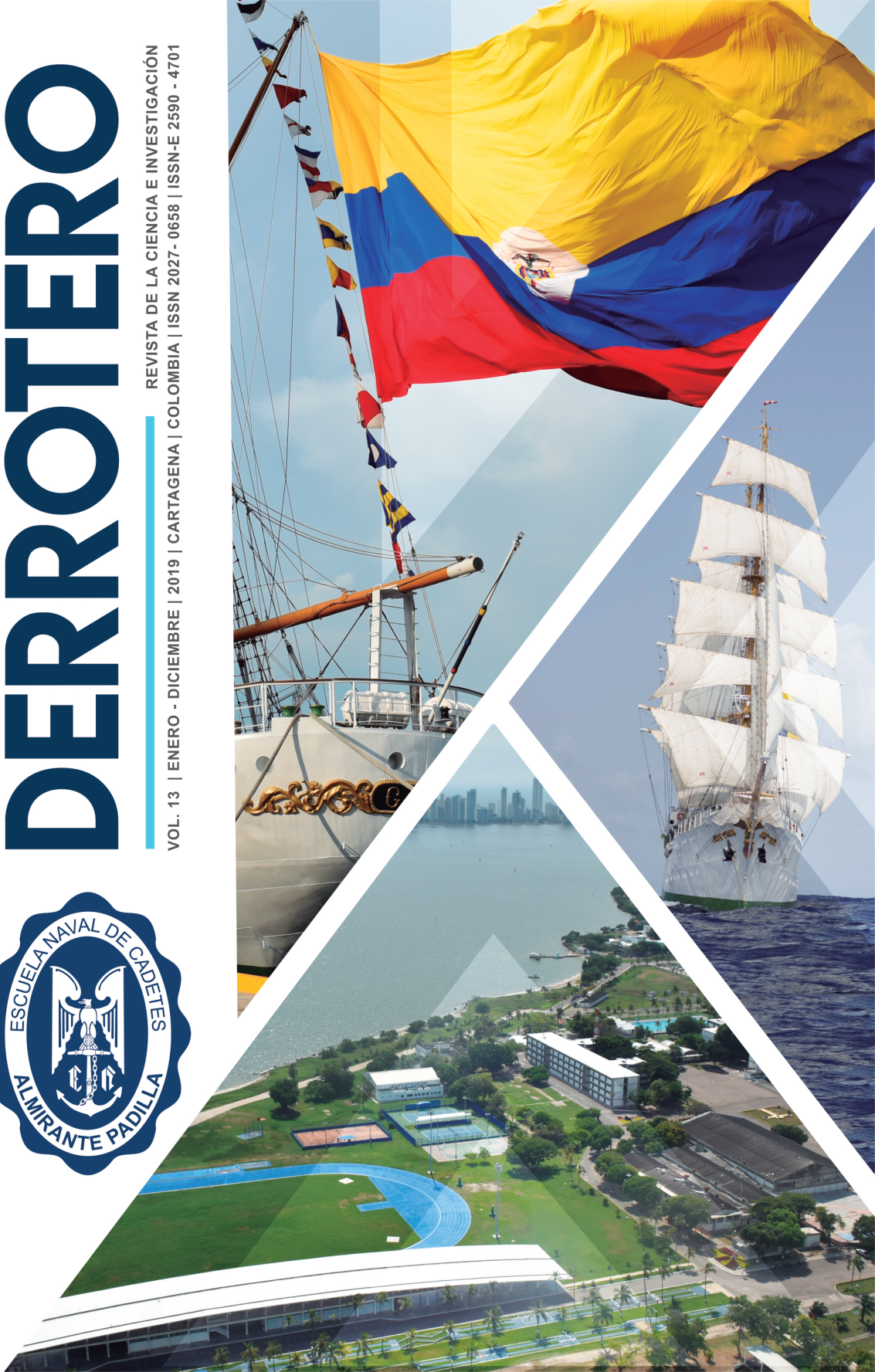




# DERROTERO

REVISTA DE LA CIENCIA E INVESTIGACIÓN  
VOL. 13 | ENERO - DICIEMBRE | 2019 | CARTAGENA | COLOMBIA | ISSN 2027- 0658 | ISSN-E 2590 - 4701



# UNIVERSIDAD ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA REVISTA DERROTERO

ISSN 2027-0658 - ISSN-E 2590-4701

Vol. 13, Enero - Diciembre 2019



# UNIVERSIDAD ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA REVISTA DERROTERO

ISSN 2027-0658 - ISSN-E 2590-4701

Vol. 13, Enero - Diciembre 2019

## COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Zamudio, Ph.D. Universidad  
Antonio de Nebrija. - Madrid, España

Ángel Alberto Nava Chirinos, Ph.D.  
Universidad Nacional Experimental “Rafael  
María Baralt” - Cabimas, Zulia, Venezuela

Juan Carlos Robledo Fernández, Ph.D.  
Corporación Universitaria Americana. -  
Barranquilla, Colombia

Luisa Marina Niño Martínez, M.Sc.  
Universidad Jorge Tadeo Lozano - Colombia

## COMITÉ CIENTÍFICO

Jaime Rodrigo de Larrucea, Ph.D. Universidad  
Politécnica de Cataluña - España

Marcos Salas Inzunza, PhD.  
Universidad Austral de Chile

Eduardo Santa María Ángel, Ph.D.  
Universidad Autónoma de Baja California -  
México

## DIAGRAMACIÓN Y REVISIÓN DE ESTILO

JCP IMPRESORES S.A.S

## Version digital

Open Journal System – OJS

## Especificaciones Técnicas

Volumen N°13 enero – diciembre 2019 (pp.  
1 a 230)

Periodicidad: Anual.

ISSN impreso 2027 - 0658

ISSN-E digital 2590-4701

Número de ejemplares: 200

Tipo de papel: Avena de 70 gramos

Impresión: 4x4 tintas

Fuente: Minion Pro.

Distribución gratuita.

Impresión: JCP Impresores S.A.S



Impreso en Colombia

Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Centro de Investigaciones Científicas, Barrio el Bosque Sector  
Manzanillo – PBX (+575) 6724610 ext. 11332 - Cartagena de Indias D. T. y C., Bolívar, Colombia.

Correo: derrotero@enap.edu.co - www.escolanaval.edu.co

Los conceptos, opiniones o ideas expuestas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y su publicación no significa el punto de vista ni el pensamiento de la Armada Nacional de Colombia o de la Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.



# CONTENIDO

## Ingeniería Naval

**Análisis estructural del casco de una lancha patrullera de costa ante el evento de slamming mediante el uso del método de elementos finitos.** 9 - 22

*Johnnie Javier Sibrián - Mendoza -Dawin Jimenez*

**Análisis para la optimización de la resistencia al avance de un casco para una embarcación tipo patrullera por el método de dinámica de fluidos computacional cfd** 23 - 36

*Joel Eligio Paz Briones - Rafael Callamand Andrade*

**Estructuración de una metodología para el desarrollo de la estrategia constructiva para buques integrada desde el diseño** 37 - 52

*Ivan Jose Castilla Hernandez*

**Sistema de activación y elemento protector de un sistema de emergencia de geolocalización para los submarinos tipo 209 de la Armada Nacional de Colombia** 53 - 70

*José David Monroy Ardila - Huber Camilo Araujo Burbano*

**Influencia de la radiación lumínica sobre la resistencia a la tensión de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio** 71 - 86

*Cajal Barros, Juan Vicente Yacub Bermúdez, Bashir Girón Palacio, Mitchel*

**Ensayos aerodinámicos para la optimización de las operaciones en la cubierta de vuelo** 87 -96

*José Maria Riolo Rodríguez - Miguel Angel Garnica*

## Administración

**Lotificación en sistemas multinivel por medio de la relajación lagrangeana con parámetros optimizados mediante superficie de respuesta** 97 - 114

*Alvaro Roca Molina - Javier Baron Villamizar- Orlando Zapateiro- Jairo R. Coronado Hernandez- Cedrid Gómez Torregrosa*



**Instrumento para diagnóstico de innovación** 115 - 132  
*Breyner Jiménez Navia - Orlando Zapateiro Altamiranda*

**Análisis del desarrollo, explotación y protección de los intereses marítimos de Colombia durante el siglo XXI** 133 - 148  
*Francisco Javier Torres Ramírez- Norman Tejada Sánchez*

**Manejo de información logística que apoye la toma de decisiones dentro del centro de operaciones logísticas de la Armada Nacional: tecnologías y modelos referentes** 149 - 156  
*Frank Alberto Vega Yance - Jairo R Coronado-Hernandez  
Cedrid Gómez Torregrosa - Orlando Zapateiro.*

### Oceanografía

**Importancia de la armada nacional en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares en la región Caribe** 157 - 176  
*Nicolás Bedoya Castellanos - David Garcia Palacios  
Andres Fernando De Vivero Alviz*

**Viabilidad de un programa de reforestación de manglar en Punta Recluta, isla de Manzanillo, Caribe colombiano** 177 - 182  
*Luz Verónica Delvasto Algarín - Daihana Vanessa González Parra  
Mabel Sofía Mendoza Rivera*

### Ciencias Básicas

**Diseño de un modelo estadístico de estaciones antárticas para la selección de una base temporaria colombiana.** 183 - 196  
*Rafael Humberto Toro Machuca*

### Seguridad y Defensa

**La supremacía aérea: objetivo y factor decisivo en los conflictos multidimensionales del siglo XXI, y el concepto de clúster.** 197 - 230  
*Teniente Coronel (RA) FAC. Javier Hernando Conde Mesa*

# EDITORIAL

Todo navegante zarpa con una orden de operaciones muy clara, designando la ruta y los propósitos que debe cumplir con su embarcación. En la actualidad la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, tiene su derrotero con proa hacia importantes escenarios de investigación a nivel nacional e internacional, en donde la investigación científica se evidencia por medio de sus visibles e importantes resultados, en ese sentido hacerlos visibles se ha convertido en un reto permanente.

Esta publicación tiene la intención de acercar la investigación que realiza la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” a un gran número de lectores para mostrarles la labor investigativa de nuestra Alma Mater, dónde se forman no solamente los hombres de mar y de guerra de la Armada Nacional si no también el personal del gremio marítimo y fluvial.



La revista de divulgación científica Derrotero es una propuesta editorial publica con artículos científicos de periodicidad anual que, de acuerdo con estándares aceptados para publicaciones, representa una contribución para el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en áreas de ingeniería naval, oceanografía física, ciencias navales y náuticas, administración, geopolítica, seguridad marítima y derecho.

La revista Derrotero tiene como objetivo difundir investigaciones inéditas y originales, de calidad científica con artículos multidisciplinarios elaborados por autores nacionales e internacionales que, a través de un proceso editorial riguroso, permite llevar a buen término asegurar la calidad de los textos.

Esta publicación está editada en formato digital e impreso, indexada en prestigiosas bases de datos y en repositorios Nacionales e Internacionales.

Su sistema de evaluación es doble ciego, con especial selección de árbitros externos y la participación de excelentes autores, esto hace que nuestra revista de divulgación científica Derrotero en este volumen con mejor contenido.

En esta publicación se incluyen trabajos de investigación aplicada, de desarrollo tecnológico, revisiones bibliográficas, reflexiones y estudios de caso; permitiendo de esta manera, estimular a la divulgación de la producción intelectual orientados a las ciencias del mar y así, servir de derrotero para la investigación y desarrollo futuro del conocimiento.

Finalmente, presento oficialmente esta revista científica a la comunidad académica como un aporte promovido por la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” con la formal invitación a que se vinculen en pro de la investigación en aspectos marítimos, fluviales y costeros que permitan el desarrollo de este país bioceánico y plurifluvial llamado Colombia.

Contralmirante Francisco Hernando Cubides Granados  
Director Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.





Monumento Propela Buque Mercante Grancolombiana



*Guardiamarina Brigadier Mayor del Batallón de Cadetes, máximo exponente de las virtudes navales militares.*

---

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CASCO DE UNA LANCHA PATRULLERA DE COSTA, ANTE EL EVENTO DE SLAMMING MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

## Structural analysis of the hull of a coastal patrol boat in front of the slamming event through the use of the finite element method

Johnnie Javier Sibrián Mendoza<sup>1</sup>  
Dawin Jimenez<sup>2</sup>

Recibido: 08/07/2018

Aceptado: 09/12/219

### Resumen

En la presente investigación se realiza un análisis estructural por medio del método de elementos finitos es realizado a una embarcación tipo CPV (Coastal Patrol Vessel) que es sometida a una carga de slamming. Además de esto, se aplicó el diseño estructural siguiendo el Reglamento High Speed Craft de Germanischer Lloyd (GL), así mismo las cargas de slamming fueron ejecutadas de acuerdo a lo que contempla este reglamento a lo largo de la longitud de la embarcación. El modelamiento de la geometría fue hecho utilizando un software CAD, posteriormente mediante el uso de un paquete de simulación comercial de elementos finitos (ANSYS) se realizó el análisis respectivo, para ello se define previamente una condición de frontera apropiada, se obtiene las distribuciones de esfuerzos y deformaciones en toda la estructura. Finalmente se comparó estos resultados con los criterios de aceptación de la Casa Clasificadora GL.

**Palabras clave:** Slamming, método de elementos finitos, esfuerzos, deformaciones,

criterio de aceptación, CPV, análisis estructural.

### Abstract

A structural analysis is realized using the Finite Element Method on a Coastal Patrol Vessel (CPV) that is subjected to a slamming load. The structural design was carried out following the High Speed Craft Rules of Germanischer Lloyd (GL), likewise the loads of slamming were applied according to what this regulation contemplates along the ship. The modeling of the geometry was done using a CAD software, later by using a finite element commercial simulation package (ANSYS) the respective analysis was carried out, for which an appropriate boundary condition is previously defined, the structure stress and strain is obtained. Finally, the results are compared with the High Speed Craft Germanischer Lloyd Rules checking criteria.

**Keywords:** Slamming, Structural analysis, Finite element method, stress, deformations, CPV, checking criteria.

<sup>1</sup> Master en Ingeniería Naval. jonyisbrian@hotmail.com .Fuerza Naval de Honduras.

<sup>2</sup> Master en ciencias en ingeniería. dajivar@gmail.com . COTECMAR



## **Introducción**

El slamming se presenta cuando la proa de un buque emerge del agua y posteriormente se sumerge a una altitud considerable produciendo grandes fuerzas de impacto en periodos cortos de tiempo. A lo largo de los años este fenómeno ha sido estudiado a través de estudios experimentales, métodos analíticos y numéricos con el objetivo de poder predecir su comportamiento y como afecta el desempeño de los buques cuando navegan en condiciones severas en el mar, obteniendo modelos que se aproximan a definir el fenómeno adecuadamente. Básicamente lo que se busca es obtener criterios para determinar las cargas que este fenómeno transmite al diseño estructural y la respuesta de la estructura ante este evento. Además de los métodos mencionados para modelar el slamming también se puede encontrar en los reglamentos de casas clasificadoras criterios que facilitan su cálculo para la realización del diseño estructural. Igualmente, es importante en el diseño en sus etapas preliminares obtener información acerca de la respuesta estructural ante una carga de slamming, encontrando en el método de elementos finitos una herramienta útil para este tipo de análisis. El propósito de este trabajo es realizar un análisis estructural a un casco de una embarcación tipo CPV, obteniendo previamente un diseño estructural siguiendo el reglamento “Rules for Classification of High Speed Craft” de la casa clasificadora Germanischer Lloyd, luego mediante un software CAD se realiza el modelamiento de una geometría válida, posteriormente se realiza el análisis estructural mediante el método de elementos finitos al casco de una embarcación tipo CPV sometida a una carga de slamming, con el fin de obtener las distribuciones de esfuerzos y deformaciones, las cuales son comparadas con los criterios de aceptación del reglamento seleccionado. Es importante resaltar que este estudio está orientado en la apropiación de conocimientos por parte de miembros de la Fuerza Naval de Honduras en el diseño y análisis estructural de embarcaciones en sus etapas básicas, mediante un reglamento de una casa clasificadora, validando el diseño propuesto con el método de elementos finitos.

## **Método**

### **Presentación de la embarcación**

Para el diseño de la embarcación y estructura se tomó como referencia la configuración típica de una CPV que posee la Fuerza Naval de Honduras de la clase STAND PATROL4207 construida en el astillero holandés DAMEN que fue adquirida en años recientes. Se seleccionó ese tipo de embarcación por su funcionalidad para armadas de mediano tamaño.

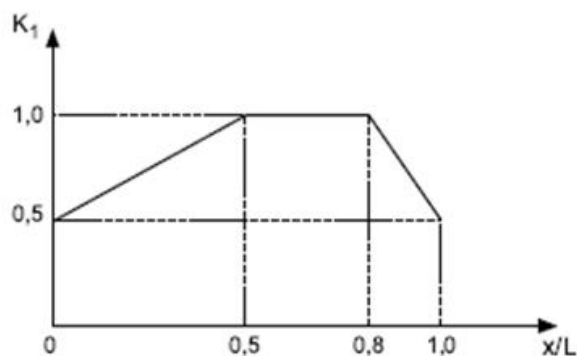
**Tabla 1.**  
Principales Características de la CPV

Características	Dimensión	Unidad
Elora total (L)	42,60	Metros
Elora Línea de agua (Lwl)	40,47	Metros
Manga máxima (B)	7,50	Metros
Manga Línea de agua (Bwl)	7,28	Metros
Puntal (H)	4,40	Metros
Calado de diseño (D)	2,20	Metros
Cb	0,46	0,46
Desplazamiento	293	Ton
Velocidad de diseño	24	Knt
Restricciones de servicio	Mar abierto	
Tipo de bote	CPV	

### A. Evento Slamming

De acuerdo (Bertram, 2000), utilizar un método racional y práctico de estimación del impacto de las olas es uno de los más importantes requerimientos en la seguridad del diseño de estructuras marinas. En ese sentido se selecciona el criterio establecido por el Reglamento "Rules for the Classification of High Speed Craft" de la Casa Clasificadora Germanischer Lloyd, se calcula utilizando las formulas plasmadas en el reglamento, el cual permite realizar el dimensionamiento estructural de diferentes tipos de embarcaciones. Este reglamento establece las cargas a considerar en el dimensionamiento estructural las cuales son: presión de slamming en el fondo, presión hidrostática y cargas internas.

De acuerdo a GL la presión máxima de slamming en el fondo ocurre entre 0,5 y 0,8 de la eslora aproximadamente, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Distribución de impacto Slamming.

Fuente : GL.

El mismo reglamento establece que la presión máxima de slamming se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{SL} = 70 \cdot \frac{\Delta}{S_r} \cdot k_1 \cdot k_2 k_3 \cdot a_{cg} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Donde,

$\Delta$ : desplazamiento, en toneladas.

$S_r$ : área de referencia, en  $m^2$  y es igual a:

$S_r = 0,7 \cdot \Delta \cdot T$  donde  $\Delta$  es el desplazamiento y  $T$  el calado.

$k_1$ : Factor de impacto longitudinal en casco;

1 para  $0,5 < x/L < 0,8$

$k_2$ : Factor de área de impacto; que se calcula con.

$$k_2 = 0,455 - 0,35 \frac{u^{0,75} + 1,7}{u^{0,75} + 1,7} = 0,64, \text{ siendo } u = \frac{s}{s_r}$$

$k_3$ : Factor de ángulo de astilla muerta; es igual a :

$k_3 = (70 - ad) / (70 \cdot ad \text{ CG})$ ; donde  $ad$ , es el ángulo de astilla muerta en el área de cálculo y  $ad_{CG}$ , es el ángulo de astilla muerta en el LCG (Centro de Gravedad Longitudinal).

Siendo  $ad = 30$  y  $ad_{CG} = 20$ , se obtuvo un valor de 0,8

$a_{cg}$ : Aceleración vertical de diseño en el LCG. ( $m/s^2$ )

Otras cargas tomadas en cuenta en el dimensionamiento estructural de los elementos fueron la presión hidrostática y la presión en cubierta.

**Tabla 2.**  
*Presiones para el Escantillado*

Presión Diseño	GL Rules (KN/m <sup>2</sup> )
Slamming	132,13
Hidrostática	52,00
Presión en cubierta	7,96

Una vez obtenidas las presiones de diseño se realizó el escantillado tomando como distancia entre refuerzos de 500 mm y una longitud no apoyada de 1000 mm, obteniendo los elementos estructurales que se especifica en la Tabla 3.



**Tabla 3.**  
*Resumen de elementos obtenidos en el escantillonado*

<b>Elemento estructural</b>	<b>Tipo y/o espesor</b>
Quilla	T300*12/100*12
Longitudinales de fondo y pantoque	L 150*12/50*12
Longitudinales de costado	FB 80*10
Longitudinales de doble fondo	FB 80*10
Refuerzo de espejo y mamparos	FB 80*10
Longitudinales de cubierta	FB 80*10
Longitudinales de mamparos	FB 80*10
Palmejares	T300*10/100*10
Fondo	12mm
Cubiertas de tanques (Doble fondo)	12mm
Pantoque	12mm
Costado	8mm
Cubierta Principal	8mm
Espejo	8mm
Mamparo de colisión y After peak	8mm
Mamparos de Subdivisión	6mm

## **B. Análisis mediante el Método de Elementos Finitos.**

Luego de calcular los valores de las dimensiones de los elementos estructurales de acuerdo a la norma GL, se realizó el modelamiento de la geometría de la embarcación objeto de estudio, usando el software CAD Rhinoceros, manteniendo los parámetros del escantillonado como ser: distancia entre refuerzos, longitud apoyada. Así mismo se tuvieron en cuenta los espacios para cuarto de máquinas, habitabilidad y distribución de tanques tomando como referencia la configuración típica de la embarcación descrita.

Posteriormente, un modelo geométrico se procedió a realizar el análisis por elementos finitos de la estructura comenzando con la exportación del modelo al software seleccionado para el caso de estudio, generándose 454 superficies para ser analizadas mediante FEM.

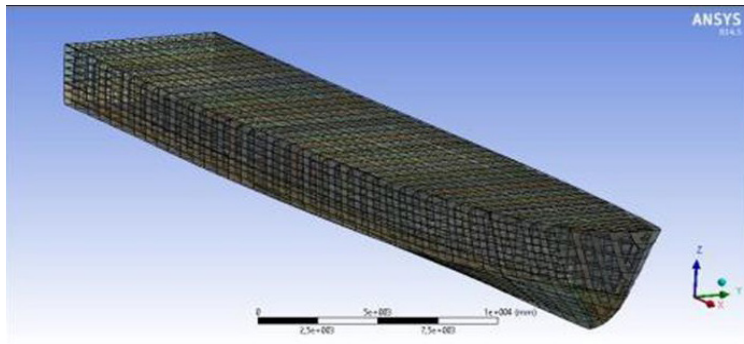


Figura 2. Modelo importado en Ansys Se ingresaron las propiedades mecánicas del material de diseño seleccionado.

Tabla 4  
Propiedades mecánicas del material de diseño

Propiedades del Aluminio	
Densidad	2770 Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	7,1x10 <sup>10</sup>
Coefficiente de Posson	0,33

En orden de verificar la integridad estructural del modelo y que todos los elementos aporten la rigidez debida, se realizó un análisis modal a la geometría, observando que todos los elementos están unidos adecuadamente, obteniendo una geometría apropiada para continuar con el análisis FEM, ya que si existen espacios entre las regiones de contacto se generaran errores en la solución del problema y el análisis no puede llevarse a cabo hasta corregir dichos errores.

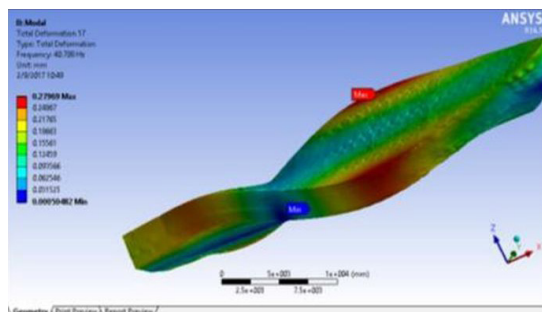


Figura 3. Analisis modal.

Después de verificar que el modelo realizado observa una adecuada integridad estructural se realizó la discretización (mallado) del dominio en un número finito de elementos.

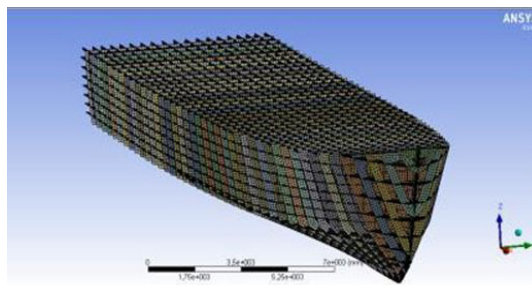
Un aspecto a tener en cuenta en la búsqueda de resultados aceptables, es la cantidad de elementos de la malla, en relación a eso es lógico que una malla más fina produce mejores resultados pero también incrementa el tiempo de computador y requerimientos de memoria del sistema, en ese sentido se busca obtener una malla adecuada en relación a su cantidad de elementos y consumo de recursos computacionales. Considerando lo anterior se realizó el análisis del modelo con diferentes mallas, las cuales fueron generadas utilizando la opción de relevancia que facilita el programa en su módulo de mallado, esta opción controla la fineza de la malla en el modelo completo. El objetivo de generar diferentes mallas consiste en poder realizar, partir de ellas, un análisis de convergencia de resultados en la fase de solución.

**Tabla 5**

*Mallas generadas en el modelo en Ansyso*

ID Malla	Elementos	Nodos	ID Malla	Elementos	Nodos
1	94677	132041	4	155246	204394
2	105668	145634	5	190830	246472
3	135646	181157	6	193244	249275

El tipo de elemento seleccionado en el estudio es elemento tipo Shell 181 el cual es un elemento de cuatro nodos con seis grados de libertad en cada nodo, tiene traslación en los tres ejes de dirección y rotación alrededor de los ejes x, y, z.



**Figura 4.** Malla 6 generada en Ansys.

Otro aspecto importante en el análisis es la calidad de la malla de la cual depende la transferencia de la información entre los nodos y de esto la precisión de los resultados. Este aspecto fue verificado obteniendo una malla aceptable en calidad, también se buscó que los elementos que predominen en el mallado sean elementos tipo QUAD, recomendado por el módulo de ayuda de Ansys.



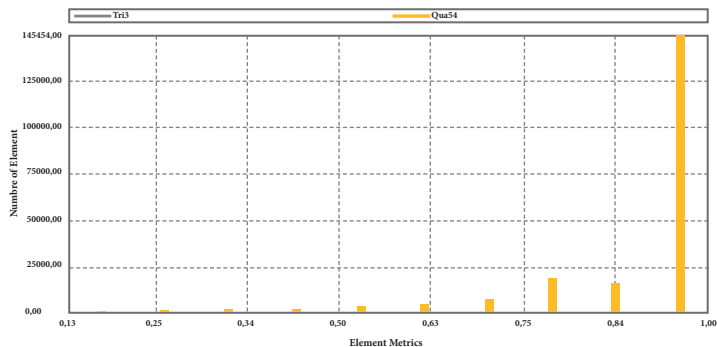


Figura 5. Parámetro de calidad del elemento de malla generada en Ansys.

Después del proceso de mallado se aplicaron las cargas al modelo que son presión de slamming, hidrostática y las aceleraciones de gravedad y vertical en el centro de gravedad. La presión de slamming máxima de acuerdo este reglamento se observa entre 0.5 y 0.8 L, sin embargo a lo largo de todo el fondo del casco la distribución de impacto se da de acuerdo a lo que muestra la figura 1 “Distribución de impacto de slamming en el fondo”.

Tabla 6. Presiones de slamming aplicadas al modelo en Ansys

x/L	K1	Psl (KPa)
0	0.5	66.06
0.1	0.6	79.28
0.2	0.7	92.49
0.3	0.8	105.70
0.4	0.9	118.91
0.5	1	132.13
0.6	1	132.13
0.7	1	132.13
0.8	1	132.13
0.9	0.9	118.91
1	0	0

Basándose en este criterio se obtuvo la distribución de presiones que fueron aplicadas al modelo FEM como se muestra en la figura.

