

# Metodología para la evaluación de costos de alternativas tecnológicas propuestas para el proyecto PES

Por: Lina Suárez Téllez<sup>1</sup>

*“El mar - y esto hay que confesarlo - no tiene generosidad. No muestra cualidades varoniles: coraje, resistencia, fidelidad. Nunca ha sido conocido por su manejo irresponsable de su poder”.*

Joseph Conrad

## Introducción

La Armada República de Colombia, ARC, estableció dentro de su Planeamiento de Fuerza 2030, la hoja de ruta para el programa de adquisición de las Plataformas Estratégicas de Superficie, PES, las cuales corresponden a la futura flota de fragatas colombianas. Desde las primeras etapas del diseño se hizo necesario establecer metodologías para la valoración económica del costo de adquisición, con el fin de evaluar comparativamente cada una de las alternativas tecnológicas desarrolladas por métodos paramétricos. El costo se constituye en una de las dimensiones utilizadas en la metodología basada en múltiples alternativas Set Based Design, SBD (Singer, Doerry & Buckley, 2009), junto con la efectividad y el riesgo, seguido por el estudio y la comparación de los diseños más favorables resultado de la generación de múltiples soluciones de forma paramétrica como lo muestra el Gráfico 1. Para, posterior a esto, iniciar la creación de diseños conceptuales, los cuales permitieron consolidar la versión final de los Objetivos de Estado Mayor, OEM, y así cumplir el objetivo final de la fase Conceptual del proyecto e iniciar la fase de Definición, como se

---

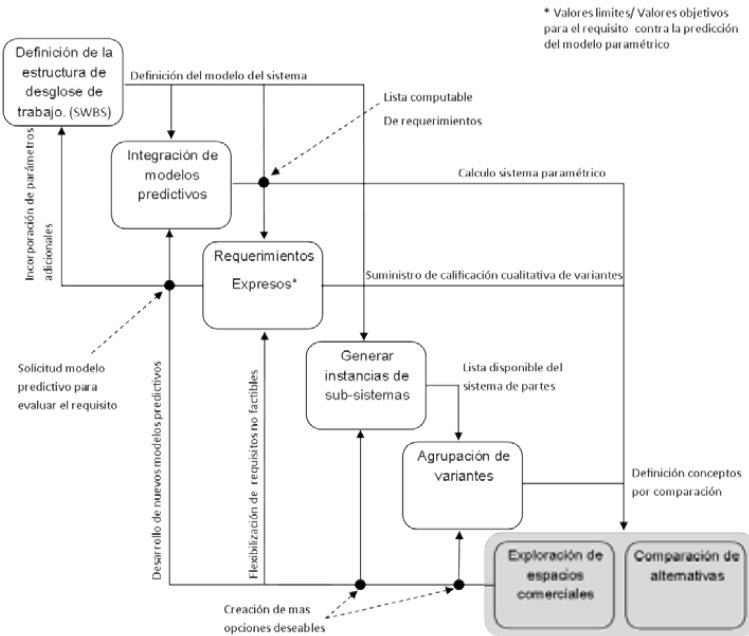
<sup>1</sup> Lina Suárez Téllez. Magíster en Arquitectura Naval y Arquitecta Naval en la Gerencia de Diseño e Ingeniería de Cotecmar.



Render de la Plataforma estratégica de superficie PES

muestra en el Gráfico 2. La siguiente fase involucra a la industria mediante el lanzamiento del instrumento conocido como Request For Information, RFI, el cual será descrito durante este documento como parte de la metodología de evaluación y tendrán la finalidad de cumplir los objetivos de la selección de alternativa y determinación de requisitos funcionales. La evaluación de costos es fundamental en este proceso, debido a que las decisiones tomadas durante esta fase tienen alta relevancia e impacto en los costos durante el ciclo de vida de la flota, así como lo describe el Phased Armaments Programming System, PAPS, de la OTAN, el cual fue adaptado para este programa.

**Gráfico 1. Traducción del Flujo de Trabajo - Framework for Assessing Cost and Technology, FACT.**



Fuente: Doerry et al, 2013.

