the research process and according to the design briefing, conceptual design alternatives for the ROV lay out will be presented. An innovative design will also be conceptualized from a biomimetic approach through the application of the TRIZ tool.

Keywords: ROV; product design and development process; early stages; needs analysis; lay-out; TRIZ

DISEÑO Y DESARROLLO CONCEPTUAL DE BIO-ROV

El presente proyecto de investigación se centra en el proceso de diseño y desarrollo de un vehículo submarino dirigido por control remoto ROV (Remote Operated Vehicle) bajo el modelo de diseño Total Design de Pugh. El proyecto abarca las etapas tempranas del proceso de diseño y desarrollo del producto (PDDP) tales como análisis de mercado, descripción de especificaciones y diseño conceptual. El interés en dichas etapas se debe a la carencia de desarrollo y profundidad detectada en el estado del arte realizado sobre el PDDP en ROVs y el análisis de impacto del ROV en su interacción con el medio. En este trabajo se estudiarán los principales grupos funcionales según el análisis de necesidades establecidas, comparando diferentes tecnologías para definir un listado de componentes base de un ROV. Serán aplicadas técnicas y herramientas metodológicas de diseño adecuadas para las diferentes etapas, como técnicas de educación de requisitos, FAST, análisis de competidores, matrices de dominancia y correlación, QFDs y Matriz DSM. Finalmente como resultado del proceso de investigación y de acuerdo al briefing de diseño, se realizarán propuestas de lay-out conceptual del ROV. También será conceptualizada una propuesta de diseño innovador bajo enfoque biomimético mediante la aplicación de la herramienta TRIZ.

Palabras clave: ROV; proceso de diseño y desarrollo de producto; etapas tempranas; análisis de necesidades; lay-out; TRIZ

Correspondencia: María Jesús Ávila Gutiérrez mavila@us.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Siempre ha existido una clara necesidad del ser humano por la exploración y conocimiento del fondo marino, el cual resulta inaccesible sin la ayuda de sistemas tecnológicos. A lo largo del tiempo se han desarrollado diversas soluciones para cubrir dicha necesidad, permitiendo al ser humano permanecer bajo el agua y poder alcanzar profundidades considerables. Los vehículos submarinos son uno de los mayores avances implementados en este ámbito a día de hoy.

Los vehículos operados a distancia, también conocidos como ROVs, (*Remote Operated Vehicle*), son definidos como una de las tipologías de vehículos submarinos que permiten realizar entre múltiples aplicaciones, tareas de inspección e investigación del medio (Wernli & Christ, 2009). Se trata de dispositivos controlados de forma remota desde una embarcación o plataforma, por lo que suponen una solución que limita drásticamente el riesgo humano evitando la inmersión de un equipo de buzos y sin ser vehículos tripulados como es el caso de los submarinos. Existen numerosas normativas a nivel global que tratan aspectos técnicos y de seguridad asociados a los sistemas ROVs (Hedge, Utne, & Schjøberg, 2015).

Por otro lado, la fragilidad de los ecosistemas marinos frente a las consecuencias del calentamiento global promueve el estudio de las especies y la variación de los parámetros en el agua y las corrientes. Todo ello motiva el desarrollo de este proyecto centrado en un ROV para la inspección e investigación bajo el enfoque eco-innovador que posibilite estudios sobre la situación actual de mares y océanos y permita predecir los cambios futuros y cómo estos puedan afectar a las especies y ecosistemas.

El presente trabajo se divide en tres grandes etapas según el proceso desarrollado que sigue el modelo de diseño *Total Design* de Pugh (Pugh, 1991) e incluye la aplicación de diversas herramientas propias del diseño industrial, tales como técnicas para la educación de requisitos, matrices de dominancia y correlación, diagrama FAST, matrices QFD, matriz DSM y la teoría de resolución de problemas y de invención (TRIZ).

El proceso comienza con una fase previa de búsqueda de información de diferente índole para el planteamiento del proyecto. A continuación, son desarrolladas las etapas tempranas del Proceso de Diseño y Desarrollo del Producto (PDDP) hasta llegar al diseño preliminar del producto y por último una fase de resultados. Tomando como referencia el marco de la eco-innovación, por un lado, se plantea el diseño preliminar del producto buscando la minimización del impacto mediante la incorporación de funciones y componentes específicos. Por otro lado, se propone un concepto de innovación basado en la inclusión de un módulo autónomo e independiente al producto, cuyo diseño se plantea bajo el enfoque biomimético. Para finalizar se plantea un proceso de reflexión sobre las conclusiones extraídas del presente proyecto y el planteamiento de trabajos futuros de cara a la continuidad del mismo con un mayor alcance.

2. Objetivos

Una de las primeras acciones del proceso fue la realización de un estado del arte a partir de la revisión de estudios y artículos sobre el sector de análisis, la robótica submarina (Okeanos, 2012) y en concreto los ROVs (Valdés, 2010). Las fuentes consultadas se centran especialmente en las últimas etapas del proceso, el diseño de detalle y el desarrollo tecnológico del producto (Bauza & Moreno, 2015; Cabrera, 2014). Es por ello que se percibe

una clara carencia en el desarrollo de las etapas tempranas del PDDP en este tipo de proyectos, así como en la aplicación de herramientas metodológicas propias de la ingeniería en diseño industrial (de la Red Calvo, 2015).