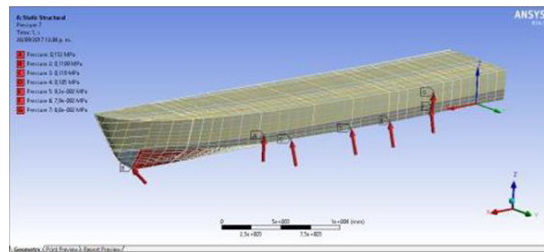


Figura 5. Presiones de slamming aplicadas al modelo

En relación a la presión hidrostática, ANSYS permite simular esta carga estableciendo la línea de flotación en el modelo y configurando los parámetros de la columna de agua que está actuando en el casco así como la aceleración de gravedad, de esta manera se obtiene la presión hidrostática más apropiada.

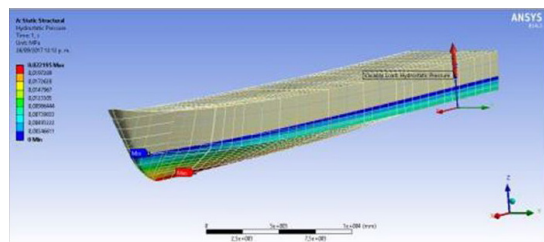


Figura 1. Presión hidrostática aplicada al modelo en Ansys.

La condición de contorno aplicada al modelo es “Inertial Relief” la cual da al modelo un balance de diferencia de fuerzas (fuerza aplicada menos peso). Es útil para análisis estáticos con aceleraciones del cuerpo sobre toda la estructura, de tal manera que la reacción en la frontera vertical es cero. Esta condición es requerida durante un análisis para restringir el modelo lo suficiente para prevenir traslación y rotación del cuerpo libre.

Esta condición ha sido utilizada en algunos análisis de elementos finitos similares, dando excelentes resultados para restringir apropiadamente el modelo. (Solano, 2015a.); de igual manera en el análisis estructural por elementos finitos de un buque tipo OPV utiliza esta condición para su estudio. Asimismo (Fuentes, 2014a.) hace uso de esta condición definiéndola como una herramienta en la que las fuerzas pares de torsión son equilibradas o contrarrestadas por las fuerzas de inercia inducidas por un campo de aceleración, en esencia calcula el desbalance de cargas y aplica un conjunto de fuerzas inerciales a lo largo del modelo con el fin de obtener su equilibrio, en igual sentido el software resuelve las ecuaciones en los nodos determinando el desplazamiento de los mismos, calculando el esfuerzo y hallando la deformación del elemento.

### C. Resultados obtenidos

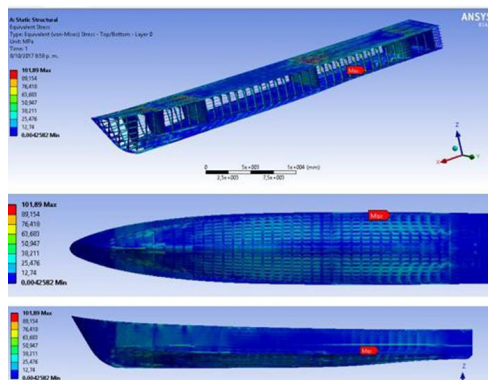
En orden de obtener mejores resultados y que estos sean consecuentes con el aprovechamiento eficiente del recurso computacional, un análisis de convergencia fue realizado con el objetivo de alcanzar una malla adecuada en cantidad de elementos y calidad, analizándose seis diferentes mallas, los resultados se muestran en la tabla 6.

**Tabla 7.**  
*Análisis de convergencia de malla*

Malla	Elementos	Nodos	Esfuerzo (Mpa)	Variación %	Deformación (mm)	Variación %
1	94677	132041	100.26		8.46	
2	105668	145634	117.75	14.85	9.34	9.42
3	135646	181157	108.26	8.76	9.96	6.22
4	155246	204394	106.84	1.32	10.86	8.29
5	190830	246472	101.79	4.96	10.955	0.90
6	193244	249275	101.89	0.09	11.056	0.09

A partir del análisis realizado se obtienen los esfuerzos equivalentes de Von-Misses de toda la estructura después de haber aplicado las cargas de slamming a lo largo de la eslora.

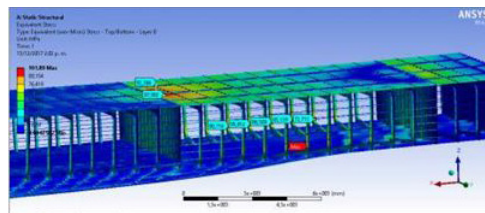
El esfuerzo máximo observado se da entre 0,3 y 0,5 L obteniendo un valor de **101,89 Mpa**.



**Figura 6.** Esfuerzos equivalente de Von Misses máximos obtenidos en Ansys.

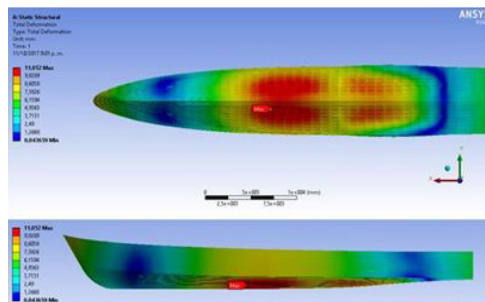
Las cargas aplicadas en esta sección van desde 105,70 a 118,91 KPa de acuerdo a lo mostrado en la tabla No. 6 “Presiones de slamming aplicadas al modelo en Ansys” Se puede observar que estas cargas a pesar de no ser las máximas presiones de slamming aplicadas, son presiones bastantes altas.

Se observó un comportamiento estructural consecuente ya que esta sección no tiene algunos elementos estructurales que si tiene la sección de 0,5 a 0,8 L. De este modo, se pueden ver los esfuerzos máximos en toda la estructura se da en la cuaderna 10, además se observan esfuerzos considerables altos desde la cuaderna 5 hasta la cuaderna 15, también en los longitudinales de cubierta existen esfuerzos considerables observando valores hasta de 97,82 Mpa.

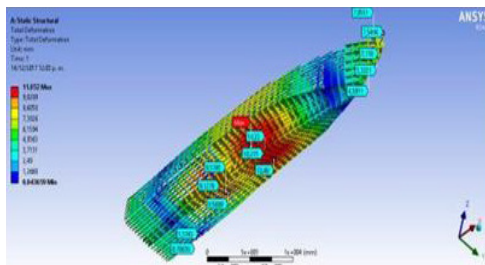


**Figura 7.** Esfuerzos equivalentes de Von Mises máximos obtenidos en Ansys

La deformación máxima observada se dio entre 0,5 y 0,8 L sometida a la mayor carga de slamming obteniendo un valor máximo de 11,052 mm.



**Figura 8** Deformaciones máximas obtenidas en Ansys.



**Figura 9** Deformaciones observadas en el modelo en Ansys.

### D. Criterio de aceptación

El criterio utilizado para nuestro análisis es el Reglamento GL para embarcaciones de aluminio, en el cual el esfuerzo máximo equivalente no debe ser mayor que el que se describe a continuación.

$$\sigma = \frac{190}{K \cdot f_m \cdot f_s} \text{ (Mpa)} \quad (2)$$

Donde k,

Factor de material a partir de  $k = \frac{100}{R_{lim}}$

Fm: Coeficiente de material

$R_{lim}$ (Aluminio): 125 Mpa

K: Factor del material del aluminio =0,8. Fm:

Coeficiente de material  $f_m = 2,15$ .

Fs: Coeficiente de seguridad  $f_s = 1$ .

A partir de la ecuación (2) se obtiene que el esfuerzo permisible debe ser menor que 110,47 Mpa, comparando el resultado calculado en el análisis FEM de 101,89 Mpa se concluye que el modelo cumple satisfactoriamente con el criterio establecido por el reglamento seleccionado, para la carga de slamming prescrita.

Con respecto a las deformaciones obtenidas se observan que están en el régimen elástico ya que los esfuerzos observados en la estructura no superan el límite de fluencia del Aluminio.

### Conclusiones

Se determinó las distribuciones de esfuerzos y deformaciones máximas en el modelo realizado obteniendo valores aceptables que cumplen el criterio de aceptación seleccionado para la carga de slamming prescrita.

La concentración de esfuerzos máxima observada fue de 101,89 Mpa que representa un 92% del esfuerzo permisible que establece el reglamento (110,47 Mpa), cumpliendo satisfactoriamente con el criterio.

La deformación máxima observada fue de 11,052 mm entre 0,5 y 0,8 L donde la carga aplicada fue la máxima, partiendo del hecho que la mayor concentración de esfuerzos obtenida cumple con el criterio de aceptación del reglamento y también es menor que el límite de fluencia del Aluminio se concluye que las deformaciones están dentro del régimen elástico por lo que son aceptables.

Se pudo notar que las cargas de slamming son transmitidas a lo largo de todo el modelo de acuerdo a las cargas aplicadas mostrando un comportamiento coherente, por lo que se concluye que el modelo representa una aproximación confiable.



Se validó mediante el método de elementos finitos el cálculo que recomienda el reglamento seleccionado para la distribución de presiones del slamming a lo largo de la eslora, determinando que el modelo estructural propuesto cumple con los criterios de aceptación para las concentraciones de esfuerzos y deformaciones, los cuales además están dentro de los límites de resistencia del material.

Se apropió de la metodología para obtener un modelo en una etapa de diseño básico que responde adecuadamente a una condición extrema de operación.

### Referencias

ANSYS, Teoría de Referencia, *Ansys, Version 14.5, Canonsburg: Ansys, Inc., 2011.*

Bertram, V. (2000). *Practical Ship Hydrodynamics*. Oxford: Butterworth Heinemann. Planta Tree. ISBN 0 7506 4851 1. pp. 139.

Fuentes, David (2014) “*Análisis y optimización estructural de un multicasco diseñado en aluminio*” Tesis de Magister, Facultad de Ingeniería Naval, Universidad Austral de Chile.

Fuerza Naval de Honduras, *El Guayabal, Francisco Morazán, Honduras*. Página oficial <http://fnh.mil.hn>.

Murcia, Hugo (2017), “*Aplicación del método de elementos finitos en el análisis estructural de una patrullera tipo SWATH*”. Tesis de Magister, Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena de Indias, Colombia

*Rules for the Classification of High Speed Craft*, Germanischer Lloyd

Seak, Sopheak, (2012), “*Slamming and Whipping Analysis of Ships*”, PhD Thesis, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, December 2012.

Solano, Carlos (2015), “*Análisis Estructural de un buque tipo OPV (Offshore Patrol Vessel) utilizando el método de Elementos Finitos para la evaluación de la carga Slamming*”, Tesis de Magister, Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena de Indias, Colombia.

Stavovy, A. & Chuang, S. (1976). *Analytical determination of slamming pressures for high- speed vehicles in waves. Journal of Ship Research, 20(4), pp 190-198.*

Tuitman, Johannes Tewes (2010), “*Hydro-Elastic Response of Ship Structures to Slamming induced whipping*”, tesis de Doctorado, Universidad Técnica de Delft, Rotterdam, Holanda



*Izada de bandera*

# ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DE UN CASCO PARA UNA EMBARCACION TIPO PATRULLERA POR EL METODO DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD

## Analysis For The Optimization Of The Advanced Resistance Of A Helmet For A Patrol Boat By The Cfd Computational Fluid Dynamics Method

Joel Eligio Paz Briones<sup>1</sup>  
Rafael Callamand Andrade<sup>2</sup>

Recibido: 26/09/2018

Aceptado: 25/06/2019

### Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de optimizar un casco para una embarcación tipo patrullera de costa y a su vez, contar dentro de la Fuerza Naval de Honduras (FNH), con una metodología de investigación y procedimientos para realizar el análisis hidrodinámico de sus embarcaciones. El estudio contempló, entre otros aspectos, la obtención de las formas del casco de la embarcación tipo patrullera de costa, el modelamiento de dicho casco en un software de diseño asistido por computadora CAD y del cual, la superficie de la geometría del casco se exportó a un software de ingeniería asistida por computadora CAE, donde se realizaron los análisis hidrodinámicos. Posteriormente, a partir de los resultados obtenidos se seleccionaron una serie de propuestas para la reducción de la resistencia al avance, las cuales consistieron en apéndices de

popa tipo flap y cuña; los resultados derivados de los análisis de las propuestas hechas se tomaron como punto de partida para la realización del presente trabajo de investigación.

**Palabras clave:** Dinámica de fluidos computacional, resistencia al avance, capa límite, superficie libre, modelo de turbulencia, apéndices de popa.

### Abstract

This research work was developed with the purpose of optimizing a hull for a coastal patrol vessel and, in turn, counting within the Honduran Navy FNH, with a research methodology and procedures to perform hydrodynamic analysis of their boats. The study contemplated, among other aspects, the obtaining of the hull forms of the coastal patrol vessel, the modeling of the hull in a CAD computer-aided design software and of which, the surface of the

<sup>1</sup>Ingeniero Mecatrónica y MSc. en Ingeniería Naval. Oficial de Ingeniería de la Fuerza Naval de Honduras. jpazb2015@gmail.com

<sup>2</sup>Magister en Hidrodinámica Aplicada. Magister en diseño avanzado de buques. Magister en seguridad y defensa nacional. Cotecmar. lcallamand@cotecmar.com.

helmet geometry was exported to CAE computer-aided engineering software, where the hydrodynamic analyzes were carried out. Subsequently, from the results obtained, a series of proposals were selected for the reduction of the resistance to the advance, which consisted of aft appendages type flap and wedge; the results derived from the analysis of the proposals made were taken as a starting

point for the realization of this research work. **Keywords:** Computational fluid dynamics, drag, boundary layer, free surface, turbulence model, stern appendages.

**Keywords:** Computational fluid dynamics, drag, boundary layer, free surface, turbulence model, aft appendages.

## **Introducción**

En Esta investigación se realizó un análisis hidrodinámico del desempeño del casco de una embarcación tipo patrullera para costa, utilizando el método de CFD (Dinámica de fluidos computacional), con relación a la resistencia al avance para determinar, si es el caso, las modificaciones pertinentes para optimizar las líneas de forma del casco, a fin de mejorar la resistencia al avance. Al mismo tiempo se desarrolló una metodología para realizar este tipo de análisis a diferentes embarcaciones, que le permita a la Fuerza Naval de Honduras (FNH) contar con herramientas para este tipo de procesos o procedimientos de la industria naval.

## **Método**

Como punto inicial de referencia para estimar la resistencia al avance del casco en estudio, se utilizó la metodología de predicción de resistencia a partir de métodos semi empíricos implementados en el software Maxsurf Modeler V8i para obtener resultados predictores de resistencia vs velocidad. Teniendo en consideración que para este tipo de análisis son más precisos los métodos numéricos.

Se definió el tipo de casco a optimizar, luego se realizó un modelamiento de casco desnudo en el software CAD, con un análisis de resistencia empleando métodos semi empíricos de predicción, permitiendo la comparación de los resultados de la resistencia al avance obtenidos del software CAE y de los métodos semi empíricos.

## **Elaboracion de base de datos y características geométricas de la embarcación**

Tres principios fundamentales rigen los aspectos físicos de cualquier “flujo” de fluido como la conservación de la masa, la conservación de la energía, y la segunda ley de Newton. Estos principios pueden ser expresados en forma de ecuaciones matemáticas que, en su forma más general, son integrales o ecuaciones diferenciales parciales. El CFD reemplaza las integrales o derivadas parciales en estas ecuaciones con discretas formas algebraicas discretizadas que pueden ser resueltas. (Voxakis, 2012).

Es preciso decir que, la resistencia que más afecta el avance de un barco, es la resistencia viscosa. Esta resistencia se descompone a su vez en dos: la resistencia por fricción y en la resistencia de presión por fricción. (Guerrero, 2016). La primera de ellas se produce por la fricción directa entre el agua y el casco, recae el 60% o 70% incluso puede llegar al 80 % en muchos casos según formas y eslora del buque.

## BASE DE DATOS DE PATRULLERAS

	Eslora L(m)	Manga B	Calado T	Puntal D	Vel. Kn	Pot. KW	Δ t	L / B	B / D	T / D	L / D	B / T
<b>AUSTAL PATROL 21</b> 	21,2	5,5	1,83	2,8	28,5	1618		3,85	1,96	0,65	7,57	3,01
<b>DAMEN 1605</b> 	16,15	5,4	0,85	1,85	30	2500		2,99	2,92	0,46	8,73	6,35
<b>USCG 87 Pastrol Boats</b> 	26,5	5,92	1,74	2,8	25	2240		4,48	2,11	0,62	9,46	3,40
<b>Archer-calss patrol vessel</b> 	20,8	5,8	1,8	2,9	25		54,00	3,59	2,00	0,62	7,17	3,22
<b>21m Fast Patrol Boat</b> 	21	5,8	1,3	2,4	34	2200	45,00	3,62	2,42	0,54	8,75	4,46
<b>PILOT BOAT</b> 	22	5,2	1,07		28	1580		4,23				4,86
<b>Fast Patrol Boat</b> 	20	5,6	1,45		30	1470	32,00	3,57				3,86
<b>PATROL CRAFT</b> 	20	5,6	1,45		28	1800		3,57				3,86
<b>DAMEN 2205 FRP</b> 	22,8	6,08	1,5	2,65	30	3600		3,57	2,29	0,57	8,60	4,06
<b>PROMEDIOS</b>	<b>21,16</b>	<b>5,66</b>	<b>1,44</b>	<b>2,57</b>	<b>28172</b>	<b>2126,00</b>	<b>43,67</b>	<b>3,74</b>	<b>2,28</b>	<b>0,58</b>	<b>8,38</b>	<b>4,12</b>
	Eslora L(m)	Manga B	Calado T	Puntal D	Vel. Kn	Pot. KW	Δ t	L / B	B / D	T / D	L / D	B / T

Figura 1. Base de datos y características de embarcaciones tipo patrulleras. (Elaboración propia)



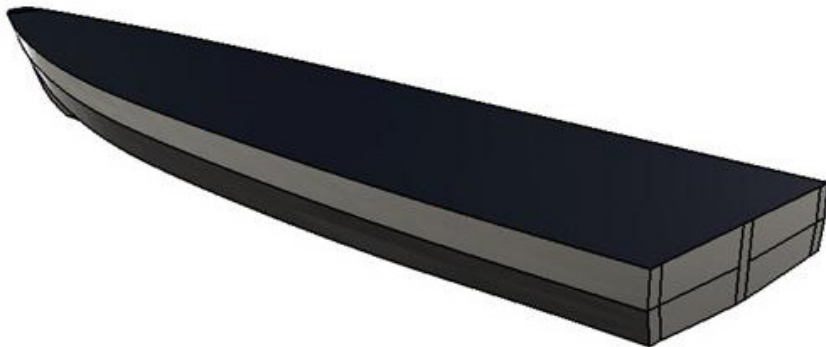
De los cálculos realizados correspondientes a las regresiones, se resumen la siguiente tabla

**Tabla 1.**  
*Características principales del buque. (Elaboración propia)*

<b>Calculado</b>	<b>metros</b>
Eslora L	21
Manga B	5,65
Calado T	1,43
Puntal D	2,53
Velocidad	28 <i>Kms</i>

### **Geometría del casco de patrullera de costa de 21 m de eslora**

Las dimensiones generales de la embarcación de referencia se han extraído de las regresiones realizadas y posterior a esta etapa se utilizó el software Rhinoceros V5.0 para modelar la forma del casco.



*Figura 2. Casco de patrullera de costa, vista de costado y popa. (Elaboración propia)*

## **Resultados**

### **Métodos de predicción Savitsky Pre-planing y Savitsky Planing**

El método Savitsky se basa en estudios realizados sobre placas planas en régimen de planeo y que, finalmente, se aplican a embarcaciones. (Ponce, Septiembre 2011).

**Tabla 2.***Resistencia obtenida por métodos semi empíricos. (Elaboración propia)*

<b>Análisis de Resistencia vs Velocidad</b>		
Método	Velocidad Kns	Resistencia KN
Savitsky ( <i>Pre-planing</i> )	12	17,67
	18	48,43
Savitsky ( <i>Planing</i> )	18	31,67
	28	64,48

### **Predicción de la resistencia al avance por métodos numéricos CFD**

En esta etapa se empleó el software STAR CCM+ V9.0, el cual es una herramienta que implementa las ecuaciones de flujo de fluidos en presencia de un cuerpo rígido y cómo este interactúa con él, de acuerdo a su forma. Se estudió el comportamiento hidrodinámico del casco de la embarcación tipo patrullero de 21 m de eslora a escala real.

#### **a) Condición de carga.**

**Tabla 3.***Cálculos hidrostáticos. Maxsurf Modeler. (Elaboración propia)*

Medida		Valor	Unidad
Desplazamiento	$\Delta$	50,66	t
Volumen (desplazado)	V	49,421	m <sup>3</sup>
Eslora en flotación	LWL	19,942	m
Superficie mojada	S	102,604	m <sup>2</sup>
Calado	T	1,43	m

#### **b) Especificación del mallado.**

El mallado se generó en el Software STAR CCM+ V9.0, optando por una malla Trimmer, que se compone de un mallado estructurado que proporciona un método robusto y eficiente para producir una cuadrícula de alta calidad para problemas de generación de malla tanto simples como complejos. Este tipo de malla es más sencillo de generar y de ajustar a las formas planas del casco.

El proceso de mallar es el que mayor influencia ejerce sobre el resultado por lo que se requiere una malla de la mejor calidad posible.

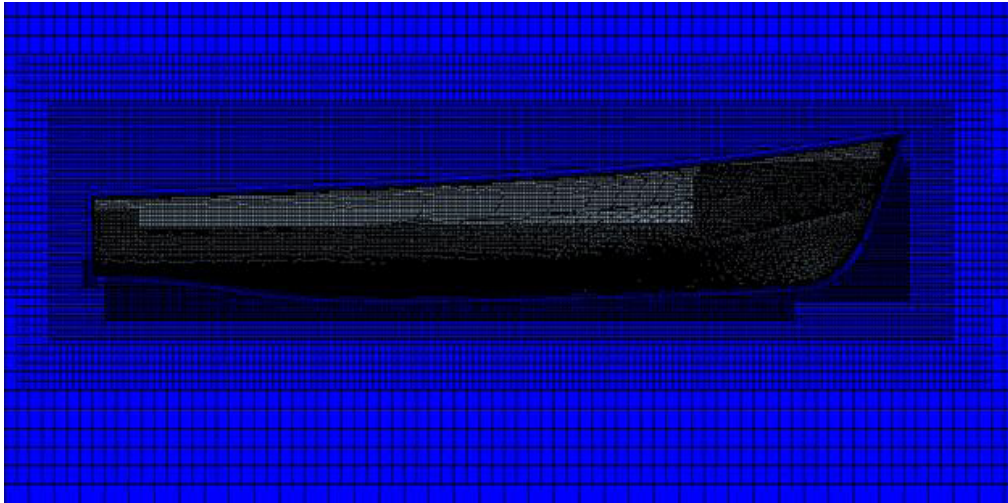
### c) Configuración de la simulación.

Para la condición de casco desnudo se generó una malla medianamente fina, así también para las demás condiciones que incluyen apéndices se utilizará el mismo mallado, los tamaños de malla y demás datos calculados para el mallado con normas ITTC, se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 4.**

*Especificaciones del mallado con base en reglamentación ITTC. (Elaboración propia)*

Especificaciones del mallado		
Característica		Dato
Tamaño de celda	<i>Base Size</i>	0,13 m ~ 13 cm
Altura de celda Y	<i>Thickness of Near Wall Prims layer</i>	0,0002407 m ~ 0,25 cm
Capa limite	<i>Prims Layer Thickness</i>	0,16 m ~ 16 cm
Numero de capas	<i>Number of Prims Layer</i>	8



**Figura 4.** Mallado del casco y volúmenes de control, numero de celdas = 2 381668. (Elaboración propia)

### d) Selección de modelos físicos.

El modelo de turbulencia seleccionado para la simulación es el Sparlat Allmaras, que como descripción general es un modelo relativamente simple de una sola ecuación que resuelve la ecuación de transporte modelada para la viscosidad del remolino cinemático (turbulento).

## Análisis y comparación de los resultados

Se presentan los resultados de resistencia obtenidos de las simulaciones mediante STAR CCM+ para las condiciones del casco desnudo y con apéndices en pro de la obtención de una mejora en la reducción de la resistencia al avance. El valor de la resistencia total al avance se obtiene como la suma de las fuerzas de presión y las fuerzas viscosas proporcionadas por STAR CCM+ y multiplicando este resultado por dos, ya que las simulaciones se han realizado con la mitad del casco.

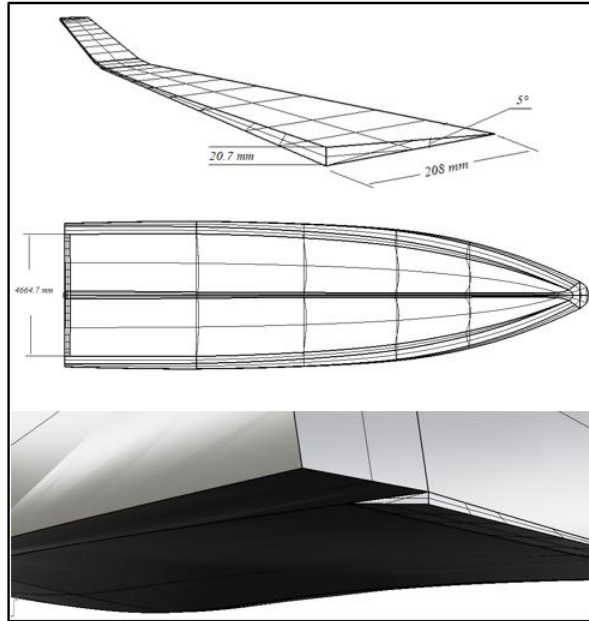
**Tabla 5.**  
*Resistencia total, casco desnudo de 21 m. (Elaboración Propia)*

<b>Resistencia total del casco desnudo</b>		
Velocidad <i>Kns</i>	Velocidad m/s	Resistencia KN
12	6,16	15892
14	7,2	21216
16	8,22	27294
18	9,25	33392
20	10,28	38890
22	11,3	43902
24	12,3	48956
26	13,36	54474
28	14,4	61192

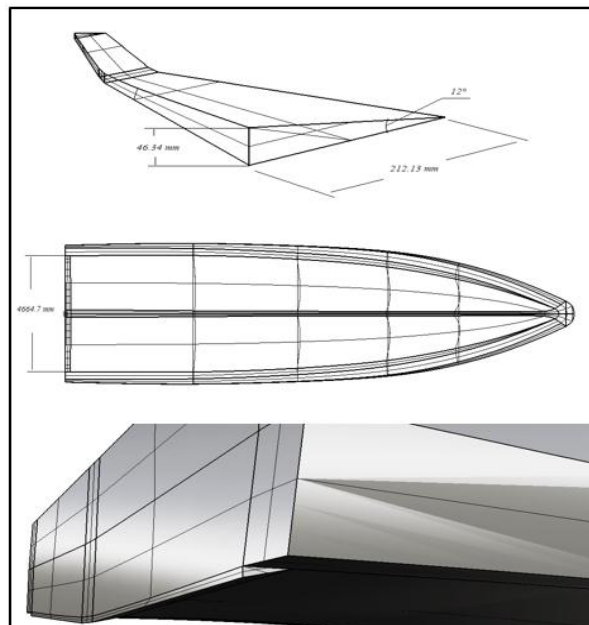
**Tabla 6.**  
*Comparación de la resistencia total entre métodos de predicción. (Elaboración Propia)*

Método	<b>Resistencia Total del Casco Desnudo</b>		
	Velocidad <i>Kns</i>	Velocidad m/s	Resistencia KN
STAR CCM+	28	14,4	61192
Savitsky ( <i>Planing</i> )	28	14,4	64480

Los resultados obtenidos anteriormente se compararon con los análisis del casco al que se le diseñaron adaptaciones de cuñas y flaps, con el fin de evaluar cuál de ellos presenta mejores resultados en la optimización de la resistencia al avance. Las simulaciones realizadas en STAR CCM+ se realizaron con el casco a escala real, con el propósito de hacer una comparación y validación de los resultados del modelo numérico contra el modelo analizado con los métodos semi empíricos (Savitsky pre-planing y Savitsky Planing), también en escala real, correspondiente al casco de 21 m de eslora.