## Estructuración del modelo de costos

Siguiendo la estructura de fases típicas del programa, como se muestra en el Gráfico 2, actualmente, el proyecto se encuentra finalizando la Fase de Definición, durante el desarrollo de estas dos primeras fases ha sido necesario generar un modelo de evaluación de costos que se ha ido adaptando al nivel de información disponible en cada fase.

**Gráfico 2. Programa de adquisición de capacidades militares.**



Fuente: Carreño, Pinto & Tascón, 2013.

**Tabla 1. Definiciones del programa de adquisición de capacidades militares.**

DNO	Documento Necesidad	REM	Requisitos de Estado Mayor
OEM	Operacional	A o A	Análisis de Alternativas
	Objetivo de Estado Mayor	DDP	Directiva de Programa

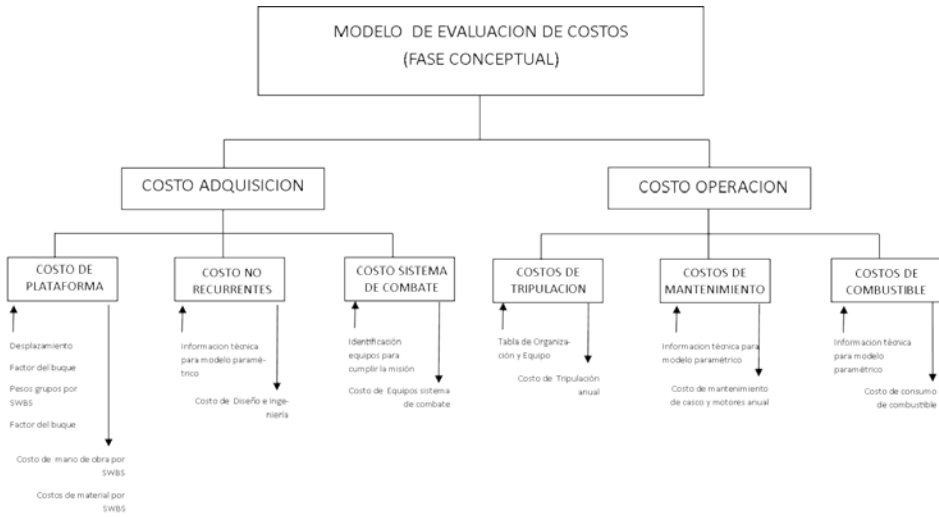
El modelo de evaluación de costos se ha ido alimentando de la exploración en métodos intuitivos, de lógica difusa, de simulación, extrapolación, realización de vigilancias tecnológicas, transferencia de conocimiento de expertos y métodos paramétricos, por lo que se decidió crear un modelo de evaluación de

costos que se integrara al procedimiento de generación de alternativas y usara salidas como resultado del diseño paramétrico, el cual se realizó en el software Commercial Parametric Assessment of Ship Systems, CompPASS, el cual fue determinado como fundamental en el proceso de modificación y creación de variantes al diseño en etapas tempranas, como lo es la fase Conceptual.

Dicha herramienta proporcionó algunas de las salidas expresas más adelante, para ser usadas como entrada en la creación del modelo de Evaluación de costos que considerara el ciclo de vida para la evaluación y selección de alternativas.

Este modelo se creó basado en dos partes principales: la adquisición y la operación, conformando el análisis de costos de ciclo de vida, el cual se configura acorde con el Gráfico 3.

**Gráfico 3. Estructura modelo de Evaluación de Costos.**



El modelo de costos para la adquisición del buque está estructurado por un modelo compuesto realizado por Thomas Lamb, adaptado a la productividad de Cotecmar; el cual está basado en dos conceptos fundamentales: un valor básico para cada Ship Work Breakdown Structure, SWBS, a partir de Cost Estimating Relationship, CER, y un valor ajustado al tamaño y la complejidad del buque que se requiera evaluar. El modelo también integra un listado de costos de equipos para el sistema de combate realizado acorde con la misión de cada diseño y resultados del diseño paramétrico para la obtención de costos no recurrentes, el cual es estimado para cada uno de los diseños paramétricos generados.