De ahí que uno de los principales objetivos del presente proyecto sea profundizar en el análisis y desarrollo de las fases tempranas del PDDP en un sistema técnico de complejidad como es un ROV. Cabe destacar que en base al alcance planteado, el proceso se centra en torno al vehículo, dada la complejidad del sistema integral de un ROV, que implicaría las conexiones con la embarcación (Galisteo & Martínez, 2011).

También se propone como objetivo del proyecto destacar la utilidad de herramientas metodológicas propias de la ingeniería en diseño industrial en el manejo de la complejidad dada en proyectos o productos de cualquier índole. Estas herramientas se emplean a lo largo del proceso, permitiendo abordar las fases de mayor interés como son el análisis de mercado, la valoración de especificaciones, la fase de diseño conceptual y la propuesta conceptual final de diseño eco-innovador en el marco de la biomímesis y el desarrollo sostenible.

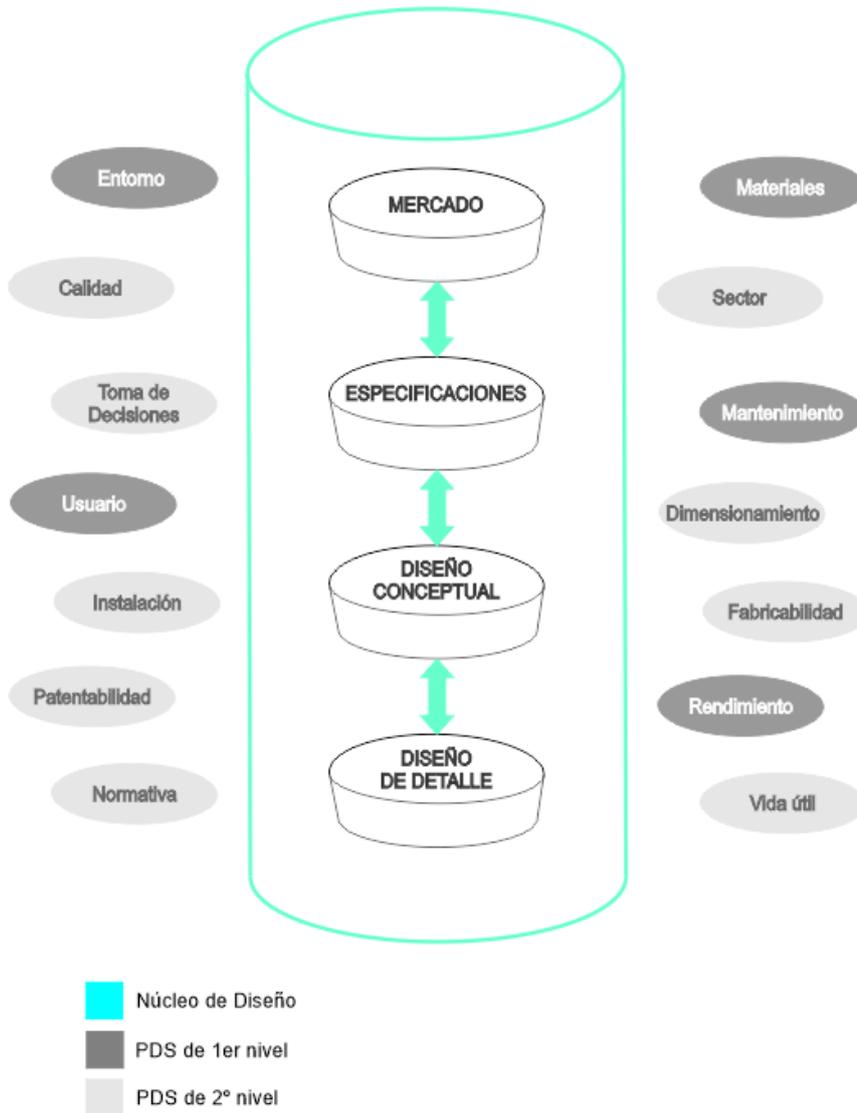
Como objetivos específicos dentro de las etapas mencionadas puede destacarse la definición de necesidades genéricas para ROVs y específicas bajo el enfoque eco innovador, el establecimiento de un listado de funciones de producto, análisis de componentes y sistemas físicos, así como propuestas de *lay-out* de producto y por último el diseño preliminar y de detalle del sistema estructural básico para una configuración concreta del producto.

3. Metodología

Como acción previa en el desarrollo del proyecto, fueron seleccionados una estrategia y un modelo de diseño concretos, buscando la mayor adecuación según las especificaciones del producto y el proceso a abordar. Se ha planteado una estrategia *Push-Pull* (Sarbjit, 2017) como estrategia idónea para el PDDP de un ROV. Puesto que inicialmente se desarrolla una tecnología específica de partida, como ocurre en el enfoque *Technology Push* (Maass, 2012), para después tratar las siguientes fases del PDDP focalizando el interés en la necesidad latente de cara al usuario remarcando la importancia del mercado como se aplica en el enfoque genérico, *Pull Market* (Butler & Stone, 2003). Por lo tanto, la aplicación de una estrategia *Pull-Push* estaría justificada, en tanto que se estudia la necesidad a raíz del análisis del mercado, fusionándola con la tecnología de partida de forma que supla dicha necesidad (Herstatt & Lettl, 2005; Ulrich & Eppinger, 2011).