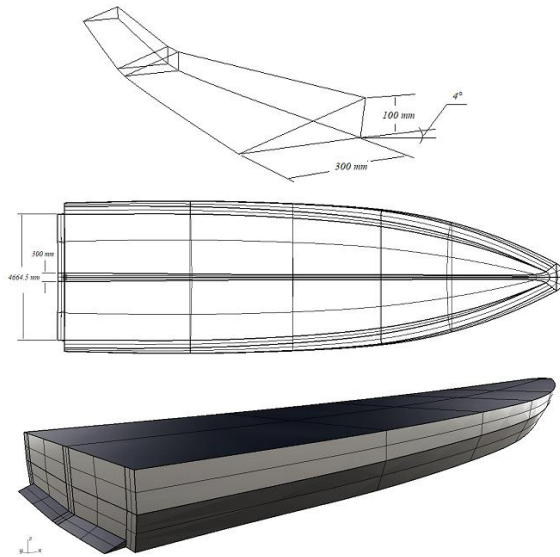
**a) Diseño de la cuña en popa.**

*Figura 5. Diseño de cuña a 5°, vista de perspectiva en popa. (Elaboración propia)*

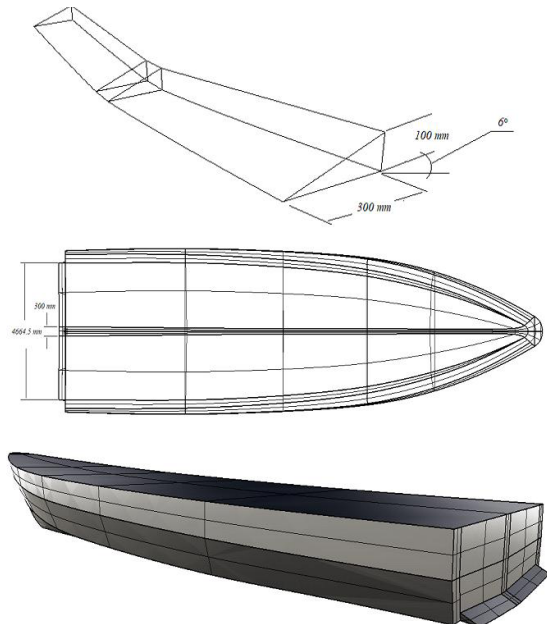


*Figura 6. Diseño de cuña a 12°, vista de perspectiva en popa. (Elaboración propia)*

### b) Diseño del flap en popa.



*Figura 7. Diseño de flap a 4°, vista de perspectiva en popa. (Elaboración propia)*



*Figura 8. Diseño de flap a 6°, vista de perspectiva en popa. (Elaboración propia)*



**Tabla 7.**

Resistencia de casco desnudo vs cuña a 5° y 12°. (Elaboración Propia)

Velocidad Kns	Casco Desnudo	Cuña 5 °	%	Cuña 12°	%
(1) 12	15892	16368	+ 3.0 %	16948	+ 6.64 %
(2) 14	21216	21972	+ 3.56 %	22686	+ 6.93 %
(3) 16	27294	28820	+ 5.59 %	29594	+ 8.42 %
(4) 18	33392	34706	+ 3.94 %	36112	+ 8.14 %
(5) 20	38890	40824	+ 4.97 %	41756	+ 7.37 %
(6) 22	43902	45360	+ 3.32 %	47380	+ 8.06 %
(7) 24	48956	51340	+ 4.86 %	53038	+ 8.33 %
(8) 26	54474	57078	+ 4.78 %	59708	+ 9.6 %
(9) 28	61192	62690	+ 2.45 %	66112	+ 8.04 %

**Tabla 8.**

Resistencia de casco desnudo vs flap a 4° y 6°. (Elaboración Propia)

Velocidad Kns	Casco Desnudo	Flap 4 °	%	Flap 6°	%
(1) 12	15892	15636	-1,61 %	15792	- 0,63 %
(2) 14	21216	20860	-1,67 %	21004	- 0,99 %
(3) 16	27294	26918	-1,37 %	27304	+ 0,036 %
(4) 18	33392	32734	-1,98 %	33526	+ 0,4 %
(5) 20	38890	38174	-1,85 %	39090	+ 0,51 %
(6) 22	43902	43040	-2 %	43894	-0,018 %
(7) 24	48956	47988	-2 %	49000	+ 0,089 %
(8) 26	54474	53340	-2,08 %	54606	+ 0,24 %
(9) 28	61192	59128	-3,38 %	60106	-1,77 %

**Tabla 9.**

Tabla general de los resultados de Resistencia al Avance en STAR CCM+. (Elaboración propia)

REPORTE DE LA RESISTENCIA TOTAL - BUQUE PATRULLERO DE 21 m									
Velocidad Kns	Casco Desnudo	CUÑAS				FLAPS			
		5 °	%	12°	%	4°	%	6°	%
(1) 12	7946	8184	+3	8474	+6,64	7818	-1,61	7896	-0,63
(2) 14	10608	10986	+3,56	11343	+6,93	10430	-1,67	10502	-0,99
(3) 16	13647	14410	+5,59	14797	+6,42	13459	-1,37	13652	+0,036
(4) 18	16696	17353	+3,94	18056	+8,14	16367	-1,98	16763	+0,4
(5) 20	19445	20412	+4,97	20878	+7,37	19087	-1,85	19545	+0,51
(6) 22	21951	22680	+3,32	23690	+8,06	21520	-2	21947	-0,018
(7) 24	24478	25670	+4,86	26519	+8,33	23994	-2	24500	+0,089
(8) 26	27237	28539	+4,78	29854	+9,6	26670	-2,08	27303	+0,24
(9) 28	30596	31345	+2,45	33056	+8,04	29564	-3,38	30053	-1,77

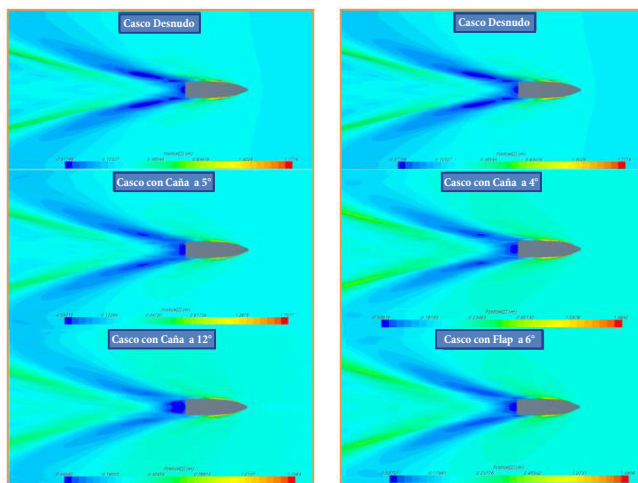


Figura 9. Evolución del sistema de olas generado por el modelo del casco con los diferentes apéndices, flap y cuña a 28 Kns durante el periodo de simulación en el tiempo calculado: 12 s. (Elaboración propia)

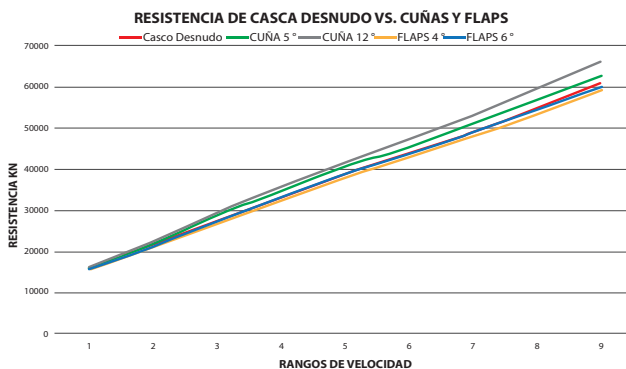


Figura 10. Gráfica general de los resultados de Resistencia al Avance en STAR CCM+. (Elaboración propia)

### Conclusiones

Los datos obtenidos a través de los diferentes métodos de predicción de la resistencia al avance y su comparación (Métodos semi empíricos vs CFD); mostraron una variación de 5.1 % entre ambos métodos, con una resistencia total de 64480 KN a la velocidad máxima de operación de la embarcación, comparando con el resultado arrojado en STAR CCM+ de 61192 KN; se obtuvo una diferencia de 3288 KN hasta alcanzar un número de Froude,  $F_n = 1.02$ , en el que la sustentación dinámica comienza a cobrar importancia, lo que proporcionó una base fiable en el trabajo desarrollado.

Se concluye que la implementación del flap a  $4^\circ$  sobre el casco, reduce la superficie mojada efectiva de la embarcación y en la zona de succión del espejo. Por lo tanto, a la hora de realizar simulaciones de embarcaciones rápidas a altas velocidades, hay que tener en cuenta este efecto y configurar unas condiciones de simulación que incluyan la variación del trimado con la velocidad, pues de lo contrario, se obtendrá una sobrestimación de la resistencia al avance. Se aclara, que en nuestro estudio el análisis de la variación del trimado no es dinámico (Aunque así se distingue), ya que el resultado favorable en la reducción de la resistencia, es notorio en las altas velocidades con el flap a  $4^\circ$ , debido a la reducción de la fuerza de drag y a un aumento de la fuerza de lift.

El mallado seleccionado fue el tipo Trimmer ya que es el que mejor se distribuye en las zonas planas del casco, también se optó por la caracterización del mallado con más de dos millones de celdas (aproximadamente 2, 381,668 para el caso del casco desnudo), por la recomendación de expertos en el tema y además con este número de celdas se obtiene un porcentaje más alto en los diagnósticos de malla (aproximadamente 99.40%) en comparación con menos números de celdas.

El tiempo empleado con el módulo de Maxsurf Resistance, para la predicción de la resistencia toma aproximadamente 15 minutos, mientras que en STAR CCM+, aproximadamente 26 horas, debido que se tiene un gran número de celdas; concluyendo de esta forma que los análisis con otros métodos basados algunos de tipo, métodos semi empíricos (como el método Savitsky) pueden ser una herramienta confiable también para obtener información de una manera más inmediata dependiendo de la premura del tiempo, manejando siempre de igual forma algún grado de tolerancias.

Con la implementación de la cuña en popa a  $12^\circ$  se obtuvieron los valores de resistencia más altos, con 8.33 % más en comparación con el casco desnudo, mientras los mejores resultados en la disminución de la resistencia se obtuvieron con el flap a  $4^\circ$ , con 3.38 % menos en comparación con el casco desnudo, debido a que los flaps entre  $1^\circ$  y  $6^\circ$  son más eficientes en cascos de embarcaciones de planeo con bajo ángulo de astilla muerta, como es en el caso de la embarcación en estudio.

## Referencias

- Bojovic, P., & Sahoo, P. (s.f.). *Effect of Stern Wedges and Advanced Spray Rail System on Calm Water Resistance of High-Speed Displacement Hull Forms*. Paper, ABS Americas; Australia Maritime College, Houston TX, USA. Launceston, Australia.
- Calle, J. M. (Noviembre 2004). *Análisis Dimensional*. Curso 2004-2005\_Apuntes de Mecánica de Fluidos, Universidad de Oviedo, Área de Mecánica de Fluidos, Gijón. Obtenido de [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/Mec\\_Fluid\\_CBS/tema\\_3\\_analisis\\_dimensional\\_0405.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/Mec_Fluid_CBS/tema_3_analisis_dimensional_0405.pdf)
- D. Cumming, R. P. (June 14 – 16, 2006). *Hydrodynamic Design of a Stern Flap Appendage for the HALIFAX Class Frigates*. Institute for Ocean Technology, National Research Council

Canada, St. John's, Defence R&D Canada - Atlantic, Dartmouth, Nova Scotia, Department of National Defence, Ottawa, Ontario.

Espinosa, J. G. (1999). *Un Método de Elementos Finitos para Analisis Hidrodinámicos de Estructuras Navales*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Fluent, G. D. (23 de 01 de 2009). *4.3 Spalart-Allmaras Model*. Obtenido de <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node49.htm>

Guerrero, A. J. (2016). *Sistemas de Reducción de la Resistencia en la Navegacion mediante una Capa de Aire entre el Casco y el Agua*. Universidad Politècnica de Catalunya, Facultad de Náutica de Barcelona, Barcelona.

Luis Pérez Rojas, Dr. Ing. Naval, Ms.S.1. (s.f.). *La calidad en el software. Validación de "CFD"*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (UPM), Facultad de Matemáticas (UCM), Madrid, España.

M. Salas, P. J. ( 2009). *Evaluación del Desempeño Hidrodinámico de Apéndices de Popa en Cascos de Desplazamiento*. Universidad Austral de Chile, Instituto de Ciencias Navales y Marítimas .

Ortiz, R. G. (2011). *Diseño de Interceptores para Embarcaciones de Pesca mediante Códigos CFD*. Tesis, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcib221d/doc/bmfcib221d.pdf>

Ponce, A. L. (Septiembre 2011). *Diseño de una Embarcación Planeadora de 5,4 m de L.O.A*. Tesis, Universidad Politècnica de Catalunya, Facultad Náutica de Barcelona, Barcelona.

Rodríguez, P. A. (2009). *Análisis Experimental de una Serie de Flaps de Popa en Unidad de Desplazamiento*. Tesis de Pre-Grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Valdivia, Chile.

Systems, B.(2013). *Manual del Usuario de Maxsurf Resistance*.

Tsai, J.-F. (Jun, 2014). Study on the Compound Effects of Interceptor with Stern Flap for Two Fast Monohulls with Transom Stern., (pág. 7). Taiwan, ROC. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/4129765\\_Study\\_on\\_the\\_compound\\_effects\\_of\\_interceptor\\_with\\_stern\\_flap\\_for\\_two\\_fast\\_monohulls](https://www.researchgate.net/publication/4129765_Study_on_the_compound_effects_of_interceptor_with_stern_flap_for_two_fast_monohulls)

Voxakis, P. (2012). *Ship Hull Resistance Calculations Using CFD Methods*. Tesis de Post-Grado, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering.

Zarate, M. F. (2017). Seminario de Herramientas Computacionales I (CFD)\_ENAP. *Apuntes de la clase*.

## ESTRUCTURACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA PARA BUQUES INTEGRADA DESDE EL DISEÑO

### Structuring a methodology for the development of the building strategy for vessels integrated from design

Ivan Jose Castilla Hernandez\*

Recibido: 26/06/2019

Aceptado: 28/10/2019

#### Resumen

La construcción naval se considera una industria integradora de muchos procesos, en donde la planificación armónica de todos estos adquiere un papel significativo. En este artículo se revisó el estado del arte de la aplicación de la construcción integrada y de la estrategia constructiva como su fundamento articulador de las diferentes áreas del astillero, presentando el contenido recomendado del documento de estrategia constructiva. Además, se presentan los criterios para definir la división estructural del casco, estos criterios se aplican para su validación en el proyecto patrullero de zona económica exclusiva designado por sus siglas en inglés "OPV 93 C", presentando la división obtenida. Estas recomendaciones pretenden facilitar los procesos de planificación en aspectos críticos como la estrategia constructiva y la división estructural del buque, permitiendo en las etapas tempranas de planificación del proyecto tener una hoja de ruta común, que facilite la comunicación entre las áreas implicadas.

**Palabras clave:** Estrategia constructiva, Construcción naval, Construcción integrada.

#### Abstract

The shipbuilding is considered an integrating industry of many processes, where the harmonic planning of all these acquires a significant role, in this article the state of the art of the application of the integrated construction and the building strategy will be reviewed as its articulating role for different areas of the shipyard, presenting the recommended content of the building strategy document. In addition, the criteria for defining the structural division of the hull are presented, these criteria are applied for validation in the OPV 93 C project, presenting the division obtained. These recommendations aim to facilitate planning processes in critical aspects such as the building strategy and the structural division of the ship, allowing in the early stages of project planning to have a common road map, which facilitates communication between the areas involved.

**Keywords:** Building strategy, Naval construction, Integrate ship construction.

\*Ingeniero Mecánico. M.S.c. en Ingeniera Naval. Jefe Departamento de Planeación, Programación y Control de Proyectos de Construcciones – COTECMAR. [icastilla@cotecmar.com](mailto:icastilla@cotecmar.com)

## **Introducción**

En un mundo globalizado como el presente, ningún tipo de industria se escapa a las exigencias que propone una competencia entre las empresas para poder subsistir. Ni siquiera las empresas estatales y/o las industrias protegidas por el Estado están exentas a la necesidad de ofrecer a los clientes un mejor producto en el menor tiempo posible, con calidad y al menor costo, con el fin de mantenerse a flote y lograr una mejor posición competitiva que le permita crecer de manera progresiva.

En esta perspectiva, la industria astillera varía al mismo ritmo de la situación de los mercados, los commodities, la situación económica y política de las diferentes regiones, por lo cual las necesidades de innovación y de eficiencia en los procesos es indispensable para mantenerse en la dirección adecuada y seguir creciendo en una región como la Latinoamericana, en donde la tradición astillera no es tan profunda como en Europa, Asia o Norte América.

Para mantenerse en este continuo crecimiento es absolutamente necesario implementar mejoras en todos los procesos, especialmente en los de planeación que permitan mantener la promesa de valor ofrecida a nuestros clientes, garantizando los tiempos de entrega y los requerimientos técnicos especificados.

En el presente artículo se definirán aspectos asociados a la aplicación de métodos constructivos que integren el equipamiento desde las etapas tempranas, explicando en que se fundamenta este método y cómo se aplica a través de la estrategia constructiva como documento integrador, para el cual se recomendará los contenidos que podrá incluir y por último se presentará una metodología cualitativa para la segmentación del casco.

## **Método**

Se realizó una investigación documental con el fin de determinar los antecedentes y estado del arte relacionado con la aplicación del documento de estrategia constructiva y la metodología constructiva que se considere entre las mejores prácticas en el medio astillero, aplicable a COTECMAR.

Se presentó una metodología cualitativa para el desarrollo de la división estructural del casco de buques metálicos, para lo cual se realizó la revisión estructural y de equipamiento del buque, lo que permitió recomendar una opción para el seccionamiento del casco del buque de Zona económica exclusiva OPV 93C que tiene como características facilitar el equipamiento avanzado y el ingreso de personal y equipos a las diferentes zonas.



## Metodología de la Construcción integrada (CI)

La construcción integrada (Lamb, 1995) se asocia a la instalación de sistemas y elementos del buque desde etapas tempranas de la construcción, posee muchas ventajas que incluyen el ahorro de tiempo al realizar un cronograma más compacto con tareas simultáneas en ejecución, uso más eficiente de las instalaciones del astillero, ahorro de horas hombre al hacer más eficiente la instalación de equipamiento en posiciones y ubicaciones más accesibles de los ensambles antes de la erección del casco, entre otros beneficios.

Para hacerla lo más efectiva posible, tal como lo define Martínez (2013), deberán incorporarse las siguientes características:

**Fabricación por familias:** Implementación desde el diseño de la descomposición del buque en productos intermedios, tanto de casco como de equipamiento, estos elementos deberán ser agrupados por sus características tales como: procesos de fabricación, materiales, tamaño, entre otros, lo que permitirá obtener el máximo rendimiento en su elaboración.

**Planificación integrada:** Es la integración de los cronogramas con la estrategia constructiva, definiendo las fechas de entrega de la información de ingeniería y los materiales para la liberación de los paquetes de trabajo.

**Construcción integrada por Zonas – Etapas:** Es orientar la producción de productos intermedios asociados a procesos semejantes que se realicen en ciertas zonas del buque, en las etapas de la construcción que le aplique, usando las ventajas de la construcción en serie.

**Diseño orientado a la producción:** Es la aplicación de los conceptos de familias de productos intermedios dentro de todas las etapas del diseño e ingeniería

**Paquetes de trabajo por Zona – Etapa:** Es la definición y planificación de los paquetes de trabajo que corresponden a cada zona en las respectivas etapas de la construcción que se asocien a esta.

**Grupos de trabajo multifuncionales:** En el mayor grado posible se programarán grupos de trabajo, que se especialicen en el grupo de procesos asociados a los productos intermedios que se le asignen, sin embargo, para mantener un equilibrio en las cargas de trabajo, los grupos podrán moverse a las estaciones más afines a su formación.

**Aprovisionamiento.** La planeación del proyecto, deberá permitir realizar una logística justo a tiempo, para reducir los espacios de almacenamiento o en el sentido

contrario. evitar que se atrasen las actividades del proyecto por la falta de materiales y/o equipos.

Control estadístico. Una vez establecido las líneas de proceso, se debe realizar la medición y control, para garantizar el equilibrio de estas, este proceso se realiza a través del cálculo de los rendimientos e identificación de cuellos de botellas, que permitan reducir las restricciones en el proceso.

Para aplicar esta metodología, es necesario que los astilleros consoliden su aplicación en un documento que será la guía para el diseño y la construcción, este documento se llama Estrategia Constructiva, el cual se profundizará a continuación.

Ahora, si bien el término estrategia constructiva es conocido y manejado a nivel mundial dentro de la industria astillera, es imposible encontrar una definición única que lo abarque, debido a que la aplicación de este concepto es relativo a cada astillero, los cuales determinan un alcance diferente en el sentido de lo que cubre en cada organización este documento.

Principalmente el concepto de estrategia constructiva se centra en la manifestación escrita de la hoja de ruta de diseño, construcción y pruebas de un buque o serie de buques en un astillero, integrando para todas las etapas del proyecto, los diferentes procesos y áreas, especificando desde el producto a diseñar y construir hasta el cómo se va a ejecutar el proyecto, considerando las capacidades constructivas.

De este modo, la definición dada por Lamb (1994) enuncia que:

La estrategia constructiva es una herramienta de planeación única, para integrar una variedad de elementos y provee una perspectiva holística de principio a fin para el desarrollo del cronograma del proyecto. Es además una forma de capturar los conocimientos y procesos combinados de diseño y construcción, de esta forma estos pueden ser continuamente mejorados, actualizados y usados como herramienta de entrenamiento. (pág. 48)

Dentro de los conceptos de estrategia constructiva es importante resaltar las siguientes características:

1. Integración de procesos y áreas: la importancia de usar la estrategia constructiva como un documento que resulta de integrar las áreas que intervienen en el proyecto del buque que son principalmente: diseño, producción, calidad, gerencia del proyecto, logística (compra y almacenes). Sin la interacción de las anteriores áreas no se puede tener una visión completa que abarque todas las aristas del proyecto.

2. Aplicable para todas las fases del proyecto: la estrategia constructiva es un documento que parte desde las fases más tempranas del diseño y se va desarrollando y robusteciéndose a lo largo de todo el proyecto.

3. El análisis en la planeación de cada etapa de la producción, durante el proceso de creación del documento de estrategia constructiva, permite identificar los riesgos de estas etapas, con el fin de reducirlos o evitarlos.

Cabe resaltar que los objetivos de establecer una estrategia constructiva para la construcción de un buque (Clark & Lamb, 1996) son muy variados y dependen de las necesidades de cada astillero, sin embargo, se pueden encontrar como objetivos comunes los que listamos a continuación:

1. Aplicar la política de construcción en el contrato específico de un nuevo proyecto.

2. Proveer un proceso que asegure que el desarrollo del diseño tenga en cuenta los requerimientos de producción.

3. Introducir de manera sistemática en la ingeniería de producción todas las acciones que permitan reducir la cantidad de trabajo y el tiempo de construcción.

4. Identificar los elementos intermedios y direccionar la ingeniería y la planeación hacia un enfoque orientado hacia el producto.

5. Determinar los requerimientos de infraestructura, recursos y habilidades.

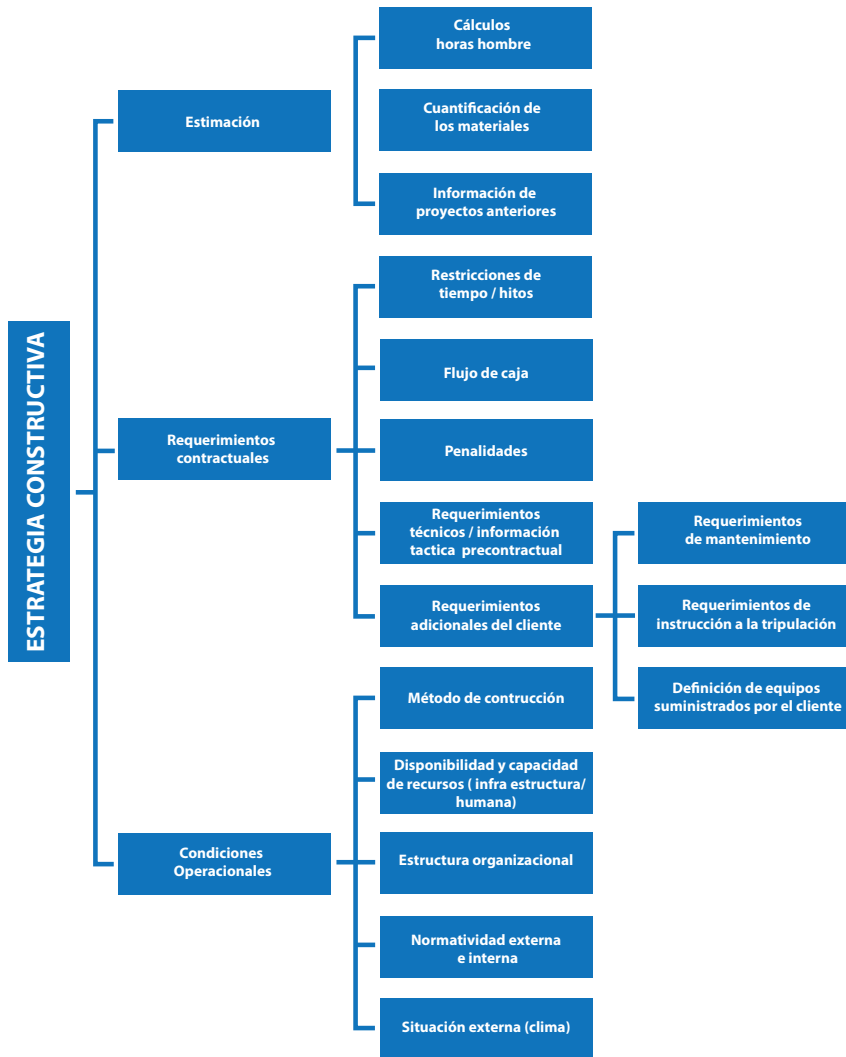
6. Crear parámetros para la programación y el plan de detalle para la ingeniería, compras y actividades de producción.

7. Identificación de elementos o procesos que reducen la productividad de las capacidades instaladas.

8. Asegura que todos los departamentos y/o áreas conozcan, participen y contribuyan en la definición de la estrategia.

9. Identifica los objetivos contractuales y de gerencia respecto al nuevo proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos decir, que la estrategia constructiva es un documento que acuerdo al avance del diseño, se puede ir desarrollando conforme las entradas necesarias se vayan generando. En la Figura 1 se presenta un esquema, en donde se relacionan varias de las fuentes de entradas más significativas que tiene el proceso de planificación, que se integra en el documento de estrategia constructiva.



**Figura 1** Entradas para el desarrollo de la estrategia constructiva  
 Fuente: Elaboración propia a partir de Lamb (1994)

A continuación, se presenta el contenido recomendado para el documento de estrategia constructiva, este contenido incluye información relevante que permitirá al equipo del proyecto, recopilar las entradas y requerimientos del proyecto y volverlo a través de los diferentes puntos en salidas asociadas a la planificación básica de recursos para el proyecto.

Este contenido se recomienda a partir del estado del arte y de las necesidades para la implementación de una metodología de construcción integrada, esta última se aplica en la estrategia constructiva, desde los capítulos de diseño, en donde se deberá orientar la ingeniería hacia el producto, en aspectos tan relevantes como la división estructural del casco del buque que se ampliará más adelante.

### **Descripción básica de la embarcación**

- 1.Descripción de las misiones del buque.
- 2.Características principales del buque.
- 3.Concepto de desempeño del buque.
- 4.Regulaciones aplicables.
- 5.Comparación y diferencia con embarcaciones construidas en el astillero constructor.