El modelo de operación está compuesto por un cálculo de costos de la tripulación por rango, que para este año se basó en el Decreto 214 del 12 febrero del 2016 (Presidencia de la República de Colombia, 2016), también integra costos de mantenimiento para casco y propulsión así como costos de combustible, los cuales son resultados del diseño paramétrico mencionado anteriormente. Como producto se obtienen valores anuales, los cuales son llevados a valor futuro usando incrementos anuales para cada uno de los componentes basados en teorías económicas; al final, todos estos valores son llevados acorde con el tiempo de vida convenido para las futuras fragatas.

Este modelo se aplicó para las alternativas generadas de forma paramétrica y algunos diseños conceptuales generados por consultores independientes expertos, tales como University College of London, UCL, y Marinetechnik, MTG, lo cual permitió dar validez para ser usado en futuras evaluaciones. En esta fase de definición también se dio inicio a una exploración del mercado, en la que se identificaron proyectos que cumplieran con requerimientos establecidos por la ARC, mediante la emisión de un cuestionario denominado RFI, dirigido a astilleros con experiencia en diseño y construcción de buques de guerra y disposición para actuar como socios tecnológicos de Cotecmar en el proyecto.

Se ha evolucionado de la siguiente forma:

## RFI I

La finalidad principal de este primer RFI fue iniciar un proceso estructurado de obtención de información para hacer comparaciones, por medio de una competencia igualitaria con los proponentes; la cual serviría para afinar la definición de los requisitos funcionales por medio de la evaluación del costo y el desempeño de alternativas de diseño; así mismo, para comparar costos y evaluar resultados para las diferentes estrategias de obtención, acorde con el Gráfico 4.

**Gráfico 4. Matriz que contiene 24 estrategias globales de obtención.**

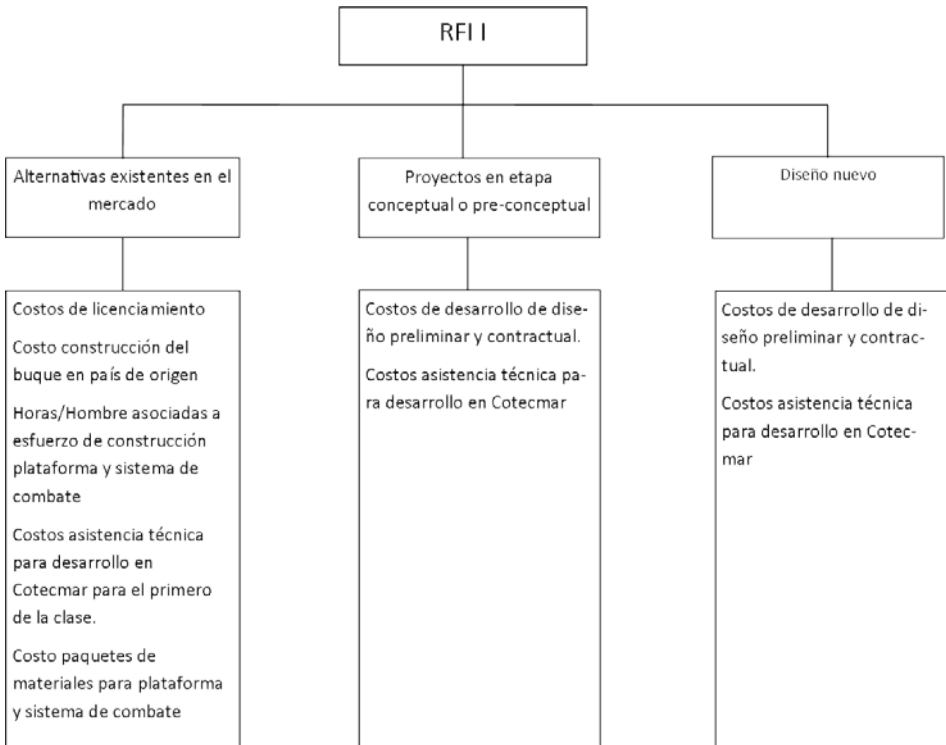
	DISEÑO					
	EXISTENTE	MODIFICADO		NUEVO		
	COMPRADO	COMPRADO	CODESARROLLO	COMPRADO	CODESARROLLO	DESARROLLADO
EXTRANJERO	1A	2A	3A	4A	5A	6A
EXTRANJERO (1ro)	1B	2B	3B	4B	5B	6B
CO- PRODUCCION	1C	2C	3C	4C	5C	6C
COTECMAR	1D	2D	3D	4D	5D	6D

Fuente: Tascón & Sanjuan, 2015.