En relación al modelo de diseño, se realizó una selección entre varios modelos metodológicos (Childs, Downie, & Katz, 2001) hasta establecer el modelo *Total Design* de Pugh (Pugh, 1991) ya se adecua a los objetivos y el alcance establecidos en base a la tipología del proyecto y las etapas en las que se centraría el interés del proyecto (Lumsdaine & Lumsdaine, 2006). Este modelo presenta dos elementos principales, el Núcleo de Diseño o *Design Core*, elemento central que integra las distintas fases del PDDP, y las Especificaciones de Diseño del Producto o *Product Design Specifications* (PDS), que consisten en aquellos parámetros de diseño a considerar a lo largo del proceso para un desarrollo del proyecto eficaz y fructífero (Torres, 2001; Villanueva, Lostado-Lorza, & Corral Bobadilla, 2016).

Figura 1. Representación adaptada del modelo *Total Design* de Pugh.



En la figura 1 se muestra una representación del modelo *Total Design* de Pugh adaptado al desarrollo y alcance del presente proyecto. Como puede observarse, las fases abordadas dentro del Núcleo de Diseño han sido el análisis de mercado, la definición de especificaciones, la fase de diseño conceptual y se plantean también aspectos propios de la fase de diseño de detalle. Por otra parte, alrededor del núcleo se aprecia las PDS seleccionadas para abordar el PDDP de un ROV. Pueden distinguirse algunas PDS sombreadas (PDS de 1er nivel) que fueron estudiadas específicamente en el proyecto, mediante la definición de las mismas con parámetros de relevancia en el proceso de diseño del ROV.

A lo largo del proceso se han aplicado diversas técnicas y herramientas metodológicas, tales como benchmarking en el análisis de mercado; técnicas de educación de requisitos, análisis de afinidad y matriz de dominancia para el análisis de necesidades; matriz de correlación, diagrama FAST y QFD-I para la fase de análisis funcional; y por último QFD-II, matriz DSM

para abordar el dominio físico y la teoría de resolución de problemas y de invención (TRIZ) como técnica para el planteamiento de la propuesta de innovación.

4. Aplicación metodológica

La aplicación metodológica incluye el desarrollo de las fases tempranas del PDDP para un producto genérico, que además serán particularizadas para un ROV de inspección e investigación bajo el enfoque eco-innovador. Partiendo del análisis de mercado mediante el estudio del sector y las diferentes tecnologías aplicadas a este tipo de productos, destaca el análisis de necesidades realizado como punto inicial del proceso. Éstas se traducirán posteriormente en funciones de producto y por último en componentes dentro del dominio físico. En la fase de diseño conceptual se realizan propuestas de *lay-out* bajo el enfoque eco-innovador, y a su vez una propuesta de innovación conceptual aplicando la herramienta TRIZ que se basa en un módulo bioinspirado de acoplamiento para el ROV.

4.1 Análisis de mercado y necesidades

La primera fase del Modelo de Pugh consiste en el análisis de mercado. Esta etapa es desarrollada ampliamente en el presente proyecto incluyendo tres grandes bloques. La estructura establecida parte de una fase de búsqueda de información del mercado en la actualidad, seguida de la fase *technology push* o análisis tecnológico, y por último incluye el análisis de necesidades.

Como resultado de esta fase se estableció una clasificación del sector según las áreas de aplicación y desarrollo en ROVs, empleando una muestra representativa de diez empresas del sector nacionales e internacionales. Además, se estudiaron productos competidores atendiendo especialmente a prestaciones técnicas y a las tecnologías empleadas.

Para abordar el análisis de necesidades se aplicaron técnicas de educación de requisitos como una metodología para establecer aquellas herramientas cuya aplicación sería más idónea de acuerdo a la tipología del proyecto y los agentes implicados. Concluimos que las técnicas de mayor adecuación serían la entrevista abierta y estructurada, cuestionarios y casos de uso. Es por ello que fueron realizadas entrevistas a expertos en el ámbito de estudio, a nivel empresarial y a nivel de investigación.

La información recopilada junto al estudio de mercado previo permitió realizar una reflexión acerca de las necesidades derivadas del usuario y del contexto de uso. Como resultado se definió un listado de necesidades básicas para un ROV organizadas mediante una estructuración jerárquica de acuerdo al grado de especificación de las mismas. También fueron estudiadas mediante un análisis de afinidad. Finalmente se planteó una clasificación más idónea considerando la clasificación planteada por la Metodología de Organización y Especificaciones en Ingeniería (MOOSE) (Morris & Stauffer, 1994).

Como resultado, la clasificación final establece un total de 22 necesidades asociadas a un ROV, incluyendo necesidades corporativas, de usuario final, técnicas, básicas, eco-innovadoras y derivadas del marco normativo legal (Hedge et al., 2015). Para finalizar la fase de análisis, se aplicó una matriz de dominancia como herramienta metodológica, figura 2, para establecer un orden de importancia a la hora de considerar el listado de necesidades en las posteriores fases del PDDP.

Figura 2. Necesidades e importancia derivadas de la matriz de dominancia.