### **Contrato.**

- 1.Información general del contrato.
- 2.Inclusiones, exclusiones y restricciones.
- 3.Fechas contractuales (hitos).
- 4.Interesados contractuales (stakeholders).
- 5.Penalidades
- 6.Lugar de entrega.
- 7.Instrucción a la tripulación de la unidad.
- 8.Documentación a entregar y los idiomas permitidos.

### **Cronograma maestro (estimado).**

- 1.Fechas de los hitos contractuales / pagos
- 2.Fechas generales de entregas de diseño
- 3.Entregas de materiales y equipos críticos.
- 4.Tiempos de construcción.

### **Diseño e ingeniería.**

- 1.Fases de la ingeniería del proyecto.
- 2.Necesidades de recursos para la ingeniería.
- 3.Canales de comunicación ingeniería.
- 4.Requerimientos de hardware y software.
- 5.Plan general de despiece del buque.
- 6.Estándares de ingeniería.
- 7.Paquetes de planos de ingeniería de taller.
- 8.Estrategia de certificación de clase.
- 9.Procedimiento para la gestión de cambios

### **zAdquisición**

1. Listas de materiales y equipos
2. Estrategia de adquisición.
3. Servicios subcontratados.
4. Requerimientos contractuales para los contratos derivados.

### **Planeación y producción.**

1. Análisis de disponibilidad recursos.
2. Ruta crítica del proyecto.
3. Secuencia recomendada de construcción
4. Plan de ingreso de equipos.
5. Desglose o partición del trabajo.
6. Objetivos de productividad.

### **Pruebas y control de calidad.**

1. Plan de ensayos no destructivos.
2. Listado de pruebas de fábrica requeridas.
3. Análisis requerimiento casa clasificadora.
4. Protocolos de puerto y mar.

### **Control de pesos.**

1. Procedimiento control de pesos.

### **Personal.**

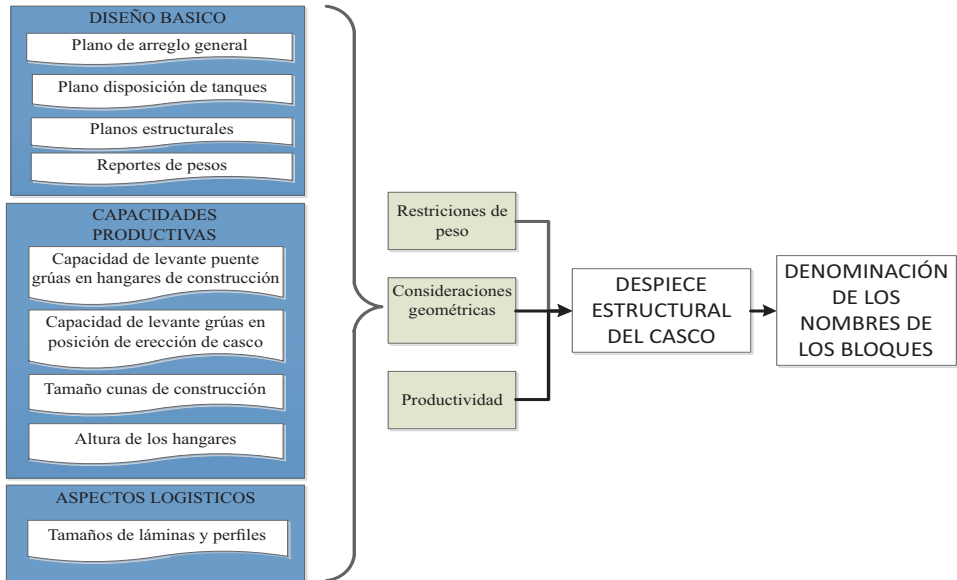
1. Proyección de horas hombre y cargos o especialidades.
2. Asistencia técnica requerida.

## **Metodología para la división estructural del buque**

El despiece en bloques estructurales del buque es fundamental en el proceso de construcción del casco y es una de las partes fundamentales de la estrategia constructiva. El despiece de los bloques que se propondrá en la presente sección considera la metodología cualitativa de la construcción integrada y en específico la metodología de construcción de bloques de casco (HBCM) fundamentada en la optimización de cada uno de los niveles de manufactura que van desde la fabricación de partes hasta la erección del casco.

**Definición de las entradas para la distribución estructural del casco.** En la *Figura 2* se presenta un diagrama en donde se relaciona las entradas a la metodología cualitativa de despiece de bloques, a continuación, se van a desarrollar estos conceptos.





**Figura 2.** Entradas de la Metodología del despiece del casco  
Fuente: Elaboración propia a partir de Romanoff (2015)

Las entradas a partir de las cuales se definen los límites de bloques para hacer el despiece del casco se pueden asociar a información de diseño, las capacidades productivas del astillero y aspectos logísticos.

**Entradas del diseño básico.** Los entregables de diseño parte específicamente de la fase de diseño preliminar, en donde se definen el arreglo general del buque y los planos preliminares estructurales (Gale, 2003), a continuación se detallan.

*Plano arreglo general.* Presenta la disposición general del contenido de los espacios del buque.

*Plano preliminar disposición de tanques.* Define las fronteras de los tanques estructurales del buque.

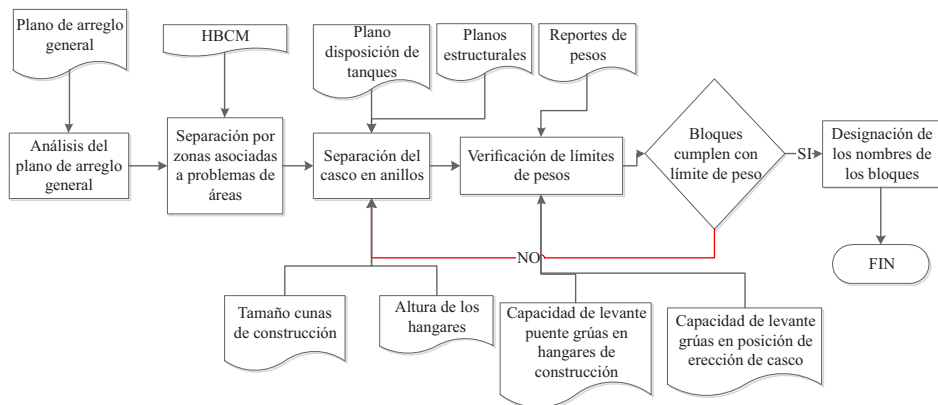
*Planos preliminares estructurales.* Presentan los elementos estructurales de las diferentes secciones del casco. Para el análisis de despiece se verifican principalmente que el bloque contenga de ser posible, una cubierta plana en donde se pueda soportar el bloque y un mamparo transversal que le dé rigidez para su manipulación (levante y volteo).



## Aspectos logísticos.

*Tamaños de láminas y perfiles.* Comercialmente y por razones logísticas (transporte internacional) el formato de las láminas es de 12 x 2.4 mts, y el de los perfiles de 12 metros de largo, con el fin de reducir la cantidad de desperdicio de acero, es recomendable que el largo de las cubiertas y costados, en donde se despliegan las tracas y los refuerzos longitudinales, no superen los 12 metros, si es superior a esta dimensión se deberá realizar cortes y soldaduras adicionales.

**Aplicación de la metodología de la división estructural del buque.** En este punto se estudian las entradas recopiladas por parte del equipo del proyecto aplicándose los pasos que se presentan en el diagrama de flujo de la Figura 4.

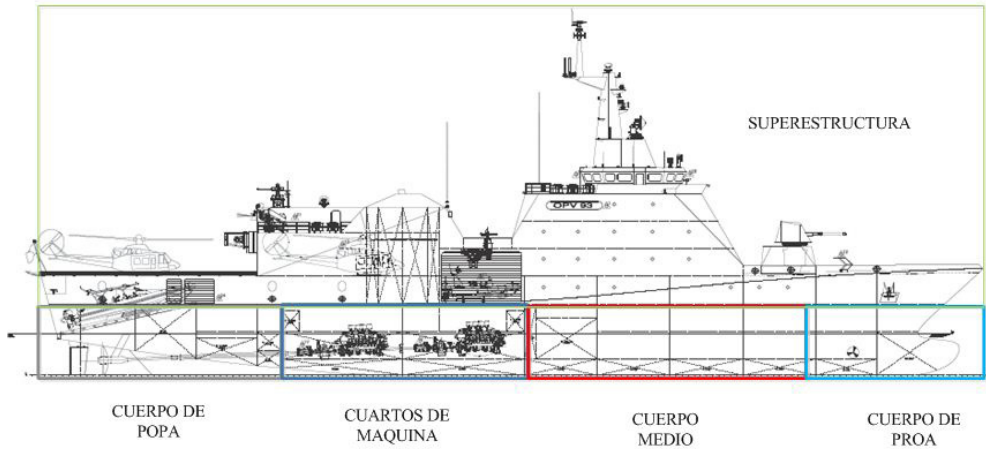


**Figura 4.** Diagrama de flujo de la metodología de despiece  
Fuente: Elaboración propia basado en Romanoff (2015)

Separación por zonas. En este punto se aplica la metodología de construcción de bloques de casco, en donde para el nivel de manufactura de ensamble de bloques, se recomiendan que las áreas se asocien a espacios de un mismo tipo, tales como:

- Proa.
- Cuerpo medio.
- Cuartos de máquinas.
- Popa.
- Superestructura.

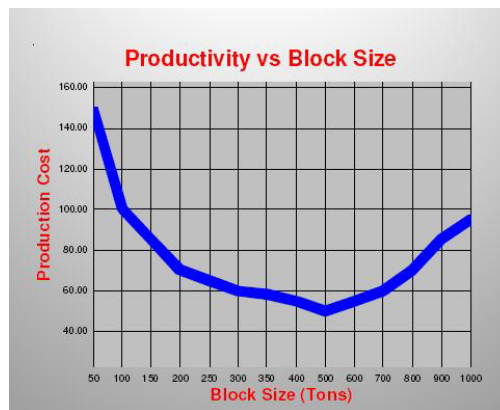
Esta agrupación se puede realizar usando como entrada el plano de arreglo general, tal como se muestra en el ejemplo que se plantea en la Figura 5.



**Figura 5.** Seccionamiento del casco acuerdo a problemas de área

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

**Separación del casco en anillos.** El tamaño de los anillos o bloques se recomiendan que sea del mayor posible (ver Figura 6) que pueda el astillero manipular (SPAR ASSOCIATES,2009), en función de las restricciones de espacio y capacidad de levante que estos tengan; a medida que los bloques sean de mayor tamaño, se puede tener mejoras productivas, asociadas a menor tiempo en la ingeniería de taller, al tener que generar una menor cantidad de paquetes de trabajo, así mismo en la construcción se podrán reducir las horas de erección de casco.

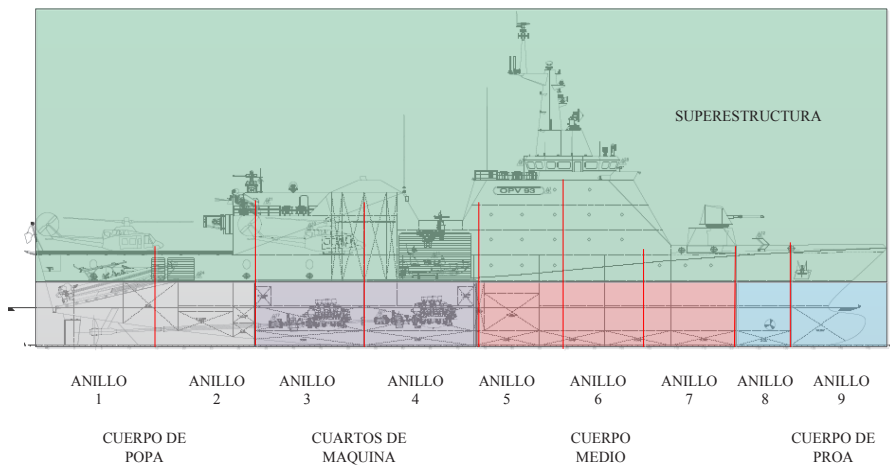


**Figura 6.** Productividad Vs el tamaño de los bloques

Fuente: SPAR ASSOCIATES (2009)

El límite de tamaño desde el punto de vista geométrico se asocia a las restricciones de cunas y espacio en los hangares de construcción y a consideraciones de tipo logística asociados a los formatos de material, tales como se relacionó cuando se definieron las entradas al proceso, las longitudes máximas de los anillos o bloques se recomiendan mantener por debajo de los 12 metros, con el fin de no demandar cambios mayores en la infraestructura (construcción de cunas especiales).

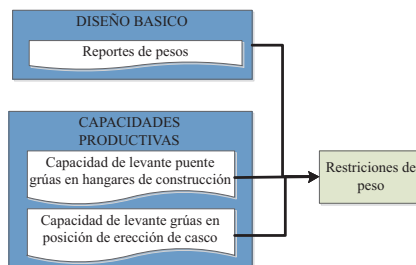
En la *Figura 7* se presentan los cortes de anillo recomendados acuerdo a las consideraciones anteriores.



**Figura 7** Separación del casco en anillos

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

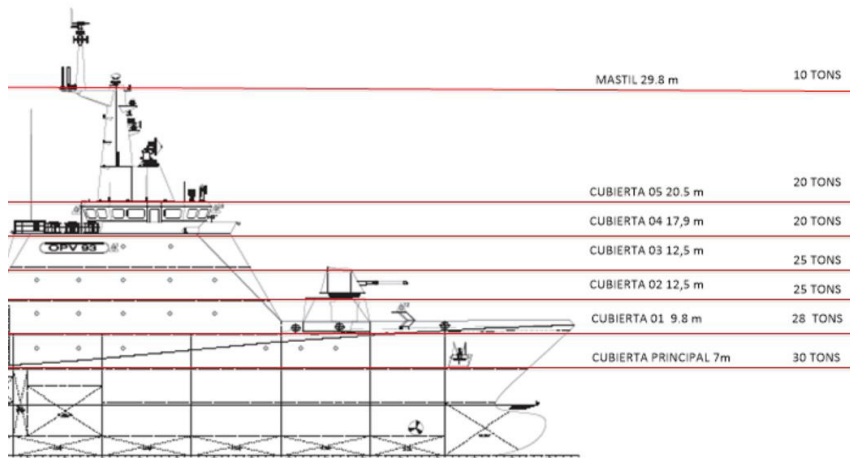
**Verificación de límites de pesos.** Se considerarán las restricciones de peso tomadas de las entradas que muestran en la *Figura 8*.



**Figura 8.** Restricciones de peso

Fuente: Elaboración propia a partir de Romanoff (2015)

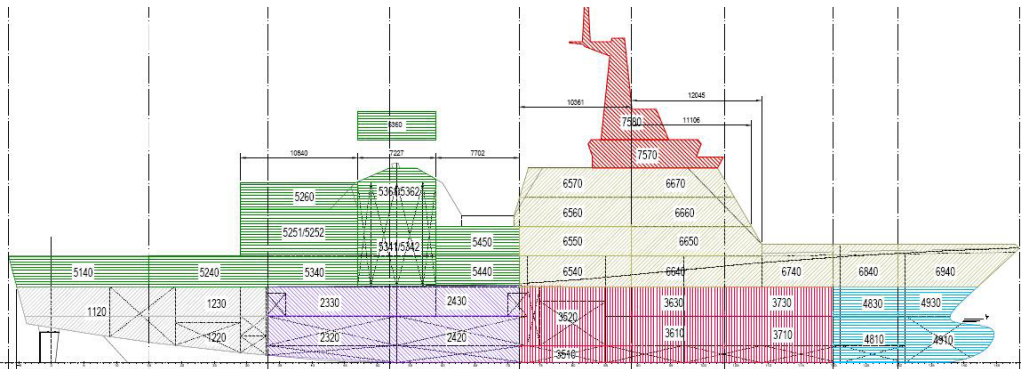
Se aplicaran diferentes valores máximos para el peso de los bloques, considerando la posición del bloque en el buque, para los bloques ubicados por debajo de la cubierta principal, el tope en el caso de estudio planteado (OPV 93C) será de 45 toneladas asociada a la capacidad máxima del puente grúa (10% de margen de seguridad) y para los bloques ubicados en la superestructura, el tope de peso se irá reduciendo a mayor altura, en la *Figura 9* se presentan los diferentes niveles de la superestructura y los topes máximos en toneladas que podrán ser levantado al nivel de cada cubierta por una grúa LMT 1350 (Liebherr-Werk GmbH, 2012).



**Figura 9 .** Topes de pesos máximos de bloques de superestructura

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

Por parte del área de ingeniería, se tomarán la división estructural recomendada a partir de los cortes realizados por zonas y anillos, y se calcularán los pesos específicos de cada uno de los bloques, esto se puede realizar de manera paramétrica cuando aún no se cuente con maqueta 3D, estos pesos se confrontarán con los límites máximos establecidos anteriormente y si están por debajo de estos se podrá validar la alternativa de división, en caso negativo se deberán verificar los tamaños específicos de los bloques que superan esta restricción y se podrán dividir en sub bloques o alterar sus límites para que entren en los parámetros definido, en la *Figura 10* se presenta la disposición final de bloques definido después de la aplicación de los pasos explicados previamente.



**Figura 10.** Segmentación casco OPV 93C

Fuente: COTECMAR (2018) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

## Discusión y Conclusiones

El uso de la *Estrategia Constructiva* se recomienda como documento integrador que permite la aplicación de la construcción integrada en proyectos de construcción naval, en este estudio se recomienda un contenido que permite incorporar en los procesos como diseño, ingeniería y producción, los conceptos claves relacionados en el marco teórico, que incluye la fabricación por familias, que por ejemplo define la división estructural del casco, además orienta los procesos de soporte, como es el caso de las adquisiciones, ayudando a identificar las compras que abrirán el paso para integrar desde las etapas más tempranas, elementos de equipamientos como tuberías, bandejas eléctricas entre otros.

Para la división estructural del casco, se definen los criterios que se deberán tener en cuenta para definirla, estos criterios toman información del diseño básico del buque, que incluye la disposición estructural y de tanques, además de las capacidades productivas, como los límites de levante de las grúas disponibles en el astillero y de las restricciones logísticas, para establecer unos pesos y volúmenes máximos por bloque y así segmentar el casco utilizando estos límites.

Los criterios anteriores fueron aplicados a la información de ingeniería del OPV 93C y capacidades productivas de COTECMAR, obteniendo como resultado la división estructural de bloques recomendada para este proyecto, lo cual valida su aplicabilidad y facilitará en consecuencia la realización de la tarea de división de bloques que es fundamental en un proyecto de construcción naval.

Finalmente, se recomienda motivar la recopilación del documento de política constructiva al interior del Astillero, pues este documento es un puente entre el plan de negocios y los proyectos, definiendo entre otros temas las inversiones en infraestructura y tecnología para que el Astillero logre ejecutar los objetivos de productividad.



## Referencias

- Clark, J., & Lamb, T. (1996). *Build strategy Development. Journal of ship production*, Vol.12, No. 3, 198 - 209.
- COTECMAR (2017). Especificaciones técnicas OPV 93C.
- Gale, P. (2003). *The ship design process*. En T. lamb, *Ship design and construction* (págs. 5.1 - 5.40). Alexandria: The Society of Naval Architects and Marine Engineers .
- Lamb, T. (1994). *Build strategy Development*. Michigan, USA: The National Ship Research Program.
- Lamb, T. (1995). *The Advanced outfitting Dilemma*. SNAME Journal of Ship Production, 90 - 100 .
- Liebherr-Werk GmbH. (2012). *Tablas de capacidades grúas LTM 1350*. Ehingen, Germany: Catalogos Liebherr.
- Martinez, D. G. (2013). *Evolución de los procesos de diseño, fabricación y montaje de tubería en construcción naval: obtención de un procesos de control integrado de diseño de tubería aplicable a buques militares y y a buques civiles* (Tesis doctoral). Coruña, España: Universidad de la Coruña.
- Romanoff, j. (2015). *Hull production -Product hierarchy and block division*. Espoo, Finlandia: Aalto University.
- SPAR ASSOCIATES. (2009). *Planning new construction & Major ship conversion* . SPARUSA.

## SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y ELEMENTO PROTECTOR DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA LOS SUBMARINOS TIPO 209 DE LA ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA

### Activation system and protective element of a geolocation emergency system for type 209 submarines of the colombian national navy

José David Monroy Ardila<sup>1</sup>  
Huber Camilo Araujo Burbano<sup>2</sup>

Recibido: 10 /4/2019  
Aceptado: 3/10/2019

#### Resumen

El presente proyecto de investigación se propone el desarrollo de un sistema de activación y elemento protector de un sistema de emergencia de geolocalización para los submarinos tipo 209 de la Armada Nacional de Colombia con el fin de brindar información de coordenadas geográficas (sistema COSPAS-SARSAT) al Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional, y de esta manera planear una operación de salvamento del submarino o búsqueda y rescate de la tripulación. Para la materialización del sistema propuesto se indagó sobre los fenómenos físicos involucrados en cada uno de los subsistemas que lo conforman, como son: funcionamiento sistema COSPAS-SARSAT, sistemas de emergencia para submarinos, aplicación de la física al buceo, magnetismo, electro neumática y resistencia de materiales. A partir de esto, se procedió a diseñar el sistema; para ello se utilizó herramientas computacionales como AUTOCAD® (generación planos), EasyEDA® (simulador electrónico online) para diseño del circuito eléctrico

y FluidSIM® para el desarrollo del circuito electro neumático. Realizado el proceso de diseño se pasó a la etapa de construcción y validación del sistema creado.

**Palabras clave:** Sistema COSPAS-SARSAT submarino, física del buceo, electro neumático, herramientas computacionales.

**Abstract:** The present research project proposes the development of an activation system and protective element of a geolocation emergency system for type 209 submarines of the Colombian National Navy in order to provide geographical coordinates information (COSPAS-SARSAT system) to the Department of Diving and Salvage of the National Navy, and in this way to plan a rescue operation of the submarine or search and rescue of the crew. For the materialization of the proposed system, we inquired about the physical phenomena involved in each of the subsystems that comprise it, such as: COSPAS-SARSAT system operation, emergency systems for submarines, application of physics to diving,

<sup>1</sup>Profesional en Ciencias Navales. Escuela de Buceo y Salvamento. [jose.monroy@armada.mil.ao](mailto:jose.monroy@armada.mil.ao)

<sup>2</sup>Ingeniero Mecánico. Escuela de Buceo y Salvamento. [huber.araujo@armada.mil.ao](mailto:huber.araujo@armada.mil.ao)

magnetism, electro pneumatics and material resistance. Having these concepts clear, we proceeded to design the system; for this, computer tools such as AUTOCAD® (plan generation), EasyEDA® (electronic online simulator) for electrical circuit design and FluidSIM® for the development of electro-pneumatic

circuit were used. Once the design process was completed, the construction and validation of the created system was carried out.

**Keywords:** COSPAS-SARSAT system, submarine, diving physics, electro pneumatics, computational tools

## **Introducción**

La Armada Nacional de Colombia actualmente cuenta con submarinos tipo 209 y A206 que presentan los siguientes sistemas de emergencia: escape de emergencia, trampas de aire, balsas de salvamento, chalecos de escape, cinturones de seguridad y equipos para extinción de incendios. No cuentan con un sistema de emergencia alterno efectivo que permita conocer la posición geográfica en tiempo real en caso de una falla humana, técnica o bélica que lleve al submarino al fondo del mar, impidiendo conocer dos variables esenciales para la planeación de una operación de salvamento, como son la posición y profundidad del artefacto naval.

El presente trabajo de investigación plantea una propuesta para el diseño de un sistema de activación y elemento protector para un dispositivo de geolocalización que permita determinar la posición del submarino que presenta una emergencia. Con este sistema se busca dotar al Departamento de Buceo y Salvamento de una herramienta de salvamento para la búsqueda de submarinos, y de esta manera optimizar el tiempo de busque y rescate de la tripulación

## **Método**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se indagó sobre los diferentes fenómenos físicos relacionados con el sistema, como fueron: física aplicada al buceo, sistema Cospas- Sarsat, resistencia de materiales, sistemas de emergencia de submarinos, magnetismo y electro neumática; donde se identificó los recursos teóricos, técnicos y tecnológicos necesarios para la selección del sistema de geolocalización, diseño del elemento protector y sistema de activación- liberación. Obtenida y analizada la información se procedió a modificar la boya EPIRB para ser activada mediante magnetismo utilizando un reed switch. . Luego de esto, procedió en calcular el espesor del cilindro (dependiendo del material seleccionado, aluminio o fibra de vidrio) que sea resistente a la compresión hidrostática (400m de profundidad). Luego se diseñó el sistema de activación- liberación del elemento protector, donde se utilizó un sistema electro neumático (válvula 5/2 y actuador neumático). Para posteriormente realizar pruebas del sistema individual y en conjunto en el tanque abierto del Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional de Colombia.

## **Análisis y resultados**

### **Sistema de geolocalización**

La adquisición de la boya EPIRB se realizó por intermedio de la Flotilla de Superficie del Pacífico, dado que la Unidad ARC “Buenaventura” se encontraba en proceso de desactivación. Al momento de recibir la boya EPIRB modelo Emergency Position Indicating Radio Beacon - ACR SATELLITE2 406 RLB32, ésta se encontraba fuera de servicio según la Unidad marítima antes mencionada.

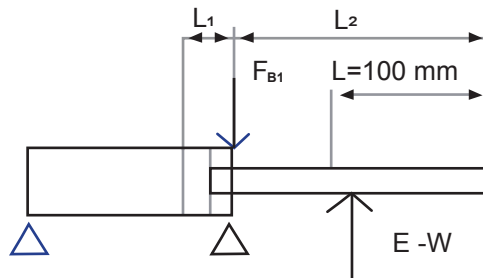


*Figura 1. Modificación circuito electrónico – Reed switch - Fuente: Autores*

Analizado el sistema electrónico se procedió modificar el sistema de activación acuerdo las necesidades del proyecto.

### **Sistema de activación y liberación**

Para seleccionar el actuador neumático que cumpla las características de pruebas de validación (tanque abierto, 10 metros) se realizó un análisis de fuerzas (diagrama de cuerpo libre), utilizando la ecuación 1 y uso de un catálogo comercial seleccionar el actuador idóneo (Catalogo SMC1 (2011)).



*Figura 2. Diagrama de cuerpo libre para la selección del actuador neumático. Fuente: Autores*

$$F_{B1} = W_s \left( 1 + \frac{L_2}{L_1} \right) \quad (1)$$

Ec. 1 donde,

- $F_{B1}$ : Carga admisible sobre el casquillo guía [N]  
 $W_s$ : Carga en el extremo del vástago [N] (para este caso corresponde a 19,93 N)  
 $L_2$ : Longitud de empotramiento [mm]  
 $L_1$ : Longitud del vástago [mm]

El resultado de  $F_{B1}$  debe ser menor que el mostrado en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**  
 Selección del actuador neumático sometido a cargas radiales

Serie	$\bar{A}$ Cilindro (mm)	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	Carga máxima ( $F_a$ ) sobre el casquillo guía
C85	8	31,2	17,3 +carrera	2,5
	10	31,2	17,3 +carrera	3,9
	12	35,2	21,8 +carrera	5,6
	16	35,2	21,8 +carrera	10
	20	39,3	25,6 +carrera	15,7
	25	42,8	27,6 +carrera	24,5
C75	32	51,6	30,4 +carrera	40,2
C65	40	66,1	35,4 +carrera	62,4
C92	32	32	52 +carrera	40
	40	37	58+carrera	65
	50	39	68 +carrera	100
	63	43	71 +carrera	155
	80	52	79 +carrera	250
	100	56	85 +carrera	395
	125	91	118 +carrera	615
160	103	149 +carrera	1005	

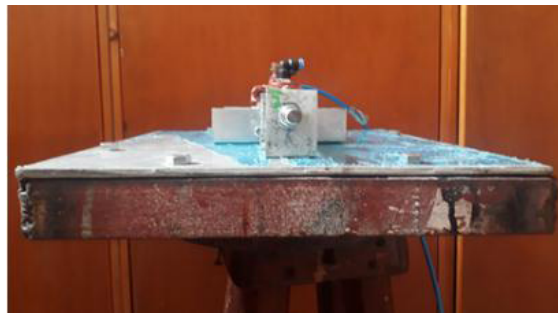
Fuente: Autores

Con los datos obtenidos se seleccionó un actuador neumático de diámetro 40 mm y 100 mm de carrera.