El RFI I fue enviado a ocho diferentes proponentes que demostraron interés en ser partícipes del proyecto; para la metodología de Evaluación de Costos

se envió un documento enfocado en tres aspectos, como lo describe el Gráfico 5, junto a un gran listado de requerimientos técnicos, los cuales fueron usados para la recreación de cada una de las alternativas propuestas usando el software de diseño paramétrico COMPASS, el cual utiliza fórmulas y coeficientes para perturbar las características de un buque patrón “Frigate Type” en este caso y así poder obtener características del buque objetivo, tal como son las alternativas tecnológicas recibidas como respuesta al RFI. Gran parte de la información de salida es tomada para alimentar el modelo de Evaluación realizado para el análisis de esta herramienta.

**Gráfico 5. Estructura solicitud de información de costos para RFI I.**



Como se mencionó anteriormente, el objetivo fue analizar y comparar información de costos y efectividad de las diferentes alternativas, para lo cual se compararon los costos recibidos por los proponentes, los cuales fueron identificados como Costos Astillero y los costos obtenidos como resultado del cálculo numérico para cada uno de los diseños paramétricos se identificó como Costos Numéricos. Para ello se usó el modelo de costos creado y explicado anteriormente, haciendo una distinción entre la producción en país extranjero

(A) y la producción de los buques en Cotecmar (D), acorde con la matriz de estrategia de obtención (Gráfico 4). Dicha distinción se realizó asumiendo coeficientes relativos a la producción y costos de mano de obra propios de los países analizados, tomados en gran parte de la Ilustración 6; los ejercicios de comparación permitieron analizar las siguientes alternativas de obtención: Costos Astillero: 1A, 1D, 3D y 5D.

Costos Numéricos: 1A, 3A, 1D y 3D y variantes técnicas realizadas en el mismo modelo paramétrico a algunas de las propuestas tecnológicas recibidas.

Costos Diseños Conceptuales: 5A y 5D.

El resultado de este análisis permitió continuar con la decisión de contemplar dos estrategias posibles de obtención 3D y 5D, consideradas idóneas, debido a que estas contribuirán con Programas de Transfer of Technology, ToT, Transfer of Knowledge, ToK, Transformación Productiva, generación de empleo, aumento de capacidades tecnológicas, búsqueda de oportunidad, entre otras. Con esto se procede al lanzamiento del siguiente RFI.

**Gráfico 6. Costo hora mano de obra en astilleros internacionales.**

Year	U.S.A.	Finland	France	Germany	Italy	Japan	Korea	UK
HR (£/hr) [2008]	56.57	75.32	64.87	85.27	51.72	60.92	46.81	50.16

Fuente: UCL, 2011.

## RFI II

La finalidad de este documento fue continuar con el refinamiento de los requisitos funcionales para la construcción de las primeras fragatas, para el cual se crearon diferentes anexos, cada uno enfocado en los siguientes aspectos:

Anexo "A", Requisitos de Estado Mayor Preliminar

Anexo "B", Fases de diseño e ingeniería Cotecmar

Anexo "C", Formato de revisión de Requisitos de Estado Mayor Preliminar

Anexo "D", Formato solicitud de información relacionada con costos

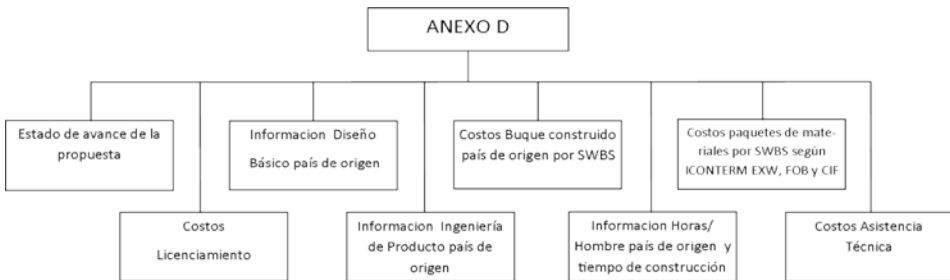
Anexo "E", Preguntas específicas sobre Condiciones de Asociación y Requisitos de Cooperación.