			Importancia (%)	Ranking
N. CORPORATIVAS	N1	Ser fácil de fabricar	0.43	22
	N2	Ser viable económicamente	5.63	7
N. USUARIO FINAL	N3	Ser fácil de transportar	2.60	16
	N4	Ser fácil de montar	3.03	13
	N5	Ser fácil de manejar	5.63	7
N. TÉCNICAS	N6	Conocer estado	5.19	10
	N7	Conocer posición	3.90	12
	N8	Ser resistente a condiciones ambientales	5.19	10
	N9	Ser resistente a la fauna	2.16	18
	10	Incorporar avances tecnológicos	6.93	5
	N11	Incrementar capacidad competitiva	6.49	6
N. BÁSICAS	N12	Poseer acceso a fuente energética	3.03	13
	N13	Permitir desplazamiento por el medio	5.63	7
	N14	Obtener información del agua	2.60	16
	N15	Obtener información del lecho oceánico	2.16	18
	N16	Obtener información de estructuras	1.73	20
	N17	Obtener información de la vida marina	3.03	13
	N18	Comunicar información	0.87	21
N. ECO-INNOVADORAS	N19	Provocar mínimo impacto visual	7.79	4
	N20	Provocar mínimo impacto lumínico	9.09	1
	N21	Provocar mínimo impacto sonoro	8.66	2
	N22	Evitar turbulencias en el medio	8.23	3

4.2 Diseño conceptual

En la fase de diseño conceptual serán empleadas diferentes herramientas metodológicas para establecer la relación entre necesidades, funciones y componentes en el producto objeto de diseño de este proyecto. Partimos del proceso de análisis y definición de funciones obteniendo un listado final de 20 funciones de producto, como observamos en la tabla 1 clasificadas en tres grupos: funciones operacionales, utilitarias y por eco-innovación.

Tabla 1. Listado de funciones de BioROV

FUNCIONES (nivel 1)	ID	FUNCIONES (nivel 2)
FUNCIONES OPERACIONALES	F1	Permitir desplazamiento
	F2	Permitir el control
	F3	Identificar y comunicar estado técnico
	F4	Permitir la geolocalización
	F5	Emitir luz
	F6	Transmitir y recibir información
	F7	Almacenar energía
	F8	Recibir energía
	F9	Generar energía
FUNCIONES UTILITARIAS	F10	Medir parámetros del agua
	F11	Capturar imágenes
	F12	Realizar grabaciones audiovisuales
	F13	Realizar medidas físicas en el medio
	F14	Tomar muestras sólidas
	F15	Identificar la topografía del lecho marino
	F16	Proteger y proporcionar estructura
FUNCIONES POR ECO-INNOVACIÓN	F17	Mimetización formal y de color en el medio.
	F18	Emitir luz de acuerdo al uso y al entorno.
	F19	Permitir el desplazamiento generando mínimo ruido.
	F20	Permitir el desplazamiento generando mínimas turbulencias.

A la hora de definir las funciones eco-innovadoras se partió del análisis de necesidades realizado previamente, concretamente las necesidades eco-innovadoras que hacen referencia a la reducción del impacto del dispositivo en su interacción con el medio. Se acotaron diferentes dimensiones de impacto para establecer medidas concretas que anulen o minimicen el impacto total: impacto visual, lumínico, sonoro y el asociado a las turbulencias generadas en el agua por el vehículo.

Para finalizar el análisis funcional se planteó el modelado funcional FAST preliminar del producto, figura 3. Como puede observarse en el diagrama, se consideran entradas del producto el suministro energético y las órdenes de control. Ambas posibilitan el desplazamiento del dispositivo y la emisión de luz, funciones básicas, junto con especificaciones ligadas al desplazamiento como son el control, el estado técnico y la geolocalización. El desplazamiento por el fondo marino junto con la emisión de luz permite la recogida de los distintos tipos de información bajo el agua. Como salida, la información se transmite al mando de control en la superficie, siendo la función de más alto nivel la transmisión de información.

Una vez concluido el análisis funcional se estudia la relación entre las necesidades y las funciones definidas. La técnica QFD, siglas del inglés Quality Function Deployment, establece cuatro fases principales. En este caso se desarrolla la primera fase de planificación del producto mediante la matriz QFD-I, que como se muestra en la tabla 2 permite relacionar las necesidades con las funciones del producto, es decir, el dominio de la necesidad y el dominio funcional. Realizando las puntuaciones para valorar esa relación entre necesidades y funciones se obtiene un ranking de funciones, información que permitirá valorar posteriormente con la matriz QFD-II aquellos componentes de mayor relevancia en cuanto a la satisfacción de las funciones de producto.

Figura 3. Diagrama FAST del producto.