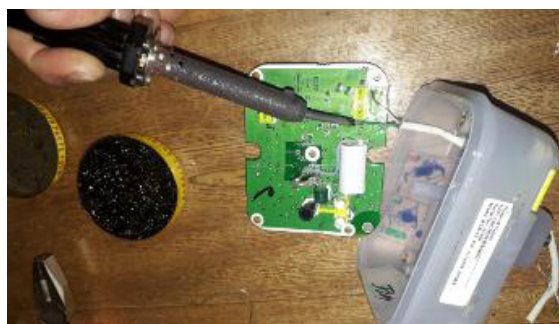


**Figura 3.** Cilindro doble efecto carrera 100 mm, diámetro 40 mm ISO PTO ¼ NPT  
Fuente: Autores

Para el soporte del cilindro neumático y los imanes de neodimio, se construyeron las siguientes estructuras:



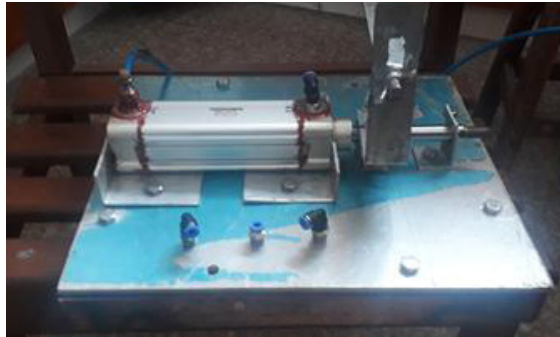
**Figura 4.** Vista frontal estructura soporte actuador neumático  
Fuente: Autores



**Figura 4.** Vista frontal estructura soporte actuador neumático  
Fuente: Autores



En la siguiente figura se indica el ensamble del sistema de activación-liberación:



**Figura 7.** Sistema de activación-liberación

Fuente: Autores

### Elemento protector y cálculo de flotabilidad

Para determinar las dimensiones de espesor, diámetro y altura del prototipo del elemento protector o carcasa (cuya principal función es mantener la estanqueidad y protección de la boya EPIRB) que garantice la flotabilidad positiva y resistencia a la compresión, se utilizó el procedimiento propuesto por la ABS (American Bureau of Shipping) (ALLMENDINGER, 1990).

**Tabla 2.**

Si $P_m/P_y \leq 1$	Si $1 < P_m/P_y \leq 3$	Si $P_m/P_y > 3$
$P_c = P_m/2$	$P_c = P_y[1 - P_y/(2P_m)]$	$P_c = 5/6 P_y$

Fuente: Autores

Donde Ec.2

$$P_m = \frac{2,42E[t/(2R)]^{V^2}}{(1 - v^2)^{V^4} [L/(2R) - 0,45(t/(2R))^{V^2}]} \quad (2)$$

Propone tres ecuaciones:

$t$ : Espesor

$P_m$ : Presión máxima de trabajo

$P_y$ : Presión de trabajo que supera el límite de fluencia del material

$P_c$ : Presión crítica por ABS

$C$ : Profundidad

- **Requerimientos:**

Profundidad: 400 m

Flotabilidad positiva

Material: aluminio serie 5XXX y fibra de vidrio

Dimensiones:

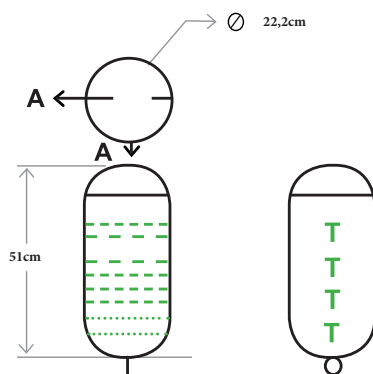
Radio: 22 cm

Largo: 21 cm

Elemento hermético

Densidad de agua: 1027 Kg/m<sup>3</sup>

Facilidad hermeticidad desmonte esfera superior.



**Figura 8.** Pre modelo elemento protector.

Fuente: Autores

**Tabla3.**

Datos de entrada calculo espesor

Datos de entrada	Aluminio	Fibra de vidrio
Radio de casco R [m]	0,11	0,11
Forma de cilindro, material, cuadernas F	0	0
Módulo de Young E [Pa]	6,90E+10	4,50E+10
Módulo de Poisson V [-]	0,35	0,19
Longitud entre cuadernas L [m]	0,1	0,1
Límite de fluencia material [Pa]	117000000	62055000
Factor de uso o inversa FS[-]	0,8	0,8
Aceleración g [m/^2]	9,8	9,8
Densidad de agua de mar [Kg/m^3]	1027	1027
Factor de seguridad F.S	1,25	1,25

Fuente: Autores

**Tabla 4.**

Datos de salida para espesor aluminio

t[m]	$\rho_m$ [Pa]	$\rho_v$ [Pa]	$\rho_m/P_v$	$\rho_c$ [Pa]	$\rho_d$ [Pa]	c[m]
0,003	15055434,46	3190909,09	4,71	2659090,91	2127272,73	211,36
0,004	31881496,24	4254545,45	7,49	3545454,55	2836363,64	281,82
0,00415	35108662,72	4414090,91	7,95	3678409,09	2942727,27	292,38
0,005	57288059,35	5318181,82	10,77	4431818,18	3545454,55	352,27
0,006	92767941,82	6381818,18	14,53	5318181,82	4254545,45	422,72

Fuente: Autores

**Tabla 5.**

Datos de salida para espesor fibra de vidrio

t[m]	$\rho_m$ [Pa]	$\rho_v$ [Pa]	$\rho_m/P_v$	$\rho_c$ [Pa]	$\rho_d$ [Pa]	c[m]
0,003	6046830,005	1692409,09	3,573	1410340,91	1128272,73	112,1
0,004	12669137,83	2256545,45	5,614	1880454,55	1504363,64	149,47
0,00415	13930350,68	2341165,91	5,95	1950971,59	1560777,27	155,08
0,005	22541975,03	2820681,82	7,992	2350568,18	1880454,55	186,84
0,006	36164168,29	3384818,18	10,684	2820681,82	2256545,45	224,21
0,0069	52024838,27	3892540,91	13,365	3243784,09	2595027,27	257,84
0,00783	72249517,36	4414367,05	16,367	3678639,2	2942911,36	292,40
0,00875	96807879,86	4936193,18	19,612	4113494,32	3290795,45	236,97
0,00968	126054572,1	5458019,32	23,095	4548349,43	3638679,55	361,53
0,0106	160340760,5	5979845,45	26,814	4983204,55	3986563,64	396,10
0,01153	200015418,3	6501671,59	30,764	5418059,66	4334447,73	430,66

Fuente: Autores

De los datos de salida se observa que el elemento protector de material de aluminio y fibra de vidrio debe tener un espesor de 6 mm y 12 mm respectivamente para cumplir el requerimiento de 400 m de profundidad. Obtenido el espesor del material de aluminio y fibra de vidrio, se calculó la flotabilidad positiva del elemento protector y por ende sus principales cotas (altura y diámetro).

### Calculo flotabilidad positiva del elemento protector.

Se realizó el cálculo para tres materiales PVC, aluminio y fibra de vidrio. Las ecuaciones utilizadas se relacionan a continuación:

**Tabla 6.**  
Ecuaciones para el cálculo de flotabilidad

Ecuación	Descripción de variables
$V = \frac{\pi}{4} D^2 h$	$V$ : volumen carcasa
	$D$ : diámetro carcasa
	$h$ : altura del carcasa
$W = mg$	$W$ : volumen carcasa
	$D$ : diámetro carcasa
	$h$ : altura del carcasa
$E = \rho g V$	$\rho$ : densidad agua mar
	$g$ : gravedad
$RF = E - W$	$V$ : volumen carcasa
	$RF$ : reserva flotabilidad
$V_{RF} = RF/\rho$	$V_{RF}$ : volumen reserva flotabilidad
$h_{RF} = \frac{4V_{RF}}{\pi D^2}$	$h_{RF}$ : altura reserva flotabilidad
$h_s = h - h_{RF}$	$h_s$ : altura sumergida

Los datos de entrada y salida para el PVC se muestran a continuación:

**Tabla 7.**  
Datos de entrada PVC

Diámetro[m]	0.17
Altura[m]	0.21
Espesor[m]	0.005
Material	PVC
Masa epirt[kg]	0.861
Masa material[kg]	2
Gravedad[m/s <sup>2</sup> ]	9.8
Densidad del agua salada[kg/m <sup>3</sup> ]	1027

Fuente: Autores

**Tabla 8.***Datos de salida PVC*

Volumen elemento protector [m <sup>2</sup> ]	0.00477
Volumen elemento protector [L]	4.77
Masa total elemento [kg]	2.86
Peso total elemento [N]	28.04
Empuje [kg]	4.90
Empuje [N]	47.97
Reserva- flotabilidad positiva [Kg]	2.03
Volumen reserva de flotabilidad [m <sup>2</sup> ]	0.0028192
Volumen reserva de flotabilidad [L]	1.98
Altura reserva de flotabilidad[m]	0.087
Altura sumergida [m]	0.123

*Fuente: Autores*

Las tablas No 7 y 8 presentan las dimensiones para la construcción del elemento protector, donde se garantiza flotabilidad positiva y una reserva de la misma de 2,03 Kgf para PVC. Al ascender a superficie este elemento flotara, y estará sumergido solo 0.086 m, equivalente al 56% del total de su altura.

En la siguiente tabla se resume los resultados de los principales datos de salida de los materiales en estudio:

**Tabla 9.***Recopilación datos de salida diferentes materiales*

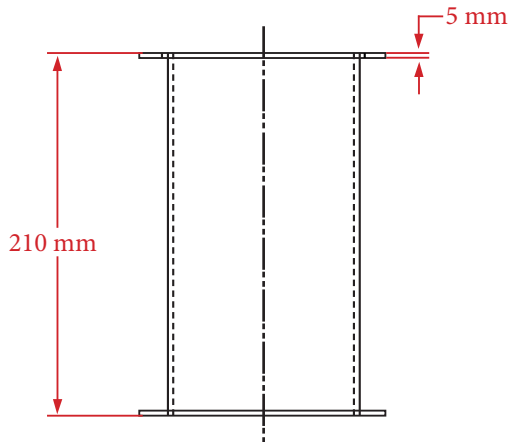
Datos de salida	PVC	Aluminio	Fibra de vidrio
Diámetro[m]	0.17	0.22	0.22
Altura[m]	0.21	0.27	0.26
Espesor[m]	2.86	4.94	5.02
Material	4.9	10.54	10.15
Reserva flotabilidad[kg]	2.0	5.8	5.13
Masa material[kg]	0.123	0.127	0.128
Gravedad[m/s <sup>2</sup> ]	56	47	49.2

*Fuente: Autores*

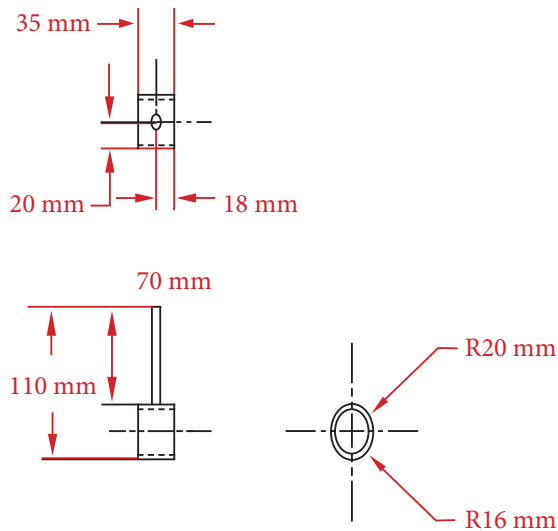
En la tabla No 9 se puede observar que los tres materiales de estudio con las dimensiones de diseño (altura y diámetro) mantiene en promedio un 51% de su altura sumergida, indicando una excelente reserva de flotabilidad, lo que mantendrá una buena estabilidad del objeto, dependiendo la distribución de cargas, las cuales para este caso se localizaran en la base del elemento protector (zona inferior del cilindro).

## Diseño en AutoCAD y construcción

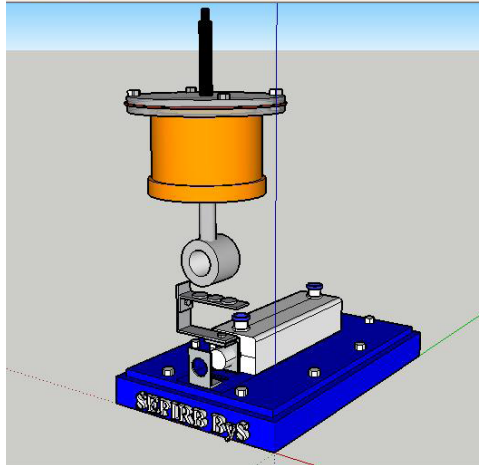
Una vez obtenidos los resultados de los cálculos, procedimos a obtener los planos 2D e isométrico mediante la herramienta computacional AutoCAD, como se muestra a continuación:



**Figura 9.** Vista frontal elemento protector  
Fuente: Autores



**Figura 10.** Vista frontal, lateral derecha y superior soporte de liberación elemento protector  
Fuente: Autores



**Figura 11.** Vista isométrica modelo 3D  
**Fuente:** Autores

Con los planos generados, se realizó la fabricación de cada una de las piezas. Para el prototipo del elemento protector se utilizó tubería PVC-RDE 26<sup>3</sup> como material base, cuya presión de trabajo a 23°C es 180 psi (12.2 atm). Dado que la prueba de validación se realizará a 2 ATA (20 mca o 29,4 psig) este material seleccionado para el prototipo puede soportar los esfuerzos al cual estará sometido.



**Figura 12.** Fabricación elemento protector- tubería PVC  
**Fuente:** Autores

<sup>3</sup>PAVCO Manual técnico tubosistemas PRESION PVC . p. 7. [citado 20, junio, 2018]. Disponible en: <<http://www.pavco.com.co>>





*Figura 13. Corte circular lamina de acrílico*  
*Fuente: Autores*

Para la fabricación de las bridas se realizó la preparación de la lámina de acrílico, la cual consistió en realizar un corte circular de mayor diámetro del diseño, con el fin que sea posible mecanizarlo en el torno



*Figura 14. Fabricación bridas*  
*Fuente: Autores*



**Figura 15.** Impermeabilización tapa inferior

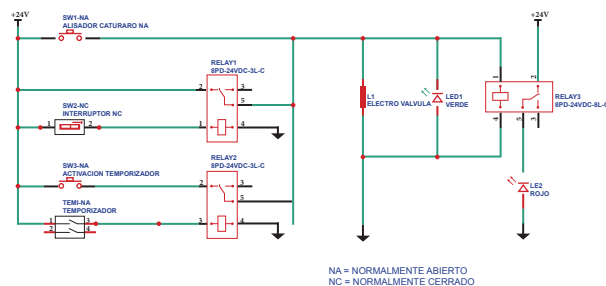
**Fuente:** Autores

Una vez fabricadas las piezas que conforman el elemento protector se procedió a ensamblar e impermeabilizar la tapa inferior y anillo de la brilla superior (Figura 74)

Para realizar la adhesión de la tapa inferior al tubo PVC se utilizó soldadura líquida SOLDAMAX de la marca PAVCO, igualmente para pegar el anillo de la brida inferior se utilizó una mezcla epóxica de la marca PEGADIC; para impermeabilizar y sellar estas piezas se contó con PEGADIT-SILICONA RTV (producto viscoso utilizado en la industria automotriz para realizar sello del Carter y culata con el bloque, resistente alta presión y temperatura).

### Diseño módulo de simulación y construcción

El diseño del módulo simulación se realizó con conocimientos propios de los autores, primero se diseñó el esquema electrónico con la ayuda de un simulador electrónico online de nombre “EasyEDA”, obteniendo el siguiente esquema:



**Figura 15.** Circuito electrónico del módulo de simulación

**Fuente:** Autores

Con la ayuda del circuito electrónico y los materiales (relé, banco baterías, temporizador, pulsadores, electroválvula 5/2) se construyó el módulo de simulación, así:

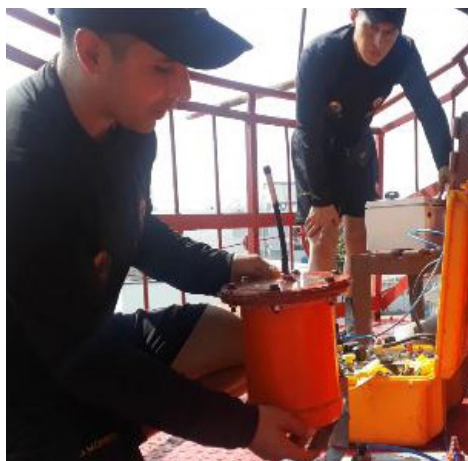


**Figura 16.** Circuito electrónico del módulo de simulación

*Fuente:* Autores

### Validación del sistema de emergencia alterno en el agua

La validación del sistema de emergencia de geolocalización se realizó en el tanque abierto a 10 metros de profundidad del Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional de Colombia, donde se ubicó en el elemento protector (con la boya EPIRB en su interior), el cilindro neumático con su base y las dos mangueras para alimentar la presión del cilindro desde superficie, como se aprecia en las siguientes figuras:



**Figura 17.** Sistema de activación elemento protector en superficie

*Fuente:* Autores



**Figura 18.** Colocación boya SEPIRB y sistema de liberación en el agua

*Fuente:* Autores

El resultado de la prueba en superficie y sumergido fue satisfactorio y avalado por el señor buzo maestro SJ (R) José Alfredo Medina Pérez, instructor de la Escuela de Buceo de la Armada Nacional. Cada sistema se comportó como se esperaba sin generar ningún inconveniente, permitiendo activar todo el sistema de emergencia alterno de geolocalización.

### **Conclusiones**

Una vez finalizada la investigación y efectuados las pruebas de validación, se concluye lo siguiente:

Se identificaron los recursos teóricos, técnicos y tecnológicos, que permitieron realizar la creación del dispositivo. Durante el diseño del prototipo se permitió identificar que la modificación del sistema de geolocalización fue la apropiada, los cálculos de resistencia para el material del sistema del elemento protector fueron los ideales para soportar la presión hidrostática trabajada, al igual que la flotabilidad positiva diseñada permitió que elemento protector alcanzará la superficie cuando el sistema es activado, la elección del sistema de liberación aplicado a nuestra necesidad fue la correcta, y por ultimo las simulaciones de las activaciones automáticas y manual del sistema de emergencia de geolocalización fueron muy precisas, lo cual permitió que la construcción del prototipo se llevase a cabo cumpliendo los objetivos propuestos.

Las pruebas realizadas individualmente a cada sistema que compone este prototipo fueron las esperadas, por lo cual se logró una correcta sinergia entre todos los sistemas en la prueba en el agua, concluyendo que el dispositivo propuesto es el que realmente se necesita para satisfacer la necesidad planteada, funcionando de manera óptima, eficiente y eficaz.

Se implementó un manual técnico de operación y mantenimiento del prototipo, con el propósito de orientar al usuario para el uso del dispositivo y el mantenimiento preventivo del mismo.

La flotabilidad positiva calculada para el elemento protector es la correcta para que éste ascienda a superficie a una velocidad moderada, una vez activado el sistema. Pero es necesario ubicar un contra peso en la parte inferior del elemento protector, para que el centro de gravedad se localice en la parte inferior del elemento protector, y de esta manera garantizar la estabilidad en superficie.

Técnica y tecnológicamente la implementación a bordo de los submarinos Tipo 209 de la Armada Nacional de Colombia es viable.

## Referencias

- Allmendinger, E. Eugene (1990) : *Submersible Vehicles Systems Design. Chapter 6: Structural Principles*. Ed. SNAME.
- ACR Electronics, Inc. (2006). Product Support Manual. Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB RLB-33, RLB-32), September 27, 9 p.
- Behar Rivero, Daniel S. (2008) Metodología de la Investigación: La investigación científica. Editorial: Shalom, 21 p.
- CNN en español (2017): *Estas son las 5 desapariciones más misteriosas en el mar que siguen sin esolverse*. En: CNN en español [en línea]. (21, noviembre, 2017). Disponible en internet: <http://cnnespanol.cnn.com/2017/11/21/desapariciones-submarinos-aviones-mar-misterios/#0>
- COSPAS-SARSAT. (2018) *Handbook on distress alert messages for rescue coordination centres (RCCS), search and rescue points of contact (SPOCS) and IMO ship security competent authorities, C/S G.007 Issue 2 – Revision 1*, February 2018. 1-2 p
- Galisteo Streeksoff, Héctor (2014). *Proceso de salvamento de un submarino hundido y posibles mejoras de rescate. Trabajo de Grado de Diplomatura en Maquinas Navales*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad Náutica de Barcelona. 121 p.
- Hernández Hernández, Mario (2014). Radiobalizas y radiogoniometría: identificación y localización. Trabajo de fin de Grado de Náutica y Transporte Marítimo. Laguna: Universidad de la Laguna, Escuela Superior de Náutica, Maquinas y Radioelectrónica Naval, 19 p
- Inmarsat: *Distress alerts*. En: INMARSAT [en línea]. (23, junio, 2017). Disponible en internet: <https://www.inmarsat.com/services/safety/distress-alerts/>
- Mott, Robert L. (2006) Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson educación, 124 p.
- Mott, Parada, Christian, Monroy, Fernando.(2010) *Diseño, Cálculo, Modelación y Construcción de un Prototipo De Boya De Comunicaciones Submarinas*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Naval Especialidad Mecánica. Cartagena: Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. Facultad de Ingeniería Naval.
- CatalogoSMC1(2011). *Sistemas neumáticos y oleohidráulicos. Consulta de catálogos*. (citado 15, junio 2018). Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/ejercicio-catalogo-SMC.pdf>. P 16.

## INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN LUMÍNICA SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE RESINAS DE POLIÉSTER ISOFTÁLICO REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO

### Influence of light radiation on the tensile strength of isophthalic polyester resins reinforced with fiberglass

Cajal Barros, Juan Vicente<sup>1</sup>

Yacub Bermúdez, Bashir<sup>2</sup>

Girón Palacio, Mitchel<sup>3</sup>

Recibido: 01/08/2019

Aceptado: 09/11/2019

#### Resumen

Los materiales compuestos ocupan un lugar especial entre los materiales utilizados para construir embarcaciones menores de uso naval, deportivo y de recreación, así como en aplicaciones industriales y en construcciones civiles. Muchos de los botes y yates son elaborados con estos materiales así como también vehículos empelados en competencias de automovilismo. Ligado al extenso uso de los materiales compuestos aparece su degradación debido al medio ambiente en que trabajan. La degradación de estos materiales está influenciada por diferentes factores entre los cuales vale la pena mencionar la humedad, los rayos solares, los medios acuosos bien sean de naturaleza salina o alcalina. El presente artículo aborda la influencia de la radiación lumínica (UV) sobre la resistencia a la tracción de un material compuesto unidireccional de resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio. Para ello se comparó la resistencia a la

tracción de probetas elaboradas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio sin ser sometidas a radiación lumínica (UV) con la resistencia a la tracción de probetas del mismo material que ha recibido radiación lumínica (UV) en una cámara de envejecimiento. Se observó que la resistencia a la tracción de las resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E disminuyó cuando fueron sometidas a radiación UV

**Palabras claves:** degradación, materiales compuestos, fotodegradación, resina de poliéster isoftálico, fibra de vidrio, radiación lumínica, resistencia a la tensión, norma ASTM D3039/3039 M, ensayos de tensión.

#### Abstract

Composite materials occupy a special place among the materials used to build smaller vessels for naval, sports and recreational use, as well as in industrial applications and civil constructions. Many of the boats and yachts are made

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico. Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo. Magister en Ingeniería Naval. [jvcajalb@gmail.com](mailto:jvcajalb@gmail.com), Docente Enap

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico. Especialista en Administración de Empresas. Magister en Educación. [bashiryacub@gmail.com](mailto:bashiryacub@gmail.com), Docente Enap

<sup>3</sup> Ingeniero Físico. Magister en Ingeniería. [mitchelgpa@gmail.com](mailto:mitchelgpa@gmail.com). Docente Enap

up of composite materials. Many motor racing competitions use vehicles built with composite materials. Linked to the extensive use of composite materials appears a deterioration due to the environment in which they work. The deterioration of composite materials is influenced by different factors, among these it is worth mentioning moisture, sunrays, aqueous media, saline or alkaline. This article addresses the influence of light radiation (UV) on the tensile strength of a unidirectional composite material of glass fiber reinforced with polyester resins. Therefore, the tensile strength of specimens made of isophthalic polyester resins reinforced with glass fiber without

undergoing light radiation (UV) was compared with the tensile strength of specimens of the same material that has received light radiation (UV) in an aging chamber. The tensile strength of isophthalic polyester resins reinforced with fiberglass type E decreases when subjected to UV radiation

**Research line:** Structures and Materials

**Keywords:** degradation, composites, photodegradation, isophthalic polyester resin, fiberglass, light radiation, tensile strength, ASTM D3039 / 3039 M, tensile tests.



## Introducción

Los materiales en general presentan variación en sus propiedades mecánicas de acuerdo a la dirección en que sea aplicada la carga. Si los materiales de Ingeniería presentan las mismas propiedades en todas las direcciones se denominan isotrópicos. Si los materiales presentan propiedades dependientes de la dirección considerada se clasifican como anisotrópicos. Los materiales compuestos son materiales anisotrópicos. (Beer, 2009)

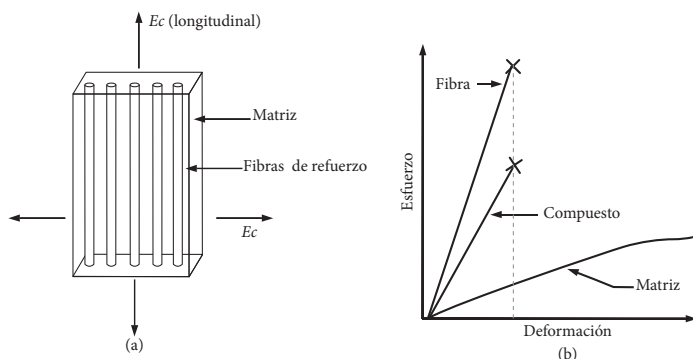
Los cascos de las embarcaciones fabricadas con materiales compuestos sufren degradación con el paso del tiempo, lo cual también ocurre en muchos otros artefactos construidos con dichos materiales. Una consecuencia de la degradación de los materiales compuestos de matriz polimérica debido a la radiación lumínica es su cambio de color y la modificación de sus propiedades mecánicas. Con base en estas observaciones se abordó el estudio sobre la forma en que se afecta la resistencia a la tensión de las resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio.

La importancia que tiene para la Ingeniería un material compuesto es que dos o más materiales diferentes se combinan para formar otro cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes individuales o tienen importancia en algún otro aspecto. (Sapuan, 2010).

En cuanto a la morfología del refuerzo utilizado, podemos diferenciar los refuerzos en forma de partículas y de fibras (cortas o continuas) y estructurales (Miravete, 2000). En el caso de las fibras podrán estar orientadas en una única dirección o conformando tejidos con diferentes disposiciones según la orientación de los mazos de fibras. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas, el uso de fibras continuas en la dirección del esfuerzo aplicado permite obtener una gran mejora; mientras que con fibras cortas y partículas, el incremento en resistencia es menos significativo (Suherman, 2007), obteniendo en cambio una gran anisotropía en el material.

Bajo diferentes condiciones ambientales los materiales compuestos pueden sufrir variaciones en su comportamiento lo cual se enmarca en la degradación causada por dichas condiciones. La degradación causada por el medio ambiente puede ser térmica, mecánica, fotooxidación o fotodegradación. En los materiales compuestos los rayos ultravioletas son la principal causa de fotodegradación. La radiación lumínica afecta a los materiales compuestos reforzados con fibras sintéticas (Miravete A. y., 2003) así como a los reforzados con fibras naturales (Ramirez, 2013). En muchos materiales compuestos de matriz polimérica se ha notado un deterioro a causa de su exposición al medio ambiente y se han observado cambios de color y de sus propiedades mecánicas (Altez, 2013); (Stark,2008); (Fuentes &-Talavera, 2015).