Para la metodología de Evaluación de costos se realizó el Anexo D, el cual comprendió aspectos de costos considerados importantes durante diseño e ingeniería, construcción y entrega de las fragatas para cada una de las

alternativas propuestas, solicitando información más específica, tal como se muestra en el Gráfico 7.

Finalmente, se evaluaron y compararon minuciosamente las alternativas recibidas con el fin de determinar un valor de referencia en dos condiciones diferentes; una, el costo Rough Order of Magnitude, ROM, del buque hecho en país de origen y, dos, un costo de referencia a partir del análisis de probables costos y esfuerzos asociados a cada uno de los ítems solicitados.

**Gráfico 7. Estructura Anexo D del RFI II**



Lo anterior se realizó con el fin de mejorar los planeamientos de las capacidades de la plataforma, acorde con la comparación de presupuesto y tiempo estimado del programa; así mismo, conocer los posibles socios tecnológicos para clasificar sus propuestas de alternativa tecnológica vs. sus propuestas de socio tecnológico e influencia en el cumplimiento de la estrategia tecnológica; la cual analiza los factores Material, Infraestructura, Recursos Humanos, Adiestramiento, Doctrina y Organización, MIRADO, que incluyen inicialmente ARC y Cotecmar. Estos son fundamentales para la creación del programa de forma global.

### **Futuro RFI III y Modelo de Evaluación Integrado, MEI**

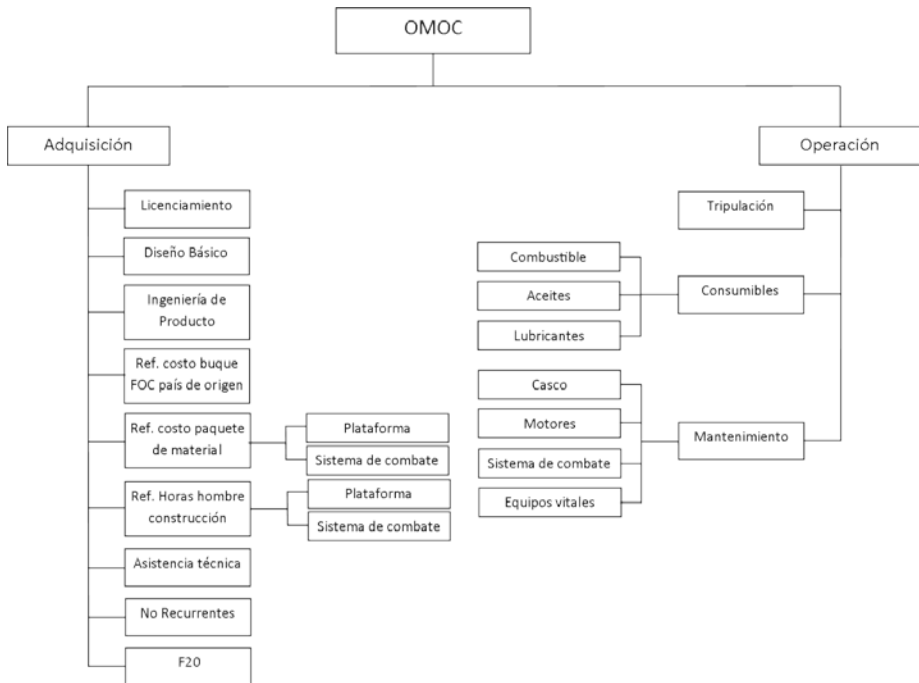
Este último documento tendrá la finalidad de evaluar con detalle cada respuesta recibida por parte de los proponentes; por esta razón, en este nuevo RFI se incluye información relativa al análisis del costo de operación, debido a que este es indispensable para la estimación de costos de ciclo de vida, también se adicionan y/o modifican algunas preguntas para cada ítem de análisis, como lo muestra la configuración estipulada para el documento de solicitud de información en el Gráfico 8.