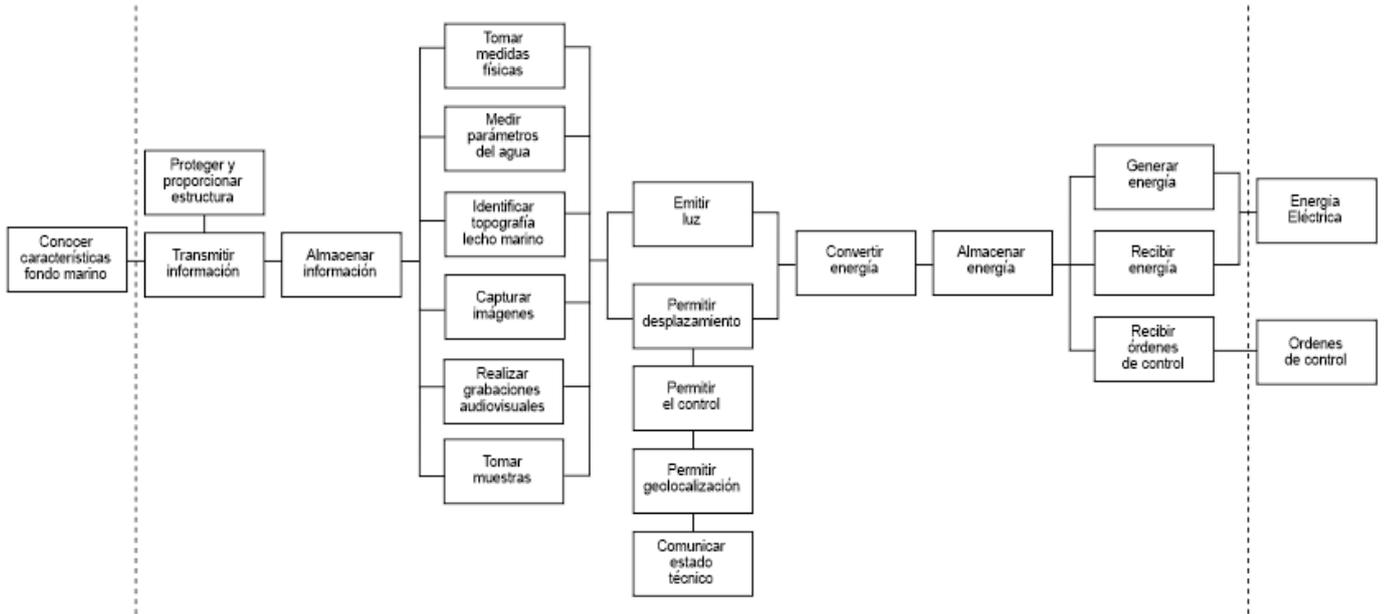


Tabla 2. Matriz QFD-I.

QFD-I			FUNCIONES															
			FUNCIONES OPERACIONALES								FUNCIONES UTILITARIAS							
NECESIDADES	ID	Pesos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N. Corporativas	N1	0,43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N2	5,83	0	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
N. Usuario Final	N3	2,80	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	N4	3,03	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
N. Técnicas	N5	5,83	9	9	3	9	9	9	1	0	0	0	9	9	1	0	3	0
	N6	5,19	1	1	9	1	1	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	N7	3,90	3	9	1	9	1	9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
	N8	5,19	3	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	N9	2,16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N10	6,93	3	1	1	1	9	1	3	3	9	3	3	3	3	9	1	1
	N11	6,49	3	1	1	1	9	1	1	1	9	1	1	3	3	9	1	1
	N12	3,03	9	9	0	0	0	0	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0
	N13	5,83	9	9	3	3	0	0	3	3	3	0	1	0	0	0	0	0
	N14	2,80	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
N. Básicas	N15	2,16	1	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N16	1,73	1	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0
	N17	3,03	1	0	0	3	1	3	0	0	0	9	9	9	1	9	1	0
	N18	0,87	0	0	9	3	0	9	0	0	0	3	3	3	3	3	3	0
N. Eco-Innovadoras	N19	7,79	9	1	1	3	9	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	N20	9,09	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	N21	8,86	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N22	8,23	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100		435,50	200,87	124,24	173,59	341,13	190,48	102,60	91,34	196,10	86,15	135,93	143,29	74,03	156,28	61,04	25,11
			0,17	0,08	0,05	0,07	0,13	0,08	0,04	0,04	0,08	0,03	0,05	0,06	0,03	0,06	0,02	0,01
			17,16	7,92	4,90	6,84	13,44	7,51	4,04	3,60	7,73	3,39	5,36	5,65	2,92	6,16	2,41	0,99
			1	3	10	6	2	5	11	12	4	13	9	8	14	7	15	16

Una vez establecido el listado definitivo de funciones del producto pasamos la frontera entre el dominio funcional y el dominio físico. A continuación habrá que estudiar qué tecnologías y qué dispositivos (Moreno et al., 2014) resultan más idóneos según la función a implementar, el contexto y la necesidad de partida (Cañete & Yuste, 2014). Se propone la definición del dominio físico estableciendo un listado de componentes en base al estado del arte, el

estudio de mercado, el análisis tecnológico y la consulta a expertos realizados anteriormente.

Un total de 30 componentes básicos integran el dominio físico del producto, los cuales satisfacen las funciones establecidas tales como permitir el desplazamiento y control del vehículo, la emisión de luz, la captación de información audiovisual, geográfica y en relación a los parámetros del agua, además de las funciones esenciales tales como dar soporte y proteger la estructura del dispositivo, permitir el suministro eléctrico y asegurar la estanqueidad en el POD, el módulo en seco (De Smidt & Marais, 2014).

En relación a las funciones eco-innovadores fueron establecidos los siguientes componentes:

- **Carcasa biomimética:** se plantea una estructura compacta para el dispositivo y el uso de una carcasa que permita la mimetización formal y de color en el medio. También se plantea como avance tecnológico el uso de un recubrimiento polimérico inspirado en la piel del tiburón para favorecer la hidrodinámica del vehículo, que servirá también como protección externa ante las condiciones ambientales sobre el producto y podría combinarse con la mimetización de color.
- **Focos LED y luz infrarroja con regulador de intensidad para la captación de imagen:** de esta forma se podrá emplear una tecnología de luz concreta en base a la profundidad de operación y a la visibilidad necesaria reduciendo el impacto lumínico en el medio. Además, se podrá controlar el nivel de intensidad, en base a las diferentes fases de sumersión e inspección del fondo marino.
- **Focos de luz ultravioleta para el estudio del coralígeno,** ya que los corales son significativamente sensibles a los cambios en los ecosistemas y un pilar fundamental dentro de los mismos, se incorporan como avance tecnológico que aporta valor frente a productos similares. La luz ultravioleta (UV) a niveles adecuados permite estudiar la fluorescencia y tomar imágenes del coralígeno que habita a mayores profundidades, e incluso se estudian los beneficios de esta luz en los corales, ya que ayuda a que florezcan y mejora la fotosíntesis en algunas especies.
- **Propulsores adaptados con hélices silenciosas,** empleadas en aplicaciones militares con palas específicas y toberas para una mejor canalización del flujo y evitar laceraciones en especies marinas. Así se posibilita la minimización del impacto sonoro y las turbulencias generadas en el desplazamiento.