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio dependen de las propiedades de los materiales constituyentes (tipo, cantidad, distribución de fibra y orientación). Las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido son diferentes a las propiedades de la resina y del refuerzo utilizados en su fabricación. La resistencia a la tensión de un material compuesto unidireccional tiene un valor intermedio entre la fibra y la matriz (García de la Figal, 2011).



**Figura 1** Material compuesto unidireccional a) dirección de la fibra b) resistencia a la tracción de la matriz, de la fibra y del material compuesto

Fuente: García de la Figal (2011)

Una de las propiedades mecánicas que se toma en cuenta para la caracterización de los materiales compuestos es la resistencia a la tensión. La finalidad de este artículo es la comparación de la resistencia a la tensión de probetas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E sin degradación debido a radiación lumínica con la resistencia a la tracción de probetas del mismo material sometidas a radiación lumínica en una cámara de envejecimiento. De acuerdo con los resultados de los ensayos de tensión se obtuvieron conclusiones sobre la influencia de la radiación lumínica sobre la resistencia a la tensión de materiales compuestos de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E.

En muchas ocasiones es importante obtener un valor estimado para la resistencia a la tensión de un material que se someterá a ensayo de tensión. Para esto, se recurre a la regla de las mezclas (Askeland, 1998).

El objetivo del presente trabajo era de establecer la influencia de la radiación lumínica o radiación UV sobre la resistencia a la tensión de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E, para lograrlo se utilizaron probetas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E. Inicialmente se optó por establecer la proporción en peso de la resina isoftálica y de la fibra de vidrio utilizada como refuerzo. Como paso siguiente se procedió al diseño experimental de un solo factor. La mitad de las probetas fueron expuestas a radiación lumínica

en una cámara de envejecimiento acelerado por luz ultravioleta por 500 horas y a todas se les sometió a ensayos de tensión.

## Método

### Para alcanzar la finalidad de este trabajo ejecutaron las siguientes actividades:

(Determinación de los componentes del material compuesto)

El material compuesto utilizado está conformado por una matriz de resina de poliéster ortoftálica y un refuerzo unidireccional de fibra de vidrio tipo E. con una proporción en peso de 70% resina y 30 % de refuerzo. Se utiliza esta proporción por ser una de las más empleadas en materiales compuestos de este tipo

La resina de poliéster ortoftálica utilizada se denomina comercialmente Palatal 53-46 B y es producida por la empresa BASF Chile S.A. Dicha resina es un poliéster insaturado obtenido a partir de ácido ftálico y glicoles estándar. Se encuentra disuelto en estireno. Dicha resina es de reactividad media, viene preacelerada y contiene un agente tixotrópico.

Entre los valores típicos de las propiedades de la resina de poliéster ortoftálica empleada se tienen:

Densidad (20°C): 1.21 g/cm<sup>3</sup> (DIN 53 479)

Resistencia a la tensión: 70 MPa (DIN 53 455)

Módulo de elasticidad en tensión: 4.3 GPa (DIN 53 457)

La fibra de vidrio utilizada es del tipo E, que es un material inorgánico, dieléctrico y de muy buen comportamiento cuando es expuesta al fuego. En el caso del presente trabajo se utilizó fibra de vidrio unidireccional y fue colocada en esa dirección en la resina de poliéster ortoftálica utilizada. La composición de la fibra de vidrio tipo E es:

53 – 54 % de SiO<sub>2</sub>

14 – 15.5 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

20 – 24 % de CaO, MgO

6.5 – 9 % de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y,

escaso contenido en álcalis (Matthews, 1999)

Algunos valores típicos de las propiedades de la fibra de vidrio E empleada son:

Peso específico (25°C): 2.54 g/cm<sup>3</sup>

Resistencia a la tracción: 3450 MPa

Módulo de elasticidad en tracción: 72.4 GPa

Elongación hasta rotura: 4.8 %

Coefficiente de expansión térmica  $2.9 \times 10^{-6}$  /°C (Mallick, 1997)

### Diseño experimental de un factor y determinación del orden en que deben realizarse los ensayos.

Para analizar la influencia de la radiación lumínica en la resistencia a la tensión de un material compuesto fabricado con resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio tipo E se diseñó un experimento con un solo factor (Montgomery, 2006); (Gutiérrez, 2012). El factor considerado es la radiación UV, dicho factor tiene dos niveles: la mitad de las probetas no fueron sometidas a radiación lumínica mientras que la otra mitad de las probetas se expusieron a 500 horas de radiación lumínica en una cámara de envejecimiento acelerado. El experimento tuvo seis réplicas.

La variable de entrada es la radiación UV con sus dos niveles o tratamientos. Esta es una variable de tipo categórica. La variable de salida es la resistencia a la tensión de cada una de las probetas y su unidad de medición es en MPa. Para determinar el orden en que se realizó el ensayo de tracción fue utilizado el software Design Expert versión 7.0. Dicho orden aparece en la siguiente tabla.

**Tabla 1**  
*Orden de los ensayos de tensión*

PROBETA	CORRIDA	FACTOR 1 - RESINA	FACTOR 2 - RADIACIÓN	RESPUESTA - SU
9	1	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	
7	2	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	
6	3	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
2	4	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
12	5	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
3	6	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
5	7	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
4	8	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
10	9	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
1	10	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
11	11	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
9	12	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	

*Fuente: García de la Figal (2011)*

### Elaboración del material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Para la obtención del material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio se empleó el método de laminación manual de molde abierto en el cual se impregna la fibra de vidrio E con la resina de poliéster (Parrilla, 1998). La tabla de trabajo fue recubierta con desmoldante, luego se colocó la malla de fibra de vidrio E unidireccional. La malla de fibra de vidrio fue impregnada con brocha con la resina de poliéster isoftálica. Finalmente se pasó un rodillo de acero para distribuir mejor la resina, compactar el material y eliminar las burbujas de aire que pudiesen haber quedado. Se elaboró una lámina de 300 x 130 x 1 mm.

El tiempo de curado fue de 24 horas tras las cuales se procedió al desmoldeo para posteriormente cortar las seis probetas que se utilizaron en los ensayos de tensión.

### Elaboración de las probetas

De la lámina 300 x 130 x 1 mm se obtuvieron las probetas mediante corte con disco diamantado, de acuerdo con las dimensiones contempladas en la norma ASTM D3039/3039M

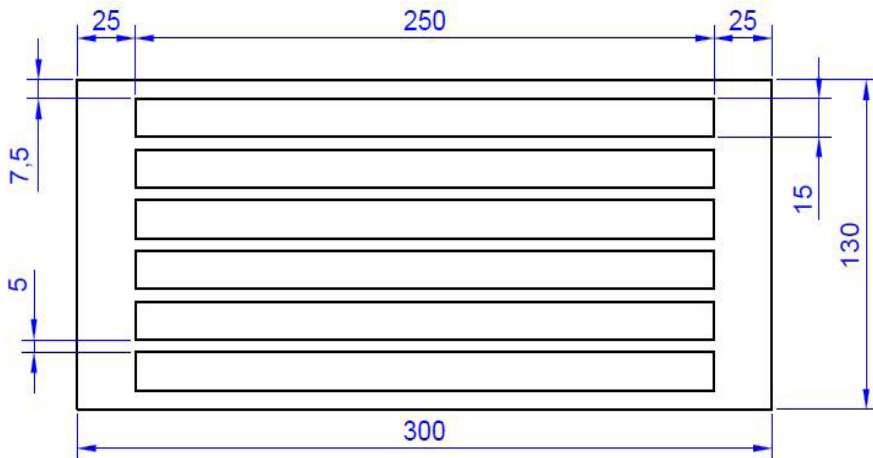


Lámina poliéster fv tesis correlación  
norma astm D3039/3030M  
Espesor 1mm

**Figura 2** Plano para laminación manual de probetas

De las seis probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E unidireccional se seleccionaron tres al azar para ser sometidas a 500 horas de radiación UV. El total de las probetas se sometieron a ensayo de tensión para determinar el valor de la resistencia a la tracción. La radiación con UV fue realizada en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales (CIDEMAT) de la Universidad de Antioquia en la ciudad de Medellín (Antioquia, Colombia). El ensayo se hizo en la cámara de envejecimiento acelerado Q-UV/SE # serial 09-3052-09-Se con lámparas UV-A de 340 nm siguiendo el método ASTM G 154.

En la Figura 3 se observan las seis probetas ensayadas: tres marcadas ORTO las cuales no fueron sometidas a radiación UV y tres marcadas ORTO R que recibieron 500 horas de radiación UV.

**Figura 3** Probetas con y sin radiación UV



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.** Estado final de las probetas luego del ensayo de tracción.



Fuente: Elaboración propia

### Realización y resultados de los ensayos de tensión.

Los ensayos de tensión fueron realizados en una máquina universal de ensayos marca Shimadzu, con una celda de carga de 50 kN, de acuerdo a lo que dice la norma ASTM D3039/3039M con una velocidad de aplicación de 2 mm/min. Dichos ensayos fueron efectuados en el Laboratorio de Polímeros de la Universidad de Antioquia, en la ciudad de Medellín, Colombia.

En el ensayo de tensión las probetas no se rompieron en dos pedazos como en las probetas de material metálico. Luego de alcanzado el esfuerzo último cada probeta seguía como una sola unidad. El estado final de las doce probetas al finalizar el ensayo de tracción se puede observar en la Figura 4. Las probetas presentan una falla de la forma de laminación de borde en la zona media calibrada tipo DGM, la cual está incluida en los modos de falla contemplados en la norma. (ASTM, 2008).

Los resultados obtenidos en los ensayos de tensión aparecen en la Tabla 2. Dichos resultados forman parte del informe de análisis de material compuesto (Ensayos de tensión) emitido por el Grupo de Materiales Poliméricos de la Universidad de Antioquia el 21 de diciembre de 2018.

### Realización de microscopía óptica a las probetas antes y después de los ensayos de tensión con su análisis respectivo.

Para la microscopía fue utilizado un microscopio SteREo Discovery V.12 marca ZEISS con zoom motorizado 12x.



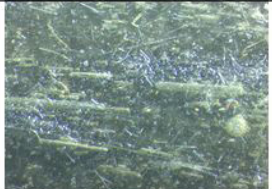





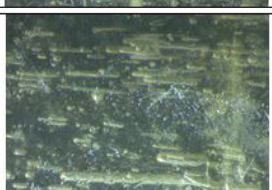
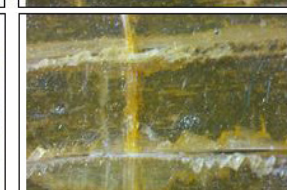
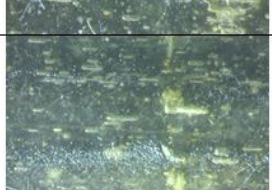
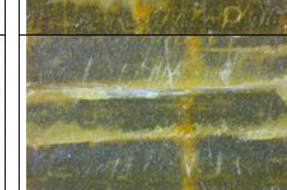
**Tabla 2** Fuerza y esfuerzo máximo a la tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E sin y con radiación UV

Probetas sin radiación UV	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
Orto - 1	5097.85	319.16
Orto - 2	5674.37	345.95
Orto - 3	5148.16	332.62
Promedio	<b>5306.79</b>	<b>332.58</b>
Probetas con radiación UV	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
Orto - R1	4413.57	266.48
Orto - R2	4646.89	289.96
Orto - R3	4813.25	305.63
Promedio	<b>4624.57</b>	<b>287.35</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 3.**  
*Microscopia antes y después del ensayo de tensión*

ORTO 1		
ORTO 2		
ORTO 3		
ORTO R1		
ORTO R2		
ORTO R3		

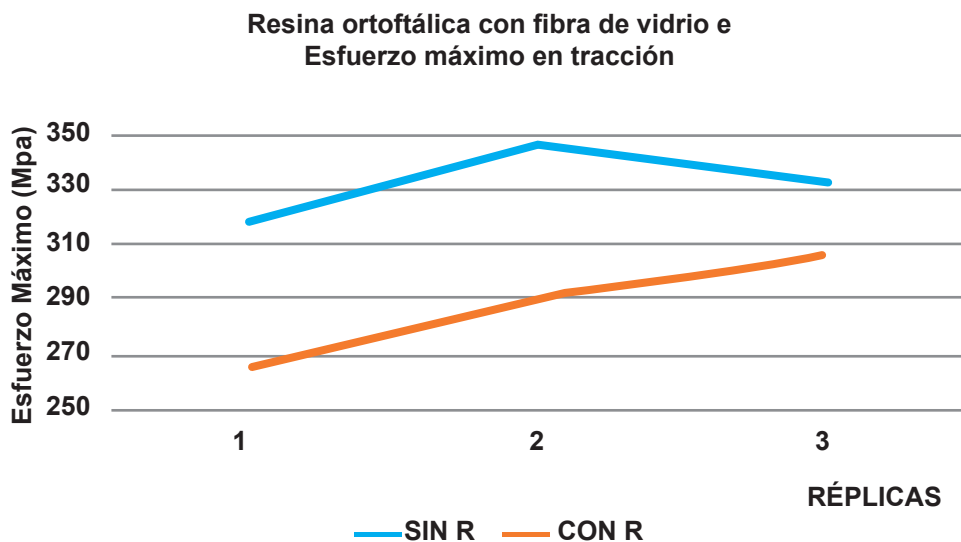
Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes de la primera columna de la tabla 3 se pueden observar que las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzadas con fibra de vidrio antes de ser sometidas a radiación y a ensayo de tensión presentan las fibras de vidrio bien definidas y en posición horizontal con forma recta. Las probetas sometidas a radiación con UV presentan un cambio de color. Ahora se han tornado de color amarillento, lo cual corrobora a nivel microscópico lo que se ve a nivel macroscópico con las probetas que fueron sometidas a radiación.

Después de ser sometidas a la radiación UV las probetas toman un color amarillento lo cual es una consecuencia de la radiación lumínica. Las resinas de poliéster al ser sometidas a la acción de la luz sufren reacciones fotolíticas. (San Andrés, 2010); (Marston, 2005); (Azwa, 2013).

### Análisis de resultados del ensayo de tensión

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento del esfuerzo máximo presentado por las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio antes y después de haber sido sometidas a radiación lumínica. Aquí se puede notar que el esfuerzo máximo disminuye cuando la probeta es sometida a 500 horas de radiación UV.



*Figura 5. Esfuerzo máximo obtenido por las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E con y sin radiación UV*

*Fuente: Elaboración propia*

Analizando los resultados del ensayo de tensión, que aparecen en la tabla 2, el esfuerzo máximo de tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio que fueron sometidas a radiación lumínica disminuye frente a los valores obtenidos en las probetas de igual composición que no se les expuso a radiación lumínica. El valor promedio del esfuerzo máximo de tensión para las primeras fue de 287.35 MPa mientras que el de las segundas fue de 332.58 MPa. La disminución del esfuerzo máximo de tracción de las probetas sometidas a radiación UV fue del 15.74%. Estos resultados son semejantes a lo expresado por (Shokrieh, 2007) en el artículo: *Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites* y lo anotado por (Mousakis, 2008) en el artículo *Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs)*.

El análisis de varianza (ANOVA) para los datos obtenidos se realizó con el software Excel para experimentos de un factor. El ANOVA para el esfuerzo máximo de tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio con radiación lumínica y sin radiación lumínica se muestra en la figura siguiente:

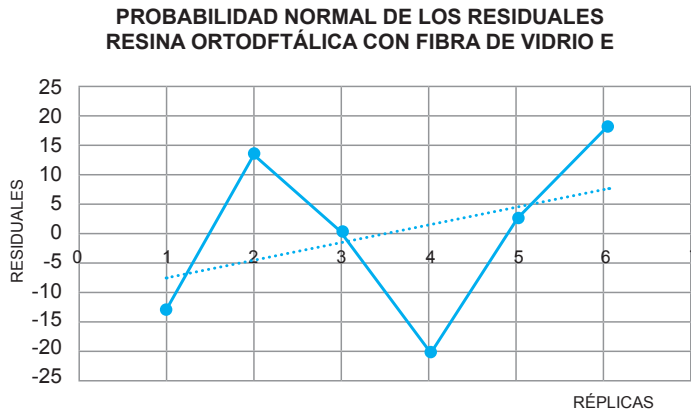
Análisis de varianza de un factor para resistencia a la tracción de resina ortoftálica reforzada con FV E						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	997,73	332,5766667	179,427433		
Columna 2	3	862,07	287,3566667	388,263633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3067,2726	1	3067,2726	10,8061331	0,030293111	7,708647422
Dentro de los grupos	1135,382133	4	283,8455333			
Total	4202,654733	5				

**Figura 6.** ANOVA para resistencia a la tracción de las probetas de resina de poliéster ortoftálica con y sin radiación UV

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al resultado del ANOVA, la hipótesis nula se rechazó por cuanto la probabilidad es menor del 0.05. Esto indica que existe un cambio significativo de la resistencia a la tracción cuando el material compuesto es sometido a radiación lumínica.

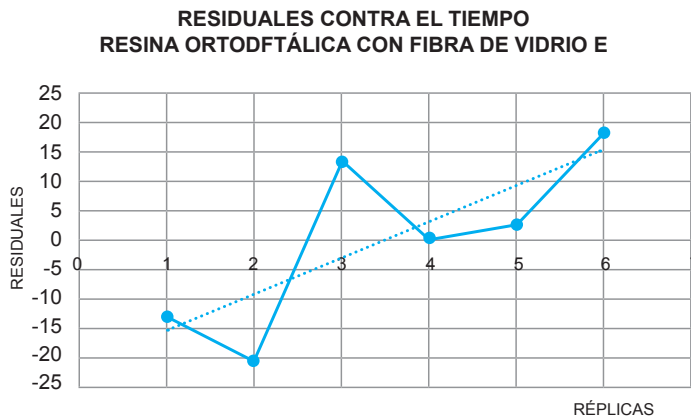
Una de las principales herramientas que se emplean para verificar lo adecuado de las suposiciones del modelo lineal son los residuales (Kuehl, 2001). Para verificar el supuesto de normalidad se recurre a las gráficas de probabilidad normal de los residuales y a la de los residuales en el orden temporal de la recolección de los datos.



**Figura 7** Residuales del esfuerzo máximo de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7, que presenta la gráfica de los residuales del esfuerzo máximo de las probetas de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, se puede observar que no existe una tendencia definida en la gráfica hacia ninguno de los dos extremos o sea que no existe una desviación marcada de la distribución normal. Lo mismo puede afirmarse de la Figura 8 que muestra la gráfica de los residuales contra el tiempo.



**Figura 8** Residuales contra el tiempo del esfuerzo máximo de la resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

Los materiales compuestos tienen amplia aplicación en la industria debido a sus propiedades deseables, como son alta resistencia, bajo peso, resistencia a la corrosión y a la degradación, entre otros. Sin embargo, se pudo determinar que el material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E disminuye su resistencia a la tensión (tracción) debido al efecto de la radiación UV; por otra parte, la investigación arroja que dicho material compuesto sufre degradación del color, apareciendo un amarillamiento luego de ser sometidas a 500 horas de radiación UV en la cámara de envejecimiento acelerado.

Se recomienda se estudie la optimización de los porcentajes del contenido y demás parámetros que se combinan en la fabricación para obtener materiales compuestos con propiedades mejoradas y emplearlos de manera más eficientes en las distintas aplicaciones industriales.

## Referencias

- Altez, A. G. (2013). *Intemperismo acelerado en compuestos bambú-plástico*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Bogotá, Colombia: International Thomson Editores. doi:968-7529-36-9
- ASTM. (2008). D 3039/D 3039M - 08. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
- Azwa, Z. Y. (2013). *A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres*. *Materials and Design* 47, págs. 424-442. doi:10.1016/j.matdes.2012.11.025
- Beer, F. J. (2009). *Mecánica de materiales*. México: McGraw-Hill.
- Fuentes-Talavera, F., Silva-Guzmán, J., Quintana-Uscamayta, F., Turrado-Saucedo, J., Cárdenas, A., & Rodríguez-Anda, R. y.-O. (2015). *Comportamiento al intemperismo natural de compositos polipropileno-madera*. *Revista mexicana de ciencias forestales*.
- García de la Figal, J. (2011). *Diseño de materiales compuestos*. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría.
- Gutiérrez, H. y. (2012). *Análisis y Diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. México: Thomson Learning.

- Mallick, P. (1997). *Composites engineering handbook*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Marston, N. (2005). *Effects of UV Radiation on Building Materials*. Obtenido de [www.niwa.co.nz](http://www.niwa.co.nz)
- Matthews, F. R. (1999). *Composite materials: Engineering and science*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Miravete, A. y. (2003). *Materiales compuestos*. Barcelona: Reverte. doi:ISBN 84-9213-497-6
- Montgomery, D. C. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
- Mousakis, D. Z. (2008). *Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs)*. Composites Part B: Engineering Volumen 39 Issue 3, 467- 475.
- Otero, E. (2012). *Corrosión y degradación de materiales*. Madrid: Sintesis, S.A.
- Parrilla, F. (1998). *Resinas poliéster, plásticos reforzados*. México: Felipe Parrilla Corzas.
- Ramirez, M. A. (2013). [www.uptc.edu.co](http://www.uptc.edu.co).
- San Andrés, M. C. (21 de 10 de 2010). [ccfib.mcu.es](http://ccfib.mcu.es/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf). Obtenido de [ccfib.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf](http://ccfib.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf)
- Sapuan, S. M. (2010). *Composite Materials Technology. Neural Network Applications*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Shokrieh, M. M. (2007). *Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/ Polyester Composites*. Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 41, No. 20/2007 (pág. 2443 a 2455). Los Angeles: Sage Publications.
- Stark, N. y. (2008). *Outdoor durability of wood-polymer composites*. Boca Raton, Florida, USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Suárez Landeo, E. (2016). *Efecto del intemperismo acelerado en las propiedades físico-mecánicas de compuestos plástico-bambú*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2645> .
- Suherman, H. M. (2007). *Comparative Studies of Tensile Strength on Polyester Resin Matrix Composites with Planar and Randoms Orientation Fibers. The 10th International Conference on Mechanical Behavior of Material, (pág. 6)*. Busan, Korea.





*Laboratorios Escuela Naval*

---



## ENSAYOS AERODINÁMICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS OPERACIONES EN LA CUBIERTA DE VUELO

### Aerodynamic tests for the optimization of operations on the flight deck

José Maria Riolo Rodríguez<sup>1</sup>  
Miguel Angel Garnica<sup>2</sup>

Recibido: 03/07/2019  
Aceptado: 12/10/2019

#### Resumen

La operación de vuelo sobre la cubierta de un buque de guerra con aviones, helicópteros o RPAS es una de las actividades más cruciales a las que se enfrentan estos buques, debido a las diferentes complicaciones hasta extremos críticos cuando hay que enfrentar a fuertes estado de la mar. De este modo, al hablar de fragatas y buques anfibios, por norma general, sus cubiertas de vuelo se sitúan en la zona de popa, por lo que el flujo aerodinámico al que se enfrentan sus operaciones en esta parte se encuentra definido por una estela que es producida con las perturbaciones de la obra muerta del buque. Dadas las superestructuras actuales de estos buques, sus estelas se caracterizan por ser altamente turbulentas y por la aparición de intensos torbellinos que dependen de la geometría del buque desde la proa hasta dicha cubierta. En esta perspectiva, en este trabajo se presentan resultados parciales y conclusiones de una campaña de ensayos en túnel aerodinámico sobre un modelo a escala de una fragata, para conseguir la caracterización del flujo en el entorno de su cubierta de vuelo. Se han realizado ensayos

de visualización del flujo con técnicas de penacho de lana y humo, anemometría de hilo caliente y anemometría laser por imágenes de partículas. Todos los ensayos se han realizado en instalaciones de la Universidad Politécnica de Madrid

**Palabras claves:** túnel de viento, ensayos, cubierta de vuelo, aerodinámica, anemometría, optimización estructural.

#### Abstract

Flight operations on the deck of a warship with airplanes, helicopters or RPAS are one of the most crucial activities these ships face, which is complicated to critical extremes when the weather confronts us with strong weather conditions. sea. When we talk about frigates and amphibious ships, as a general rule, their flight decks are located on a deck in the stern area, so the aerodynamic flow that their operations in this area face is defined by a wake that is produced with the disturbances of the dead work of the ship. Given the current superstructures of these ships, their wakes are characterized by being highly turbulent

<sup>1</sup> Armada España, Ingeniero Naval. [investigacionnaval@escuelanaval.edu.co](mailto:investigacionnaval@escuelanaval.edu.co)

<sup>2</sup> Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. Ingeniero electrónico.

and by the appearance of intense eddies that depend on the geometry of the ship from the bow to said deck. In this work, partial results and conclusions of an aerodynamic tunnel test campaign on a scale model of a frigate are presented, to achieve the characterization of the flow in the environment of its flight deck. Flow visualization tests have been performed using wool and smoke plume techniques, hot

wire anemometry and laser particle imaging anemometry. All the tests have been carried out in facilities of the Polytechnic University of Madrid

**Keywords:** wind tunnel, tests, flight deck, aerodynamics, anemometry, structural optimization.

## Introducción

El diseño de una cubierta de vuelo para una Fragata es un proyecto completo en sí mismo, como ya se expuso en Ogueta y Riola, (2018) en el que intervienen tecnologías de estructuras y materiales, y que además necesita de simulaciones y ensayos con modelos a escala en un túnel de viento para poder asegurar las operaciones con aviones, helicópteros y los cada vez más habituales RPAS (Sistema Aéreo Pilotado Remotamente). Los aterrizajes y despegues que ocurren en la cubierta de vuelo de un buque pueden ser muy restrictivos según los requisitos operacionales, obligando a la aeronave a despegar o tomar en condiciones muy distintas a las ideales, y en contra de lo habitual estos aterrizajes o despegues pueden incluso requerir mayor par y potencia al contar con menos efecto suelo. Aunque se están desarrollando sistemas predictivos de aproximación (Riola y Girón, 2013) cada vez más autónomos a nivel prototipo, todavía los que predicen los momentos óptimos de toma no están comercializados.

Además, cuando estos buques se encuentran navegando en la mar, están sometidos a la acción del oleaje, debido al cual se provocarán movimientos alrededor de su metacentro. Y a la vez, se ven sometidos al flujo aerodinámico debido a su desplazamiento y al viento de la capa límite atmosférica presente sobre la mar, con lo que la obra muerta en proa inducirá sendos torbellinos laterales y la superestructura dará lugar a la capa límite del barco, situada encima del hangar, la cual se encuentra con un escalón descendente que lleva a la cubierta de vuelo, por lo que el “air wake” o flujo de aire sobre la cubierta de vuelo se suele caracterizar por su recirculación y turbulencia.

Esta necesidad de diseño sigue manteniendo nuestra atención cuando nos encontramos con accidentes como el del helicóptero MH-60S Knighthawk, que participaba en la Operación “Enduring Freedom”, en la cubierta de vuelo del USS William P. Lawrence, el 22 de septiembre de 2013, tras recibir una “rogue wave” justo después de que el helicóptero hubiera aterrizado en la cubierta de vuelo. La combinación entre la ola, velocidad del barco y caída del rumbo colocaron al buque en “quartering seas” causándole una gran escora que permitió que las olas alcanzasen su cubierta y deslizará al helicóptero fuera de la cubierta.



*Figura 1. Helicóptero MH-60S Knighthawk (Fuente: US Navy)*

Otro ejemplo es el accidente del helicóptero U.S. Army H-60 que sufrió un duro golpe contra la cubierta de vuelo del Military Sealift Command (MSC), US Red Cloud (T-AKR-313), dejando 7 heridos durante el ejercicio llevado a cabo el 12 de agosto de 2015 a unas 20 millas al este de Okinawa, Japón.