Este ejercicio también contribuirá a desarrollar estrategias, construir una base de datos para la industria naval colombiana, definir a cabalidad los requisitos funcionales e iniciar un proceso para la preparación de un requerimiento de información formal que permita hacer una negociación; tal como lo es



un Request for Proposal, RFP, y un Request for Quotation, RFQ, los cuales permitirán al final lograr el objetivo de selección de alternativa.

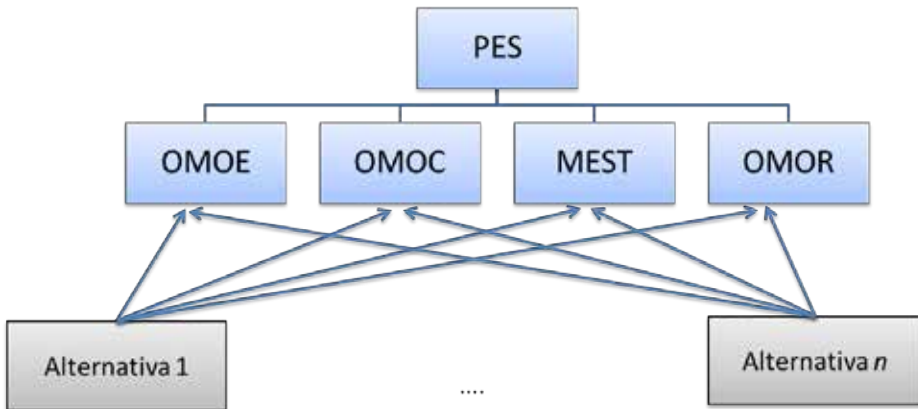
**Gráfico 8. Estructura de preguntas para el RFI III y utilización en el OMOC para realización del MEI.**



Las respuestas recibidas en este último RFI serán sometidas a un MEI, el cual permitirá cerrar la fase de Definición. Este modelo está siendo desarrollado como herramienta de análisis de alternativas basada en la teoría de toma racional de decisiones bajo múltiples criterios, Multi-Attribute Decision Analysis; el cual le permitirá a la Armada tener argumentos para la selección del socio tecnológico y su correspondiente propuesta tecnológica para desarrollar el proyecto PES.

El modelo está compuesto por las siguientes medidas: Overall Measure Of Effectivity, OMOE; Overall Measure Of Cost, OMOC; Modelo de Evaluación de Socio Tecnológico, MEST y Overall Measure Of Risk, OMOR. Estos elementos son los que constituyen el MEI, el cual se fundamenta en el Proceso Analítico Jerárquico, AHP, como lo muestra el Gráfico 10, el cual está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples y su resultado es una jerarquización con prioridades determinadas, de acuerdo con criterios que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas.

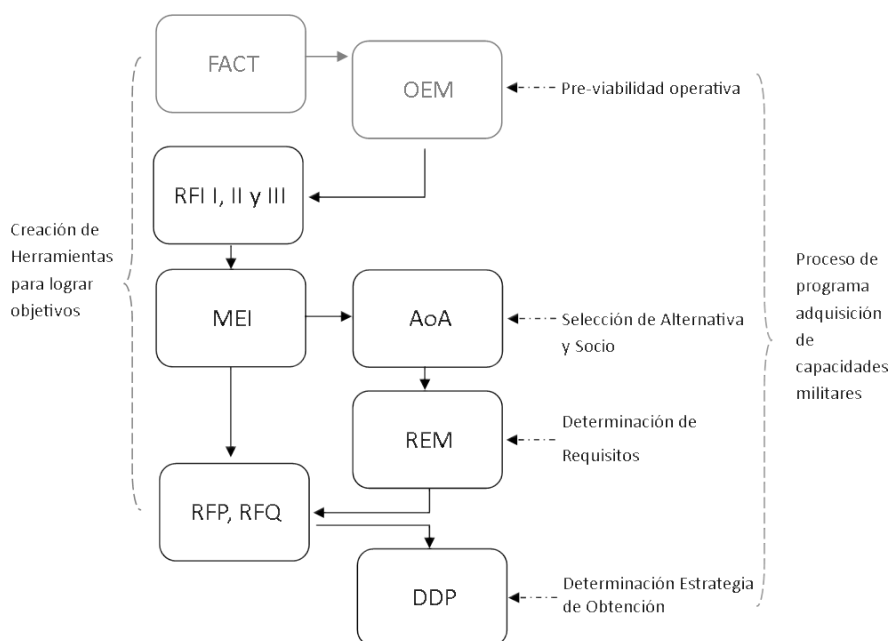
**Gráfico 9. MEI acorde a la metodología AHP adaptada a PES.**