Una vez establecido el listado final con un total de 30 componentes, se plantea la segunda fase de la técnica QFD, el desarrollo de subsistemas y componentes mediante la matriz QFD-II que relaciona las funciones del producto con los componentes. Cabe decir que dicha matriz fue aplicada al producto de forma general, considerando las funciones operacionales y utilitarias para obtener componentes genéricos que bajo el enfoque eco-innovador han sido introducidos con el objetivo de minimizar las diferentes dimensiones de impacto del producto contempladas.

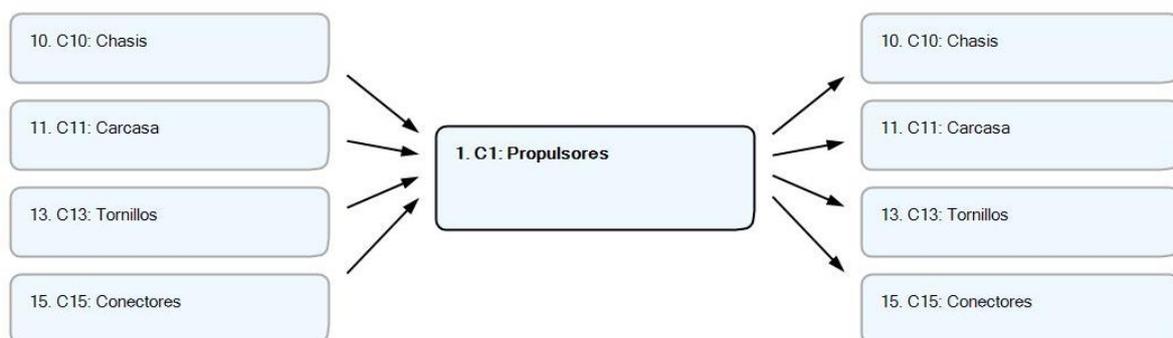
La aplicación de la matriz QFD-II permite conocer aquellos componentes de mayor importancia en relación a la funcionalidad del producto. Esta información orienta acerca de cuáles son los componentes clave, conociendo aquellos sistemas en los que se debe considerar mayores esfuerzos para asegurar la calidad del producto total a lo largo del ciclo de vida.

Se concluye que los componentes relacionados con el sistema de alimentación son prioritarios, dado que se relacionan fuertemente con el resto de los componentes y por tanto, con las funciones de producto. También destacan aquellos componentes relacionados con el control y el desplazamiento del dispositivo, tales como las cámaras, el sistema de posicionamiento y los propulsores.

Cabe destacar que, de acuerdo al análisis funcional realizado, los componentes estructurales satisfacen la función de proteger y dar soporte, por lo que la técnica QFD los posiciona al final del listado, pero debe considerarse la importancia de los mismos en el producto y el fuerte impacto del medio acuoso en los materiales seleccionados (Ross, 2006). Por lo cual, también se deberían invertir mayores esfuerzos en el sistema estructural.

Para finalizar la fase de diseño conceptual se realizó un estudio de las dependencias físicas entre componentes. El análisis de los componentes definidos y las relaciones entre los mismos permitió establecer propuestas de lay-out conceptual. Para ello se empleó la información recabada en el estado del arte, el estudio de mercado, el análisis tecnológico y fue también aplicada una matriz DSM como apoyo. Además de la representación matricial, también se incluyen en el proyecto ejemplos del grafo entre algunos componentes como muestra la figura 4. Como resultado de este proceso fueron definidos los siguientes sistemas básicos para el ROV: sistema de propulsión, sistema audiovisual, sistema de geolocalización, sistema de soporte y sujeción, sistema de extracción de información y sistema de estanqueidad. Éstos fueron considerados a la hora de establecer los *lay-outs* y la posterior propuesta conceptual de innovación mediante TRIZ.

Figura 4: Grafo direccional C1, Propulsores (Matriz DSM)



4.3 Diseño innovador biomimético

Para realizar la propuesta de innovación en relación al producto en la fase de diseño conceptual se plantea el uso de TRIZ como herramienta metodológica, y por otro lado se propone la aplicación del marco de la biomímesis para el desarrollo de la eco-Innovación. A continuación, se presentan las diferentes fases de esta metodología para resolver la contradicción y plantear un concepto innovador.

1) Planteamiento y análisis del Problema Concreto

En relación a la propuesta de innovación presente, se propone diseñar como concepto un mecanismo que permanezca en el medio y que complemente a un ROV especializado en el

área de la inspección y la investigación científica. Así se obtendrían datos de un espacio acotado a lo largo de un periodo tiempo, permitiendo conocer el entorno y las especies habitantes. Por tanto, como definición del problema concreto se tiene:

- Objetivo: mejorar la durabilidad, la autonomía y la recopilación de información en un área concreta dentro del lecho marino durante una exposición prolongada.
- Un ROV depende de la embarcación o plataforma a partir de la que recibe el suministro eléctrico y las órdenes de control mediante el umbilical. Estos dispositivos no están diseñados para permanecer en una ubicación fija con autonomía.