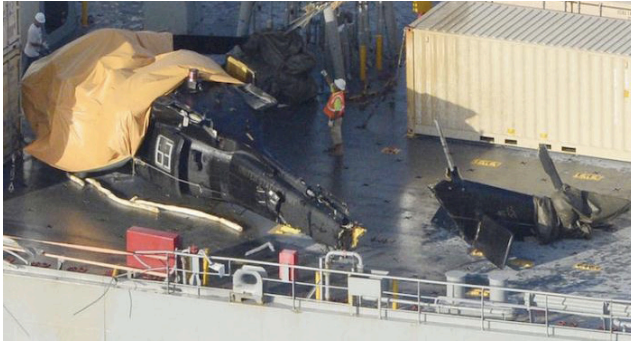


Figura 2. Restos del MH-60S sobre el US Red Cloud (Fuente: US Navy)

Estos casos muestran la necesidad de continuar con los estudios y optimizaciones, basados en túneles de viento, para cada tipo específico de construcción, y que nos permitan avanzar en la seguridad de los diseños de las cubiertas de vuelo para facilitar lo más posible la tomas y despegues sobre ellas. Particularmente, los sistemas de lanzamiento y despegue de los RPAS requieren poder responder a configuraciones completamente distintas sobre la cubierta, con grandes diferencias en los equipos a instalar o desplegar: peso, tamaño y ubicación, variando los requisitos de espacio y localización que se deben reservar en el buque para realizar estas operaciones. En el siguiente esquema se indican algunos de estos elementos principales y su ubicación.

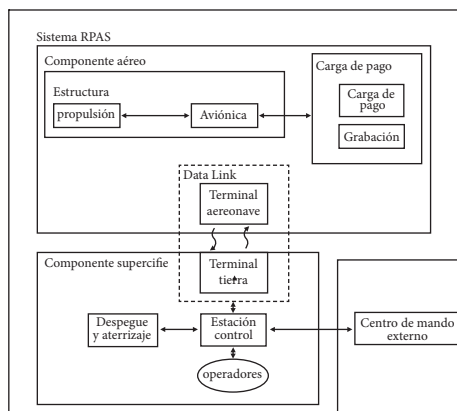


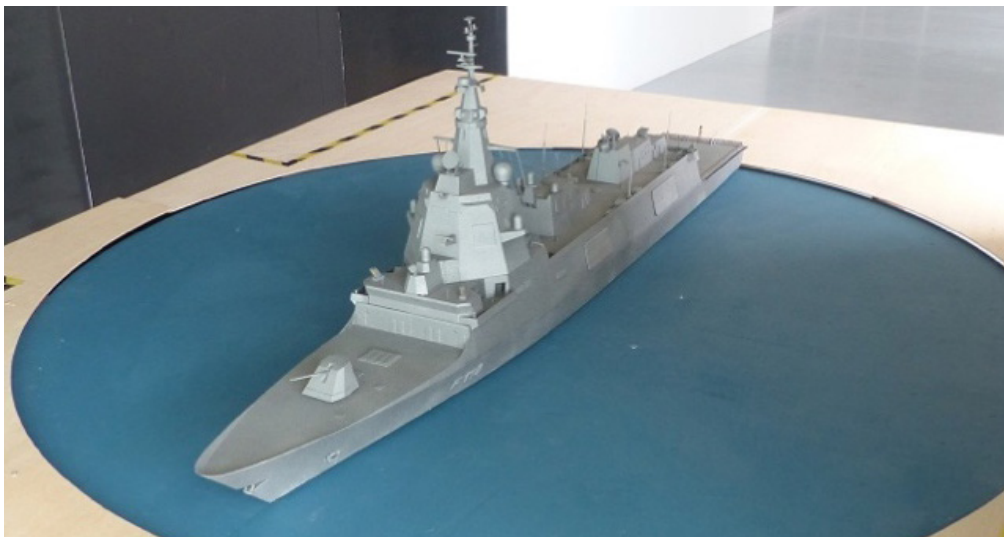
Figura 3. Componentes principales del RPAS (Fuente: STANAG 4586)

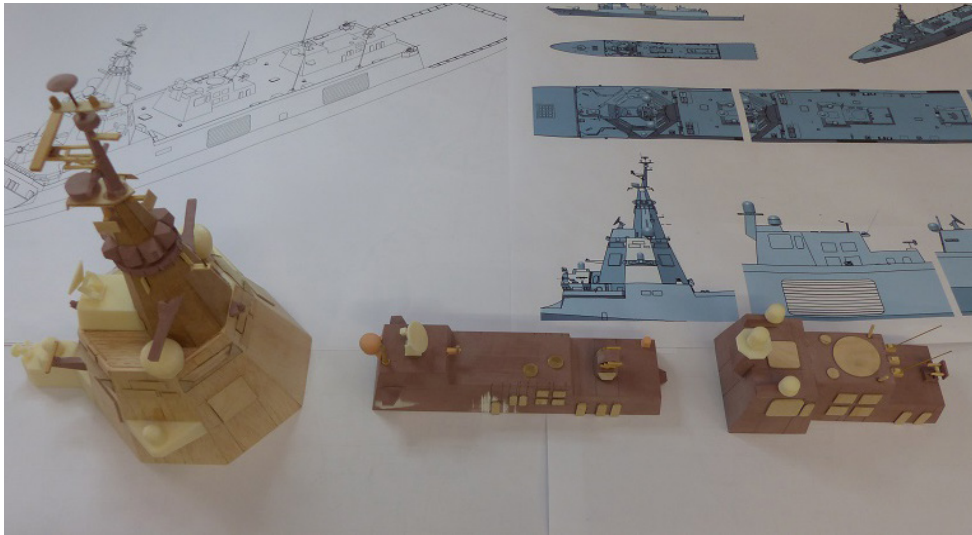
## El Modelo De Fragata

El modelo usado en los ensayos se ha fabricado a una escala de 1:80 y ha requerido la existencia de tres tipos de semejanza (geométrica, cinemática y dinámica) entre el flujo alrededor del modelo y del prototipo, conforme a las reglas que del análisis dimensional y la semejanza en mecánica de fluidos. La semejanza geométrica implica que en el modelo de ensayo debe reproducir a escala los detalles aerodinámicamente relevantes. Todas las dimensiones lineales del modelo están relacionadas con las del buque por un factor de escala  $\lambda$ , conocido como escala de longitudes.

La semejanza cinemática requiere que en los flujos a comparar y las líneas de corriente sean semejantes, lo que requiere que se cumpla una relación entre las escalas de longitudes y tiempos  $\lambda T = T_m/T_p$ , donde “m” y “p” indican modelo y prototipo. La semejanza dinámica exige que la distribución de fuerzas en los dos flujos, real y a escala, sea tal que en puntos homólogos las fuerzas sean paralelas y la relación entre sus módulos debe ser la misma para las fuerzas presentes. Esto ocurre cuando modelo y prototipo tienen las mismas escalas de longitudes, de tiempos y de fuerzas, y para ello es necesario que los números de Reynolds de modelo y prototipo sean iguales,  $Re_m = Re_p$ .

En el modelo se han empleado diferentes tipos de materiales, plástico para la impresión 3D, resina isotrópica para el fresado por control numérico y diversos tipos de madera para la carpintería.





**Figura 4.** Piezas del modelo y resultado final (Fuente: UPM)

El modelo se ha colocado sobre dos células de carga que permiten conocer con detalle las fuerzas y los momentos que sufre el buque en sus tres ejes. Simultáneamente se ha medido la presión dinámica, mediante un tubo de pitot y una cápsula de presión diferencial para calcular los coeficientes aerodinámicos. De acuerdo con la nomenclatura empleada por López y Riola (2019) [2], tales coeficientes se calculan de la siguiente forma:

$$c_X = \frac{f_x}{q_\infty A_f} \quad (1)$$

$$c_Y = \frac{f_y}{q_\infty A_s} \quad (2)$$

$$c_K = \frac{m_x}{q_\infty A_s (A_s/L)} \quad (3)$$

$$c_N = \frac{m_z}{q_\infty A_s L} \quad (4)$$

Donde  $f_i$  es la fuerza en cada uno de los ejes  $i=x,y$ ;  $m_i$  es el momento en cada uno de los ejes  $i=x,z$ ;  $q_\infty$  es la presión dinámica;  $A_f$  es la proyección del área frontal;  $A_s$  es la proyección del área lateral;  $L$  es la eslora, y  $c_X$ ,  $c_Y$ ,  $c_K$  y  $c_N$  son los coeficientes de fuerza longitudinal, transversal y de momentos longitudinal y vertical, respectivamente. El eje  $x$  va en dirección popa-proa, apuntando hacia esta, el eje  $y$  va en dirección babor-estribor, apuntando a este último y el eje  $z$  apunta hacia abajo, formando un triedro a derechas [3].

En estos ensayos se ha variado el ángulo de guiñada,  $\beta$  respecto al viento a lo largo de los  $360^\circ$ , con pasos de  $5^\circ$ . El caso de  $\beta=0^\circ$  corresponde al viento incidiendo por proa,  $\beta=90^\circ$  corresponde al costado de babor,  $\beta=180^\circ$  corresponde al viento incidiendo por popa y  $\beta=270^\circ$  corresponde al costado de estribor.

Para realizar la visualización del flujo, se han empleado penachos de lana adheridos a la zona del helipuerto que permiten visualizar si la corriente presenta torbellinos, zonas de desprendimiento, flujo adherido, etc. También se ha empleado la técnica de visualización por humo mediante el calentamiento de glicol.

## Resultados

La figura siguiente presenta los resultados de los coeficientes de fuerzas y coeficientes de momentos en función del ángulo de guiñada. Como es de esperar, las cargas transversales ( $c_Y$ ,  $c_K$ ) aumentan considerablemente cuando el viento sopla de babor o de estribor, donde se alcanzan los valores máximos. Estos valores están adimensionalizados respecto al eje de abscisas que representa los distintos ángulos de entrada del viento de  $0^\circ$  a  $360^\circ$

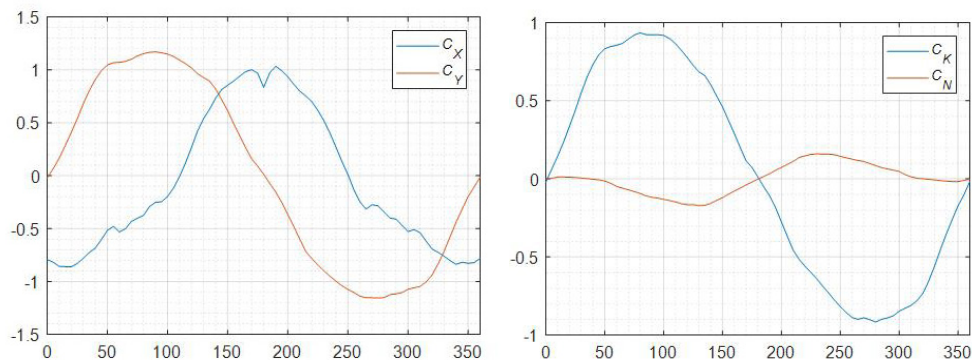


Figura 5. Coeficientes de fuerza frente al ángulo de guiñada (Fuente: UPM)



En la siguiente foto, se puede ver como las lanas más cercanas a la popa se mantienen adheridas, mientras que las más cercanas al castillo tienen un comportamiento más variable. Por lo tanto es de esperar que en esa zona haya un flujo desprendido o una burbuja de recirculación, que hay que caracterizar correctamente para ver la influencia que puede tener sobre un helicóptero en una maniobra de aterrizaje.

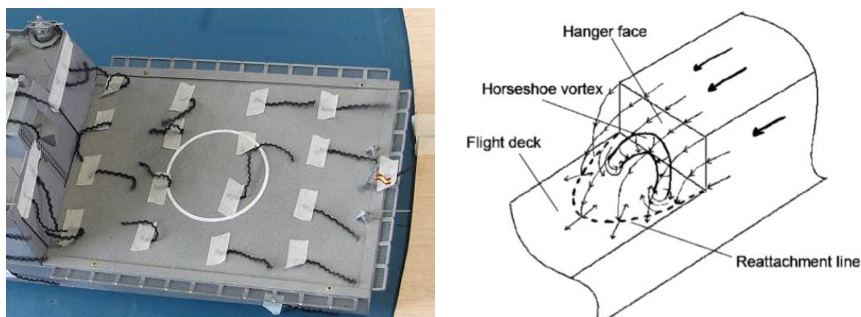


Figura 6. Penachos de lana y dibujo de vórtice de herradura (Fuente: UPM)

Debido a la caída brusca del final de los hangares de los helicópteros, existe una gran zona de recirculación detrás del escalón, y además, el flujo llega desde los lados del buque dando lugar a dos torbellinos contrarrotantes sobre cada lado de la región de recirculación, lo que da como resultado una estructura no estacionaria de vórtice en herradura que puede ser altamente peligroso y al que hay que saber atacar a base de diseño para lograr su desaparición o al menos su disminución a límites tolerables.

La forma de la burbuja de recirculación se puede ver también en la figura siguiente en la que se aprecia que la capa de cortadura que se desprende del castillo se readhiere, aproximadamente, en la mitad de la cubierta de vuelo. Las flechas muestran, aproximadamente el comportamiento del flujo. La flecha roja indica la zona de recirculación y creación de torbellinos, mientras la flecha azul indica la parte del flujo que continúa la cubierta.



Figura 7. Visualización del flujo mediante humo (Fuente: UPM)



Para la medición del flujo se usó la técnica de velocimetría por imágenes de partículas, conocida como PIV (Particle Image Velocimetry) se basa en la medida de la velocidad de las partículas trazadoras transportadas por el flujo. Los PIV constan de una o varias fuentes de iluminación láser. El plano de flujo a investigar se ilumina mediante una lámina de luz formada a partir de un láser pulsado y la óptica apropiada. Esta técnica mide el desplazamiento de las imágenes de partículas, las cuales se encuentran en el plano imagen o detector y la incógnita es el desplazamiento del flujo o plano objeto. Ambos planos se relacionan geoméricamente mediante un parámetro que constituye el aumento o magnificación del sistema óptico de registro. Este tipo de ensayo es complementario al anterior, debido a que es más visual y centrado en el estudio de los vórtices, y al captar las partículas de aceite añadido al flujo obtiene los valores exactos en los puntos específicos de estudio. Ambos datos se cargan en el simulador para la representación final del flujo aerodinámico sobre la cubierta.

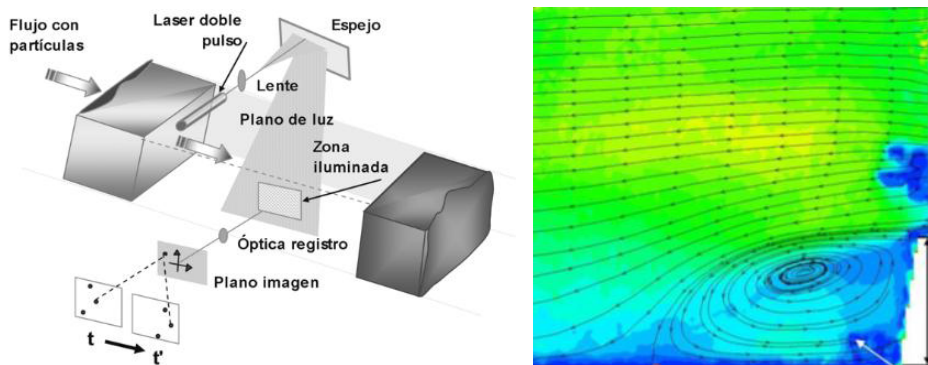


Figura 8. Resultados obtenidos con PIV (Fuente: UPM)

## Conclusiones

Se ha podido comprobar que las importantes cargas aerodinámicas que aparecen sobre la cubierta de vuelo de la Fragata, son muy importantes en las fases de diseño del buque, y ayudan a un dimensionamiento estructural correcto. Además, se ha visto que el comportamiento aerodinámico es complejo en la zona de la cubierta de vuelo, por lo que los detalles finales específicos se han realizado en base a los ensayos de visualización y de caracterización del flujo mediante anemometría de hilo caliente PIV. Gracias a los resultados obtenidos se han propuesto cambios en la obra muerta para optimizar el air wake en la cubierta de vuelo. Estos cambios están relacionados principalmente con el ángulo de la chapa que se levanta sobre la cubierta/techo del hangar y con la porosidad de ésta, y con los ángulos que forman las estructuras laterales del hangar y del espacio multimisión.

## Referencias

- Ogueta-Gutierrez, M., Riola, J.M., et al. (2018). *Caracterización del flujo aerodinámico sobre la cubierta de vuelo de una fragata*. VI Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, Valladolid.
- López, E., Riola, J.M., Gómez, O., Manzanares, R., Ogueta, M., Meseguer, F., Franchini, S. (2019). 8th *European Conference for Aeronautics and Space Sciences, EUCASS'19*, Madrid.
- Aage, C. et al. (1997). *Wind loads on ships and offshore structures estimated by CFD*. In: Proceedings of the 8th International Conference on the Behaviour of Offshore Structures, BOSS'97.
- Riola, J.M., Girón, J.M. y Díaz, J.J. (2013). *Smoothing warships movements based on wavelets*. Ship Science and Technology. 6 (12), 51-62. Cotecmar

# LOTIFICACIÓN EN SISTEMAS MULTINIVEL POR MEDIO DE LA RELAJACIÓN LAGRANGEANA CON PARÁMETROS OPTIMIZADOS MEDIANTE SUPERFICIE DE RESPUESTA

## Lotification in multilevel systems through lagrangean relaxation with optimized parameters through response surface

Álvaro Roca Molina<sup>1</sup>  
Javier Barón Villamizar<sup>2</sup>  
Orlando Zapateiro<sup>3</sup>  
Jairo R. Coronado Hernández<sup>4</sup>  
Cedrid Gómez Torregrosa<sup>5</sup>

Recibido: 10 /4/2019

Aceptado: 3/10/2019

### Resumen

propósito de este artículo es presentar un algoritmo para obtener una cota inferior para el problema de lotificación en sistemas multinivel. Los parámetros de la relajación lagrangeana se optimizan mediante el uso de superficie de respuesta. Los resultados obtenidos comprueban que el algoritmo de relajación lagrangeana propuesto alcanza soluciones cercanas al óptimo en menor tiempo en comparación al modelo original resuelto bajo programación entera mixta.

**Palabras clave:** Relajación Lagrangeana, GAMS, Sistemas multinivel, Gozinto, MRP, Stroke

### Abstract

The purpose of this article is to present an algorithm to obtain a lower bound for the problem of multilevel systems. The parameters of Lagrangean relaxation are optimized by the use of response surface. The results obtained prove that the proposed Lagrangian relaxation algorithm achieves near optimal solutions in less time compared to the original model solved under mixed integer programming.

**Keywords:** Lagrangeana Relaxation, GAMS, Multilevel Systems, Gozinto, MRP, Stroke

<sup>1</sup>Magíster en Ingeniería de Producción. Sociedad Portuaria el Cayao S.A. E.S.P. Perú. Alvaro03\_1204@hotmail.com.

<sup>2</sup>Magíster en gestión logística, Capitán de Corbeta. Decano Administración marítima ENAP. Javier.baron@armada.mil.

<sup>3</sup>Magíster en Educación. Catedrático Universidad de ciencias Ambientales y Aplicadas UDCA. Fundación Tecnológico de Bolívar. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". ozapateiro@hotmail.com.

<sup>4</sup>Doctor en Ingeniería y Producción Industrial. Decano Departamento Gestión Industrial, agroindustrial y Operaciones Corporación Universitaria de la Costa. Jcoronad18@cuc.edu.co.

<sup>5</sup>Economista. Maestrante en educación. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". cedridgo-mez@gmail.com

## Introducción

El problema de lotificación capacitado en sistemas multinivel en entornos de coproducción y listas de materiales alternativas es de tipo CLSP el cual es un asunto con complejidad NP-HARD (Florian, Lenstra & Kan 1980 ). Debido a lo complejo, no tiene solución en tiempo polinómico. En este trabajo, se presenta dos casos en los que se aplica un algoritmo para obtener una cota inferior para el problema de lotificación en sistemas multinivel en entornos de coproducción y listas de materiales alternativas basado en Relajación Lagrangeana con parámetros optimizados mediante superficie de respuesta.

En la última década la relajación lagrangeana ha evolucionado de un gran concepto teórico a una herramienta exitosa para una extensa variedad de aplicaciones, (Hasan, 2013)). Sin embargo, la literatura confirma que no hay trabajos en los cuales se utiliza la Relajación Lagrangeana para el Problema de lotificación capacitado en sistemas multinivel (MLCLSP, Multilevel Capacited Lot Sizing Problem en idioma inglés) con listas de materiales alternativas y en ambientes de coproducción. Por tanto, se considera aún como un campo de investigación abierto.

Con el objetivo de obtener una solución cercana al óptimo, los ajustes de los multiplicadores de Lagrange son necesarios para manejar la técnica con gran destreza (Dekrajangpetch, et al, 1999); la elección de los valores de los multiplicadores de Lagrange es de importancia fundamental en términos de la calidad de la cota inferior generada (se prefiere muchas cotas inferiores que están cerca de la solución óptima). Posterior a la implementación, el algoritmo es validado en dos casos de estudios arrojando excelentes resultados que comprueba la eficiencia computacional del algoritmo. Finalmente, se afinan los parámetros del modelo utilizando una superficie de respuesta.

## Revisión de literatura

La determinación de los tamaños de lote es un problema clásico del MRP (Materials Requirements Planning) puesto que se busca determinar, en periodos discretos de tiempo, las unidades a producir y a provisionar para inventario de manera que se pueda satisfacer la demanda (Orlicky, 1975). Harris (1913) propone un sistema de lotificación para inventarios con demanda independiente, el conocido “Economic order quantity” (EOQ). A partir de este trabajo, muchos autores comienzan a proponer diferentes modelos derivados para resolver el problema de lotificación. En la literatura, existen diferentes modelos de lotificación de un nivel, por ejemplo: CLSP, Capacitated Lot-Sizing Problem (Drexel & Kimms, 1997); PLSP, Proportional Lot-Sizing and Scheduling Problem (Drexel & Haase, 1995); GLSP, General Lot-Sizing and Scheduling Problem (Fleischmann & Meyr, 1997), y productos únicos y con múltiples productos.

En paralelo a los trabajos desarrollados para determinar el tamaño de lote en sistemas de un solo nivel, Billington, McClain, y Thomas, (1983) introducen el modelo para resolver el MLCLSP, el cual es una extensión de varios niveles del CLSP. Garcia-Sabater, Maheut, y Marin-

García, (2013) proponen el modelo GMOP (Generic Materials and Operations Planning), que es una reformulación del MLCLSP considerando listas de materiales y operaciones alternativas y coproducción.

Se puede decir entonces que las primeras aproximaciones de la Relajación Lagrangeana ocurren en (Billington, 1986) por lo cual se propone una heurística basada en programación entera con Relajación Lagrangeana. Posteriormente, Ahuja, Magnanti y Orlin (1993) mencionan su aplicación en modelos de optimización. Hasta este punto, la Relajación Lagrangeana era utilizada como herramienta para programación matemática. LeBlanc, Shtub y Anandalingam (1999) aplicaron métodos combinados de metaheurísticas junto a Relajación Lagrangeana para resolver el problema MRGAP (Multi resource generalized assignment problem) obteniendo buenos resultados para ciertas condiciones en comparación con modelos individuales de meta-heurísticas GA, algoritmo genético y SA, Recocido Simulado. Lo anterior indica que es buen complemento a otras herramientas para resolver problemas de programación.

Nuevos avances fueron presentados por Barbarosoglu & Özgür (1999) y Ertogral & Wu (2000) quienes desarrollaron procedimientos de relajación Lagrangeana para coordinar la planificación a través de los dominios individuales. El dominio de planificación indica el ámbito de planificación que corresponde a una única organización dentro de la cadena de suministro. Asimismo, se aplicaron técnicas de Relajación Lagrangeana y un procedimiento de resolución heurístico al modelo integrado propuesto por (Jayaraman & Pirkul, 2001).

Por otra parte, los modelos relativos al diseño y la planificación de la producción propuestos por Jang, Jang, Chang y Park (2002) se resuelven mediante técnicas de Relajación Lagrangeana y algoritmos genéticos. Contrario al uso que se le brindaba a la Relajación Lagrangeana de herramienta soporte de otra, Sambasivan & Yahya (2005) y luego Toledo & Armentano (2006) desarrollaron una heurística basada en Relajación Lagrangeana de la restricción de capacidad y sub-gradiente de optimización. Estos autores buscaban resolver el problema de lotificación capacitada con multiperíodo, multiítem, multiplanta con transferencia entre plantas y el problema con múltiples ítems en máquinas en paralelo no relacionadas con tiempo de alistamiento independiente de la secuencia respectivamente. Brahimi, Dauzere-Peres y Wolsey (2010) propuso una heurística basada en Relajación Lagrangeana para resolver el problema CLSP con ventanas de tiempo de producción en tiempo de preparación independiente de la secuencia. Haugen, Lanquepin-Chesnais y Olstad (2012) proponen una heurística basada en Relajación Lagrangeana para CLSP de gran tamaño con restricción en costes de producción.

Luego, Nezhad, Manzour y Salhi (2013) demuestran con su trabajo la capacidad de solución de problemas de la Relajación Lagrangeana para los sistemas de producción. Wu, Zhang, Liang y Leung (2013) evalúan modelos y métodos basados en Relajación Lagrangeana para el MLCLSP con faltantes/atrasos conocido como MLCLSPB. Carvalho y Nascimento (2016) presentan el desarrollo de la heurística lagrangeana para el problema de lotificación capacitada multi-planta (MPCLSP) con múltiples períodos e ítems.

## Planteamiento del Problema

El modelo matemático que se resuelve es el planteado por García-Sabater et al (2013) denominado “Generic Materials and Operations Planning Problem” (GMOP). El modelo GMOP representa en gran medida a la familia de modelos matemáticos que se utilizan para la lotificación multinivel pero considerando listas de materiales alternativas y coproducción. En este caso particular, el enfoque se asemeja a los modelos matemáticos para la planificación de requerimientos de materiales de la industria. Matemáticamente, este modelo matemático hace parte de la familia de problemas de tipo CLSP, por tanto, se considera también como un problema de complejidad computacional de tipo NP-Hard. En la Tabla 1 se muestra la notación, las variables y parámetros que lo constituyen. El modelo se presenta de las ecuaciones (1) a la (6).