*Fuente: Patrón, 2016.*

La finalidad de este proceso es generar una lista corta que seleccione las mejores alternativas, socio para el desarrollo, producción de la PES para así proceder al envío del RFP, con el propósito de obtener una propuesta de negociación bajo términos y condiciones aplicables al contrato y acorde con las respuestas y evaluación que se determine para esta etapa. Con lo cual se logrará el objetivo de selección de alternativas y así establecer el programa que permitirá el desarrollo de la misma, de acuerdo con el flujo de trabajo que se muestra en el Gráfico10, donde la estructura de Evaluación de costos es indispensable, ya que deberá desglosar el coste de la alternativa según el Producto: solución operativa o funcional y su composición; y Trabajo: según actividades para obtención y sostenimiento del producto.

**Gráfico 10. Flujo de proceso de la metodología en la fase de Definición.**



## Conclusiones

La realización de la evaluación y estimación de costos de forma temprana, siguiendo un proceso de evolución constante, es importante a medida que se afine la estimación del costo total del programa en las diferentes tomas de decisiones, se hagan las elecciones correctas y que dichas decisiones sean coherentes con el presupuesto que considera el país para el desarrollo de la PES. Para ello es necesario tener control de la estimación de costos y crear relaciones entre el Gobierno y la industria, con el fin de tener mejor entendimiento durante el proceso desarrollo y permitir contribuir con la óptima relación entre costos y capacidades de cada una de las instituciones y empresas que contribuirán en el proyecto.

## Referencias Bibliográficas

Air Force Materiel Command, AFMC. (2013). *Analysis of Alternatives (AoA) Handbook*.

Carreño, J., Pinto, H., & Tascón, O. (2013). *Metodología para Desarrollo Proyectos de Adquisición de Sistemas Militares*.

CDI Marine Company. (2012). *Pass, user guide & tutorial V.4.04*.

Doerry, N., Earnesty, M., Weaver, C., Banko, J., Myers, J., Browne y otros. (2013). *Using Set-Based Design in Concept Exploration*.

Gómez, J., Aranibal, L., & Delgado, C. (2013). *Desarrollo de un marco de evaluación de alternativas como base para el diseño conceptual de la plataforma estratégica de superficie, PES, para la Armada Nacional de Colombia*. Bogotá: Escuela Superior de Guerra.

Jasaitis, K., Dougherty, J., Lamb, T., Greenwell, C., & Zimmermann, R. (1997). *Product-Oriented Design And Construction Cost Model*.

Lamb, T. (2012). *Ship cost estimating system v.1.1. User manual to Cotecmar*.

MIT. (2008). *Updating MIT's Cost Estimation Model for Shipbuilding*.

NATO. (1997). *Phased Armaments Programming System, PAPS*.

NAVSEA. (2005). *Cost Estimating Handbook*.

Patrón, K. (2016). *Avance N° 1. Implementación del MEI*.

Presidencia de la República de Colombia. (2016). *Decreto 214 Febrero 12 de 2016*.

Saaty, T. (1994). *Fundamentals of Decision Making and priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*.

Singer, D., Doerry, N., & Buckley, M. (2009). What is Set-Based Design? *Naval Engineers Journal*.

Tascón, O., & Sanjuan, M. (2015). *A trade-off space for the evaluation of warship procurement strategies. Warship 2015: Future Surface Vessels*.

UCL. (2011). *Ship Design Procedure*.