2) Definición del Problema Abstracto

Resulta clara la contradicción puesto que el ROV se encuentra en movimiento en el medio y está físicamente conectado a la embarcación, por lo que no podría permanecer fijo en el lecho marino.

- Contradicción: el ROV debe desplazarse y ser dependiente (embarcación), y simultáneamente debe permanecer inmóvil y ser independiente.

A continuación, se realiza la traducción de la contradicción establecida a los parámetros TRIZ para poder aplicar posteriormente la matriz de contradicciones. Buscando la mejora de la durabilidad de un objeto sin movimiento (parámetro 16).

3) Definición de la Solución General TRIZ

Con el objetivo de mejorar la durabilidad, la autonomía y la recopilación de información en un área del lecho marino durante exploraciones prolongadas se propone un diseño innovador basado en biomimesis para la mimetización del módulo en el entorno. Para ello se aplica la metodología TRIZ bajo los principios inventivos de segmentación y separación (Fayemi et al., 2014).

- P1. Segmentación: dividir un objeto o un sistema en partes independientes. Hacer de un objeto fácil de desarmar. Incrementar el grado de fragmentación o segmentación.
- P2. Separación: Separar sólo la parte necesaria (o propiedad) o eliminar cualquier parte o propiedad que interfiera de un objeto o sistema. Usualmente solo se necesita solo una parte del sistema o alguna propiedad o característica.

4) Definición de la Solución Específica

En esta fase se realiza la exploración y definición del concepto de solución para la contradicción planteada. Se propone la solución conceptual que consiste en la inclusión de un módulo independiente y autónomo en el ROV para la captación y almacenamiento de información en el lecho marino. Dicho módulo sería acoplable al ROV, por lo que en la secuencia operacional el ROV junto al módulo realizan la sumersión hasta posicionarse en la ubicación de interés. Acto seguido se produciría el desacoplamiento de forma que el ROV regresa a la embarcación. Por otro lado, el módulo permanecerá en el lecho marino por un periodo de tiempo concreto en base a la autonomía, para tomar datos y muestras sólidas. Una vez transcurrido el periodo se procederá a la recuperación del módulo gracias al ROV y al sistema de acoplamiento.

Existirá un paralelismo entre los componentes del ROV y del módulo autónomo, destacando la inclusión del elemento de lastre que aporta estabilidad al módulo autónomo. Se incluye también el conector con el ROV, una interfaz temporal que permita la conexión y desconexión del módulo durante la operación.

Además, se propone la aplicación de biomimetismo como marco para el diseño de dicho módulo, ya que debe permanecer un tiempo considerable en el agua. Esto hace que sea conveniente la integración en el medio para minimizar el impacto del dispositivo. Se plantea conseguir dicha integración con el entorno a nivel visual mediante dos alternativas, una de ellas mediante el diseño formal y otra mediante la aplicación de acabados superficiales.

El diseño formal se conseguirá simulando un elemento habitual en el lecho marino, como una roca o un coral. Para valorar la idoneidad de esta solución se propone realizar un estudio en un entorno controlado como podría ser un acuario, para analizar el comportamiento de las especies en su interacción con el módulo. Esta propuesta se basa en los diseños de cámaras empleadas para la filmación de fauna en la actualidad.

Los acabados superficiales permitirían mantener la forma del módulo, ya sea de tipo torpedo u *hovering*, y la mimetización se obtendría mediante la aplicación de una textura visual que simule el lecho marino y sirva como sistema de camuflaje del módulo autónomo. Esta solución se basa en el diseño de trajes de buzo militar.

5. Conclusiones

Como resultado del proceso establecido en el presente proyecto, centrado en las etapas tempranas del PDDP y gracias a la aplicación de herramientas metodológicas de diseño industrial, ha sido elaborado un listado de necesidades traducidas en funciones y componentes básicos para el diseño y desarrollo de ROVs. Se cumple así uno de los objetivos esenciales del proyecto, suplir la carencia en los artículos y estudios del ámbito en cuanto a dichas fases.

La óptima aplicación de las herramientas y el modelo de diseño establecido como línea conductora del proceso, pone de manifiesto la importancia del diseño industrial en todo tipo de proyectos, no solo aquellos de carácter formal sino también funcional y complejos como supone el proceso de diseño y desarrollo de un ROV. Cabe mencionar también que la multidisciplinariedad es uno de los pilares fundamentales a la hora de abordar proyectos en la actualidad. De cara al desarrollo futuro podría profundizarse no solo en términos de diseño, sino también en otras dimensiones del producto como son la electrónica, eléctrica y mecánica.

Resulta de especial interés el proceso de estudio realizado desde el análisis de necesidades aplicado a ROVs hasta traspasar la frontera del dominio funcional y el dominio físico, llegando a obtener un listado justificado de componentes base bajo el enfoque eco-innovador, así como el planteamiento de propuestas de *lay-out* para el producto.

Se concluye el proceso con una reflexión acerca de propuestas de trabajo derivadas de este proyecto que podrían abordarse en un futuro, tales como la realización de simulaciones de las condiciones externas e internas en el contexto de uso del producto para validar el diseño, antes de realizar pruebas reales en agua con un prototipo funcional. En este sentido sería prioritario el análisis de las especificaciones seleccionadas en el presente proyecto, en especial la presión interna del POD, el sistema de estanqueidad y la resistencia estructural ante un impacto durante una operación real con el vehículo. También sería de gran interés realizar un análisis en un entorno controlado con especies para la validación de las soluciones eco-innovadoras, evaluando el impacto del producto.

Uno de los objetivos de mayor interés alcanzado en el presente proyecto, ha sido el planteamiento de un concepto innovador. Por un lado, se incluyeron componentes específicos para la satisfacción de las necesidades eco-innovadoras definidas, y por otro lado fue desarrollada mediante TRIZ una propuesta conceptual de innovación basada en la inclusión de un módulo autónomo al que se podría aplicar Biomimetismo como base para la eco-innovación. Esta propuesta supone además una oportunidad de mercado y podría seguir desarrollándose de cara a futuros trabajos aportando valor a la comunidad científica y al sector de este tipo de productos.

6. Bibliografía

- Bauza, J., & Moreno, J. A. (2015). *Vehículo de inspección submarina*. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81559/111193_TFG2015 Joan Bauza Roig.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81559/111193_TFG2015%20Joan%20Bauza%20Roig.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Butler, I., & Stone, P. (2003). *Design & Manufacturing of Materials*. Oxford Materials.
- Cabrera, D. (2014). *Design and Construction of a ROV (Remotely Operated Vehicle) Submarino USFQ* Diseño y Construcción de un ROV (Remotely Operated Vehicle) Submarino USFQ, 6(1).
- Cañete, R., & Yuste, P. (2014). *Localización y posicionamiento de equipos subacuáticos mediante ultrasonidos*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59503/Memoria.pdf?sequence=1>
- Childs, P., Downie, J., & Katz, T. (2001). Design Models and Their Value in Education. In *Sharing Experience in Engineering Design (SEED) 2001* (p. 8).
- de la Red Calvo, J. (2015). *Modelado, Simulación y Control de un Vehículo Submarino Manipulado de forma Remota (ROV)*. Retrieved from <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5198/pfc6321.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Smidt, R., & Marais, S. T. (2014). *Development of the Electronics Pod for an Underwater Remotely Operated Vehicle*. Retrieved from <http://www.prasa.org/proceedings/2014/prasa2014-12.pdf>
- Galisteo, H. :, & Martinez, F. X. (2011). *Propuesta de nuevos dispositivos, mejoras de circuitos y sistemas implementados en ROVs*. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13626/Propuesta de nuevos dispositivos, mejoras de circuitos y sistemas implementados en ROVs para trabajos de búsqueda y rescate..pdf#targetText=3- Desarrollo](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13626/Propuesta%20de%20nuevos%20dispositivos,%20mejoras%20de%20circuitos%20y%20sistemas%20implementados%20en%20ROVs%20para%20trabajos%20de%20búsqueda%20y%20rescate..pdf#targetText=3- Desarrollo)
- Hedge, J., Utne, I. B., & Schjøberg, I. (2015). APPLICABILITY OF CURRENT REMOTELY OPERATED VEHICLE STANDARDS AND GUIDELINES TO AUTONOMOUS SUBSEA IMR OPERATIONS.
- Herstatt, C., & Lettl, C. (2005). Management of “technology push” development projects. *International Journal of Technology Management*, 27(2/3), 155. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2004.003950>
- Lumsdaine, E., & Lumsdaine, M. (2006). *Pugh Method Example: Design of a Car Horn*.
- Maass, W. (2012). *Product-Service Information Systems – Designing New Products*. Saarbrücken, Germany: Chair in Economics – Information and Service Systems (ISS) Saarland University.
- Moreno, H. A., Saltarén, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P., & Álvarez, C. (2014). Robótica submarina: Conceptos, elementos, modelado y control. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 11(1), 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.11.001>
- Morris, & Stauffer. (1994). *Methodology of Organizing Specifications in Engineering - MOOSE*.
- Okeanos, N. (2012). Introducción a los robots submarinos. *NOAA Okeanos Explorer*. Retrieved from <http://oceanexplorer.noaa.gov/okeanos/media/exstream/>

- Pugh, S. (1991). *Total Design*. Addison Wesley.
- Ross, C. T. F. (2006). A conceptual design of an underwater vehicle. *Ocean Engineering*, 33(16), 2087–2104. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.11.005>
- Sarbjit, S. (2017). Study on Push/ Pull Strategy Decision Taken by Organizations for Their Products and Services. *Universal Journal of Management*, 5(10), 492–495. <https://doi.org/10.13189/ujm.2017.051004>
- Torres, M. A. (2001). Total Design: A Methodology for Product Design. Department of Mechanical Engineering. University of Puerto Rico.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2011). *Product Design and Development*. (M.-H. Education, Ed.) (5^o).
- Valdés, D. (2010). *Robotica Submarina*.
- Villanueva, P. M., Lostado-Lorza, R., & Corral Bobadilla, M. (2016). Pugh's Total Design: The design of an electromagnetic servo brake with ABS function - a case study. *Concurrent Engineering: R&A*. <https://doi.org/10.1177/1063293X16638710>
- Wernli, R. L., & Christ, R. D. (2009). *Observation Class ROVs Come of Age*. Retrieved from http://seatrepid.com/wp-content/uploads/2016/07/UT_PAPER_FINAL-WERNLI.pdf

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