### Notación, variables y parámetros del modelo

**Tabla 1**

Notación del modelo GMOP

<b>Conjuntos</b>	
$i$	Conjunto de productos(incluye productos, empaquetado y sitio)
$t$	Conjunto de periodos de planificación
$r$	Conjunto de recursos
$k$	Conjunto de Strokes
<b>Parámetros</b>	
$D_{i,t}$	Demanda del producto $i$ para el periodo $t$
$h_{i,t}$	Coste de almacenamiento de una unidad de producto $i$ en el periodo $t$
$CO_{k,t}$	Coste de stroke $k$ en el periodo $t$
$CS_{k,t}$	Coste de setup del stroke $k$ en el periodo $t$
$CB_{i,t}$	Coste de compra del producto $i$ en el periodo $t$
$SO_{i,k}$	Número de unidades $i$ que genera un stroke $k$
$SI_{i,k}$	Número de unidades $i$ que stroke $k$ consume
$LT_k$	Lead Time de stroke $k$
$KAP_{r,t}$	Disponibilidad de capacidad de recurso $r$ en el periodo $t$ (en unidades de tiempo)
$M$	Un número suficientemente grande
$TO_{k,r}$	Capacidad del recurso $r$ requerido para elaborar una unidad de stroke $k$ (en unidades de tiempo)
$TS_{k,r}$	Capacidad requerida de recurso $r$ para setup of stroke $k$ (en unidades de tiempo)
<b>Variables</b>	
$Z_{k,t}$	Cantidad de strokes $k$ que se ejecutan en el periodo $t$
$\delta_{k,t}$	= 1 si stroke $k$ se realiza en el periodo $t$ (0 en caso contrario)
$W_{i,t}$	Cantidad de compra por producto $i$ en el periodo $t$
$X_{i,t}$	Nivel de inventario disponible de producto $i$ al final del periodo $t$

### Función Objetivo

El objetivo (1) busca la minimización de los costes de setup de los strokes, de los costes unitarios de stroke  $k$  y de los costes de almacenamiento.

$$Z: \min \sum_t \sum_i (h_{i,t} \cdot x_{i,t}) + \sum_t \sum_k (CS_{k,t} \cdot \delta_{k,t} + CO_{k,t} \cdot z_{k,t}) + \sum_t \sum_i (CB_{i,t} \cdot w_{i,t}) \quad (1)$$

### Restricciones del modelo

La ecuación (2) representa la continuidad de los niveles de inventario de los productos  $i$ . El nivel de inventario al final de un periodo considera el nivel de inventario al final del periodo anterior, las recepciones planificadas (debido a strokes en proceso), la demanda del producto y el consumo y la producción de SKUs debido a la ejecución de strokes.

$$x_{i,t} = x_{i,t-1} - D_{i,t} + w_{i,t} - \sum (SI_{i,k} \cdot z_{i,k}) + \sum (SO_{i,k} \cdot z_{i,k-LT_k}), \forall i \wedge t, \quad (2)$$

Con la restricción (3), si se produce un stroke en el periodo  $t$ , se asigna un valor no nulo a la variable que representa la existencia de setup.

$$z_{i,t} - M \cdot \delta_{k,t} \leq 0, \forall k \wedge t, \quad (3)$$

La restricción (4) representa la limitación de la capacidad productiva en cada periodo para cada recurso.

$$\sum_k (TS_{k,r} \cdot \delta_{k,t}) + \sum (TO_{k,r} \cdot z_{k,r}) \leq KAP_{r,t} \forall r \wedge t. \quad (4)$$

Las ecuaciones (5) y (6) definen el dominio de definición de las variables

$$x_{i,t} \geq 0; w_{i,t} \geq 0 \quad \forall i \wedge t \quad (5)$$

$$z_{k,t} \in \mathbb{Z}^+; \delta_{k,t} \in \{0,1\} \quad \forall k \wedge t \quad (6)$$

Como se puede apreciar en el modelo GMOP, planificar usando el concepto stroke resulta muy diferente a la planificación tradicional que se basa en la matriz Gozinto y la lista de recursos ya que lo que se planifica es el stroke (la operación, la tarea o la actividad). En otros términos, el stroke es la variable de decisión mientras que los materiales se generan y/o consumen en función de la ejecución de los strokes, por tanto, no se planifica la producción del material sino las operaciones que se llevan a cabo para obtenerlos.

### Método

La metodología que se utilizó para la resolución del problema fue la relación lagrangeana aplicando el método del subgradiente, luego se realizan experimentos y, por último, utilizando superficie de respuesta se optimizarán los parámetros de la misma.



### Relajación lagrangeana

La Relajación Lagrangeana es un método de relajación que aproxima un problema de optimización restringido a uno más simple de resolver. La solución obtenida es una buena cota a la respuesta del modelo original en menor tiempo. Se utilizará como base la Relajación Lagrangeana planteada en (Rius-Sorolla, Maheut, Coronado-Hernandez, & Garcia-Sabater, 2018).

Para la aplicación de la Relajación Lagrangeana, el primer paso es relajar la restricción y asociarla al multiplicador de lagrange correspondiente al precio sombra de la restricción. El precio sombra corresponde a los valores de las variables en el óptimo del problema dual de un problema de programación lineal. Es decir, es el valor por unidad extra del recurso, ya que el costo del recurso no está incluido en el cálculo de los coeficientes de la función objetivo.

Ahora bien, con base en los modelos de Relajación Lagrangeana de los problemas clásicos CLSP y MLCP, la mayoría de los autores consideran la restricción de capacidad como la restricción más complicada (Thizy & Van Wassenhove, 1983). Como la formulación matemática del caso de estudio es similar al CLSP la restricción de capacidad también representa mayor complejidad para el problema. Por lo tanto, esta restricción sale del conjunto de restricciones y se incluye en la función objetivo del modelo relajado asociado con el conjunto de multiplicadores que penalizan su violación. Se toma la ecuación 4 del modelo GMOP, que representa la restricción de capacidad y se relaja obteniendo la siguiente ecuación (7) la cual hará parte de la función objetivo:

$$x_{i,t} = \left( \sum_k (TS_{k,r} \cdot \delta_{k,t}) + \sum_k (TO_{k,r} \cdot z_{k,r}) - KAP \right) = 0 \tag{7}$$

Ya determinada la restricción relajada se procede entonces a formular el modelo matemático adaptado a la Relajación Lagrangeana

La ecuación 7 se le agrega la ecuación 1 quedando,

$$\begin{aligned} Z : \min & \sum_t \sum_i (h_{i,t} \cdot x_{i,t}) \\ & + \sum_t \sum_k (CS_{k,t} \cdot \delta_{k,t} + CO_{k,t} \cdot z_{k,t}) \\ & + \sum_t \sum_i (CB_{i,t} \cdot w_{i,t}) + \lambda_{r,t} \left[ \sum_k (TS_{k,r} \cdot \delta_{k,t}) + \left[ \sum_k (TS_{k,r} \cdot z_{k,r}) - KAP \right] \right] \end{aligned} \tag{8}$$

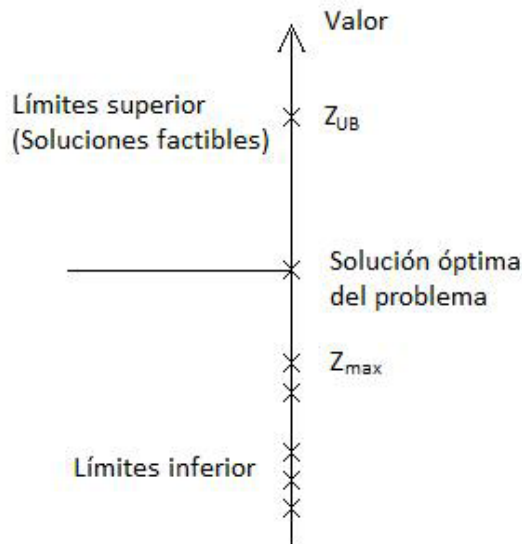
La ecuación (8) representa la función objetivo relajada. Las demás ecuaciones (2, 3, 5 y 6) se mantienen como restricciones al igual que en el modelo original.

El problema ahora radica en cómo encontrar de manera adecuada los valores de los multiplicadores de Lagrange,  $\lambda, t$ , que minimicen el coste de la función objetivo y que arroje una buena cota del problema. En la literatura, los trabajos consultados en esta área utilizan el método del sub-gradiente de optimización expuesto a continuación.

### Método Del Sub Gradiente De Optimización

Se utiliza el método del sub-gradiente planteado por Held et al (1974) para hallar  $\lambda$ , que de acuerdo a Fisher (1981) presenta mejor desempeño.

Un algoritmo sub-gradiente se propuso por primera vez para mejorar el límite inferior. Esta solución técnica tiene como objetivo disminuir la brecha dual iterativamente mediante la actualización de los multiplicadores de Lagrange ( $\lambda$ ) a lo largo de la dirección sub-gradiente de la función objetivo en el modelo, Figura 1.



*Figura 1* Desempeño de la iteración del gradiente, (Beasley, 1993)

Dentro del algoritmo se encuentra un parámetro fundamental para el desempeño del mismo, que se conoce como parámetro theta ( $\theta$ ), y es un escalar en el intervalo  $[0, 2]$ , que se utiliza para ajustar el tamaño de paso del proceso y garantiza que no aparezca costo negativo en la función objetivo (Yang & Zhou, 2014). Desafortunadamente, no existe literatura que indique el valor exacto para theta (Maneechai, 2016). Como lo que se busca es regular la tasa de convergencia a través de theta, Held et al. (Held et al., 1974) sugieren actualizar el parámetro

theta dividiéndolo por un factor eta. Estos dos parámetros entonces se convierten en parámetros ajustables del modelo, los cuales se deben determinar a través del diseño de experimento. En la literatura, en particular para la aplicación de la Relajación Lagrangeana en CLSP, se ha encontrado trabajos en los cuales tales valores están entre 0.75 y 1.75 para theta y 1.5 a 3 para eta (Carvalho & Nascimento, 2016). Debido a que la formulación matemática de un CLSP es la base de un MLCLSP, también se consideran estos valores de los parámetros para el caso de estudio.

Los valores iniciales de los multiplicadores de Lagrange son muy críticos a la solución del modelo relajado ya que pueden prevenir si se alcanza la solución óptima o se requiere un tiempo de cálculo más largo para alcanzar una. También, diferentes valores iniciales pueden dar lugar a diferentes soluciones del modelo con Relajación Lagrangeana (Dekrajangpetch, Sheble, & Conejo, 1999); en otras palabras, se nota aquí que es de interés la búsqueda de los valores de los multiplicadores que dan la máxima cota inferior, es decir, el límite inferior que es lo más cercano posible al valor de la solución óptima entero.

La implementación del método se desarrolla en los siguientes pasos:

1. Estimación inicial de los multiplicadores de lagrange: se resuelve el modelo relajando las variables enteras a continuas (RMIP: problemas enteros donde se ha relajado (eliminado) la condición de integridad que existan sobre las variables, al hacer esto toma menos tiempo de cálculo y menos requisitos de memoria), e igualar el vector de multiplicadores a los valores duales de la restricción,  $\lambda = \text{solve}(\text{RMIP:CostoDelPlan,CAPr,t})$ ;

$$\text{CostoDelPlan} = \sum_{i,t} ((CH_i \times y_{i,t}) + (CA_i \times w_{i,t})) + \sum_{k,t} ((Co_k \times z_{k,t}) + (CSU_k \times \text{delta}_{k,t})) \quad (13)$$

$$\lambda_{r,t} = \sum_{i,t} (RE_{k,r} \times z_{k,t}) + (TS_{k,r} \times \text{delta}_{k,t}) < CAP_{r,t} \quad (14)$$

2.Determinación del límite superior del modelo relajado: Cota  $\rightarrow$  FO (valor de la Función Objetivo) = FO +  $\lambda^*(\text{Recursos},t - \text{CAPr,t})$ ;

3.Resolver el modelo relajado de manera entera, y actualizar FO con la función objetivo resultante: FO = Solve(MIP:Cota);

$$\text{Cota} = \left( \sum_{i,t} ((CH_i \times y_{i,t}) + (CA_i \times w_{i,t})) + \sum_{k,t} ((Co_k \times z_{k,t}) + (CSU_k \times \text{delta}_{k,t})) + \sum_{r,t} \lambda_{r,t} \times \left( \sum_{i,t} (RE_{k,r} \times z_{k,t}) + (TS_{k,r} \times \text{delta}_{k,t}) < CAP_{r,t} \right) \right) \quad (15)$$

4. Si la cota obtenida es mayor al mejor límite, entonces actualizar mejor límite: Si  $FO > BestBound$ , entonces  $BestBound = FO$ ;

if (cota.l > bestbound,  
bestbound = cota.l;

5. Sino es  $FO > BB$  actualizar theta y calcular cambio paso:  $\theta = \theta/\eta$ ;  $StepSize = (\theta * (UpperBound - FO)) / NORM$ ;  $NORM = (Recursos - CAP)^2$ ; UB solución trivial obtenida en el paso 1. else

$$0 = 0/\eta;$$

$$upperbound = \sum ((CH_i \times inity_{i,t}) + (CA_i \times initw_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times initz_{k,t}) + (CSU_k \times inidelta_{k,t})) \quad (16)$$

$$stepsiz = \theta \times \left( \sum ((CH_i \times inity_{i,t}) + (CA_i \times initw_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times initz_{k,t}) + (CSU_k \times inidelta_{k,t})) - \sum_{k,t} ((CH_i \times y.l_{i,t}) + (CA_i \times w.l_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times z.l_{k,t}) + (CSU_k \times delta.l_{k,t})) + \sum_{r,t} \lambda_{r,t} \times \left( \sum_k (RE_k \times z.l_{k,t}) + (TS_{k,r} \times delta.l_{k,t}) - CAP_{r,t} \right) \right) / \left( \sum_{r,t} \left( \sum_k (RE_{k,r} \times z.l_{k,t}) + (TS_{k,r} \times delta.l_{k,t}) - CAP_{r,t} \right)^z \right) \quad (17)$$

6. Actualizar multiplicadores de lagrange:  $\lambda = \max(0, \lambda + StepSize * Recursos_{r,t} - CAP_{r,t})$ ; Converge si  $(\lambda_{anterior} - \lambda_{actual})$  es igual a 0,0001.

$$\lambda_{r,t} = \max \left( 0, \lambda_{r,t} + \left( \theta \times \left( \sum_{i,t} ((CH_i \times inity_{i,t}) + (CA_i \times initw_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times initz_{k,t}) + (CSU_k \times inidelta_{k,t})) - \left( \sum_{k,t} ((CH_k \times y.l_{i,t}) + (CA_i \times w.l_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times z.l_{k,t}) + (CSU_k \times delta.l_{k,t})) \right) + \sum_{r,t} \lambda_{r,t} \times \left( \sum_k (RE_k \times z.l_{k,t}) + (TS_{k,r} \times delta.l_{k,t}) - CAP_{r,t} \right) \right) / \left( \sum_{r,t} \left( \sum_k (RE_{k,r} \times z.l_{k,t}) + (TS_{k,r} \times delta.l_{k,t}) - CAP_{r,t} \right)^z \right) \right) \times \left( \sum_k (RE_{k,r} \times z.l_{k,t}) + (TS_{k,r} \times delta.l_{k,t}) - CAP_{r,t} \right) \right) \quad (18)$$

7. Calcular nuevo valor objetivo.

$$vobj = \sum_{k,t} ((CH_k \times y.l_{i,t}) + (CA_i \times w.l_{i,t})) + \sum_{k,t} ((CO_k \times z.l_{k,t}) + (CSU_k \times delta.l_{k,t})) \quad (19)$$

8. Si no hay convergencia ( $\lambda_{anterior} - \lambda_{actual} > 0,0001$ ) entonces volver a 4. De lo contrario FIN, Costo del plan = vobj.

### Experimentos Computacionales

Por medio de experimentos computacionales, se realizará validación del algoritmo propuesto basado en Relajación Lagrangeana aplicado a dos casos problema. Los experimentos son realizados sobre un PC Intel® Core™ i5-4200U CPU @ 1,60GHz y 6 GB RAM, resueltos en CPLEX 12.6.0. La implementación consiste en dos pasos: (1) implementación del procedimiento de solución del modelo GMOP e (2) implementación del algoritmo de Relajación Lagrangeana. La experimentación es dividida en cuatro pasos: (1) diseño experimental, (2) ejecución de experimentos, (3) optimización de parámetros y (4) análisis de resultados. Con la finalidad de medir los resultados del algoritmo creado, cada caso de prueba ha sido resuelto mediante el método exacto. Para la solución del método exacto se ajusta un tiempo límite de ejecución de 12.000 segundos.

### Diseño Experimental

Los factores que se consideraron para el diseño experimental y cada uno de sus niveles se muestran en la Tabla 2. Estos factores se consideraron influye sobre el desempeño del algoritmo de Relajación Lagrangeana

- Theta: Parámetro del algoritmo de subgradiente de optimización. Se utiliza para ajustar el tamaño de paso del proceso y garantiza que no aparezca costo negativo en la función objetivo. La selección de los niveles se basa en sección 4.1.

- Eta: Parámetro de ajuste de Theta tras cada iteración. La selección de los niveles se basa en sección 4.1.

- Tiempo de ejecución: Este factor hace referencia al tiempo límite que toma cada iteración para resolver el algoritmo. Al igual que los parámetros de algoritmo del subgradiente, theta y eta y como ya se expresó, influye directamente en el tiempo total de respuesta y en el valor de la cota debido a que al ajustar este tiempo de ejecución se puede obtener una respuesta con mayor o menor GAP. Se busca que el máximo tiempo probable de ejecución del algoritmo sea menor al ajustado para el modelo original.

**Tabla 2**  
Factores del diseño de experimento

Factores	Número de niveles	Detalles por nivel Caso 1	Detalles por nivel Caso 2
Theta	3	0,75	0,75
		1,25	1,25
		1,75	1,75
Eta	3	1,5	1,5
		2,25	2,25
		3	3
Tiempo de ejecución (segundos)	3	2	20
		2,5	60
		3	100

### Variables de respuesta

A continuación, se enumeran las variables de respuesta como resultado de las experiencias computacionales. Estas variables de respuesta han sido seleccionadas porque representan los objetivos de este trabajo: mejor respuesta y mejor tiempo.

- Valor Objetivo (%Error): Representa la respuesta del algoritmo, es decir una cota inferior al problema de lotificación multinivel con listas de materiales alternativas y coproducción muy cercana al óptimo.

- Tiempo computacional: Es el tiempo requerido por el algoritmo para obtener la respuesta deseada, cota inferior. Esta variable hace al algoritmo llamativo por el hecho de obtener una respuesta en mucho menor tiempo que el que tomaría resolviendo el problema de lotificación multinivel con listas de materiales alternativas y coproducción por Branch & Bound.

### Resultados Computacionales

El algoritmo de Relajación Lagrangeana ha sido implementado en dos casos problemas: El primer caso, corresponde a la aplicación registrada como anexo en la publicación de García- Sabater et al (2013). Por último, se realizará un experimento con problemas muy grandes (más de 280.000 variables) utilizando demanda simulada considerando estacionalidad y tendencia.

## Descripción de caso 1

El problema consiste en planear la producción de dos plantas de producción en la cual se producen tres productos para dos tipos de clientes. La empresa tiene 41 SKU (entre productos finales, componentes y materias primas) y 44 Strokes (entre producción, empaque, transporte, etc.). La planeación se lleva a cabo para un horizonte de 44 unidades de tiempo. Al aplicar algoritmo se obtuvieron los resultados de la Tabla 3

**Tabla 3**  
Resultados caso 1

Solver CPLEX 12.6	#Iterations	Theta initial	Eta initial	Reslim (s)	Objective Value BI	Computation Time (s)	Converged iterations	GAP (%)
Generic OM	-	-	-	Default	14.026,00	4,29	-	0
	100	1,25	2,25	2,5	14.026,00	4,90	1	0,00
	100	0,75	1,5	2,5	14.026,00	4,91	1	0,00
	100	0,75	1,5	3	14.026,00	4,75	1	0,00
	100	1,25	1,5	2	14.026,00	4,95	1	0,00
	100	1,75	3	2	14.026,00	4,79	1	0,00
	100	1,75	2,25	3	14.026,00	4,51	1	0,00
	100	1,75	1,5	2	14.026,00	4,93	1	0,00
	100	1,75	3	3	14.026,00	4,31	1	0,00
	100	1,75	2,25	2	14.026,00	4,68	1	0,00
	100	0,75	3	2	14.026,00	4,80	1	0,00
	100	1,75	2,25	2,5	14.026,00	4,69	1	0,00
	100	1,25	2,25	3	14.026,00	4,77	1	0,00
	100	1,25	2,25	2	14.026,00	4,54	1	0,00
Generic LR	100	0,75	3	3	14.026,00	4,84	1	0,00
	100	0,75	1,5	2	14.026,00	4,93	1	0,00
	100	1,25	3	2	14.026,00	4,71	1	0,00
	100	1,25	1,5	2,5	14.026,00	4,76	1	0,00
	100	1,25	3	2,5	14.026,00	4,72	1	0,00
	100	0,75	3	2,5	14.026,00	4,92	1	0,00
	100	1,25	1,5	3	14.026,00	4,93	1	0,00
	100	1,75	3	2,5	14.026,00	4,48	1	0,00
	100	1,75	1,5	2,5	14.026,00	4,56	1	0,00
	100	0,75	2,25	2	14.026,00	4,97	1	0,00
	100	1,75	1,5	3	14.026,00	4,63	1	0,00
	100	0,75	2,25	2,5	14.026,00	4,86	1	0,00
	100	0,75	2,25	3	14.026,00	4,78	1	0,00
	100	1,25	3	3	14.026,00	4,72	1	0,00

En la tabla 3, se puede observar que, al desarrollar los experimentos para el primer caso de estudio, no se nota necesidad de optimizar los parámetros debido a que su tiempo de resolución es corto y no presentaría alguna ventaja computacional la Relajación Lagrangeana, sin embargo, comprueban el óptimo funcionamiento del algoritmo adaptado al problema.

## Descripción del caso 2

Para el caso 2 se desarrollan experimentos con diferentes listas de materiales y demanda simuladas en presencia de tendencia y estacionalidad, validadas por Coronado (2015). Se cuenta con información referente a los costos de almacenamiento, setup, stroke (producción, compra, transporte), factor gozinto, inventario inicial, recursos, horizonte de tiempo, tiempos de alistamiento y operación, capacidades de los recursos, número de productos y demanda. Se ejecuta el experimento con las instancias anunciadas a continuación, donde P1-5 hace referencia a distintas listas de materiales:

- Caso 2A: P1-P2-P3-P4-P5-01-10-ST-00
- Caso 2B: P1-P2-P3-P4-P5-01-10-ST-10
- Caso 2C: P1-P2-P3-P4-P5-01-10-ST-20

**Tabla 4**  
Resultados del caso 2

Caso 2A : P1-P2-P3-P4-P5-01-10-ST-00										
Solver CPLEX 12.6	#Iterations	Theta initial	Eta initial	Reslim (s)	Objective Value BI	Computation Time (s)	Converged iterations	GAP (%)		
Generic OM	-	-	-	Default	21.067.986,01	12.211,44	-	0,69		
	100	0,75	2,25	100	21.136.626,64	1.168,15	11	1,01		
	100	1,25	3	100	21.071.998,90	546,39	6	0,71		
	100	0,75	2,25	60	21.108.490,13	209,58	5	0,88		
	100	0,75	2,25	20	21.165.202,55	133,33	7	1,15		
	100	0,75	1,5	20	21.080.978,47	199,73	10	0,75		
	100	1,25	1,5	60	21.011.229,99	1.601,80	24	0,42		
	100	1,75	1,5	60	21.121.700,04	185,89	4	0,94		
	100	1,75	2,25	60	21.078.768,50	388,72	7	0,74		
	100	1,75	2,25	20	21.106.132,79	130,03	7	0,87		
	100	1,75	1,5	20	21.114.183,72	238,99	12	0,91		
	100	1,25	2,25	60	21.092.707,61	223,08	4	0,81		
	100	1,75	2,25	100	21.136.855,71	960,27	10	1,01		
	100	1,25	1,5	100	21.103.645,06	1.167,70	12	0,86		
	Generic LR	100	1,75	3	20	21.014.655,39	124,90	5	0,44	
		100	1,25	1,5	20	21.097.586,29	247,11	13	0,83	
		100	0,75	1,5	60	21.171.505,84	1.018,93	17	1,18	
		100	1,75	3	100	21.261.736,98	1.171,09	12	1,59	
100		1,25	3	20	21.185.198,08	107,93	5	1,24		
100		1,75	1,5	100	21.108.109,97	1.983,16	20	0,88		
100		0,75	1,5	100	21.128.271,83	963,20	10	0,97		
100		0,75	3	20	21.118.699,57	162,23	8	0,93		
100		1,25	2,25	20	21.200.840,41	112,63	6	1,31		
100		1,25	2,25	100	21.142.846,71	691,36	7	1,04		
100		1,75	3	60	21.311.776,26	440,09	7	1,83		
100		0,75	3	60	21.156.098,98	271,22	5	1,10		
100	1,25	3	60	21.110.491,57	167,36	4	0,89			
100	0,75	3	100	21.087.006,63	450,91	5	0,78			



De la Tabla 4, se nota un mayor tiempo de resolución para el modelo original, se requirieron 12.211,44 segundos para obtener una respuesta con gap de 0,69% (como se dijo anteriormente, representa una cota inferior del método exacto); el modelo supera las 200.000 ecuaciones y variables. Se nota mucha influencia del parámetro eta y del tiempo de ejecución del modelo; no tanta para theta.

### Optimización de los parámetros del algoritmo

Finalmente, para ajustar los parámetros del algoritmo se empleará diseño de superficie de respuestas, con la herramienta minitab®, cuyo análisis arroja un mayor rendimiento del algoritmo al definir tales parámetros. Se observa que hay mayor afectación por parte de los parámetros, tiempo de ejecución y Eta, al tiempo de solución del algoritmo y el porcentaje de error (valor objetivo) como se indica en la Figura 2.

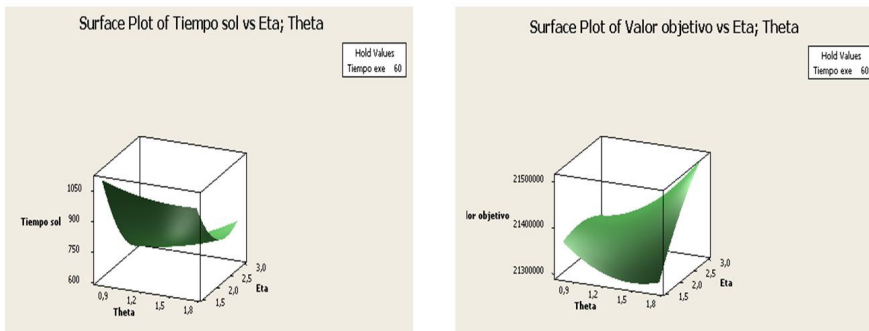


Figura 2 Superficie de respuesta

Al optimizar la superficie, se obtienen los valores para los parámetros del algoritmo:

Tabla 5  
Parámetros optimizados del modelo

Response Optimization						
Parameters	Goal	Lower	Tarjet	Upper	weight	Import
Valor obj	Mazimum	21000000	21000000	21689648	1	1
Material	Minimum	300	300	1817	1	1
Global Solution						
Theta	=	1,75				
Eta	=	3,00				
Tiempo exe	=	20,00				
Predicted Responses						
Valor obj	=	18701920;	desirability = 0,07972			
Tiempo sol	=	362;	desirability = 0,07972			
Composite Desirability	=	0,25989				

Posteriormente, se aplican los valores de los parámetros obtenidos en la optimización a los casos problemas. Se verifica las respuestas del algoritmo como mejores respuestas. Estos datos se registran en la Tabla 6

**Tabla 6**  
*Resumen de experiencia computacional*

Problema	Número de variables	Número de restricciones	Función objetivo		Tiempo Computacional en segundos		GAP RL (%)
			CPLEX	LR → Cota	CPLEX	LR	
Caso 1	59.221	58.430	14.026,00	14.026,00	4,30	4,31	0,00
Caso 2A	280.801	270.401	21.067.986,01	21.015.365,28	12.211,44	125,37	0,44
Caso 2B	280.801	270.401	21.096.891,94	21.093.106,32	11.890,85	441,23	0,73
Caso 2C	280.801	270.401	21.088.467,50	21.023.581,45	12.229,18	530,59	0,12

## Discusión

Al desarrollar los experimentos para el primer caso de estudio, no se nota necesidad de optimizar los parámetros debido a que su tiempo de resolución es corto y no presentaría alguna ventaja computacional la Relajación Lagrangeana, sin embargo, comprueban el óptimo funcionamiento del algoritmo adaptado al problema, puesto que al comparar los datos adicionales de respuesta, se identifica ser las mismas del caso original, es decir, Valor Objetivo, cantidades a producir, qué strokes se habilitan y cuáles no.

En el caso 2, se nota un mayor tiempo de resolución para el modelo original, se requieren 12.211,44 segundos para obtener una respuesta con gap de 0,69% (como se dijo anteriormente, representa una cota inferior del método exacto); el modelo supera las 200.000 ecuaciones y variables. Se ejecutan las corridas que plantea el diseño de superficie de respuestas. Se nota mucha influencia del parámetro  $\eta$  y del tiempo de ejecución del modelo; no tanta para  $\theta$ . De ahí que el modelo presenta mejor GAP y tiempo de resolución cuando se hacen modificaciones a tales parámetros.

En definitiva, se determina que los parámetros  $\theta$  y  $\eta$  para modelos de problemas de lotificación multinivel con listas de materiales alternativas y coproducción con Relajación Lagrangeana como el expuesto al caso 2 son 1.75 y 3 respectivamente con un ajuste de tiempo para los casos tratados de 20 segundos. Al correr el caso 2A con los parámetros obtenidos se genera una mejor cota inferior en 125,37 segundos.

Adicionalmente se comprueba con otros casos similares al del caso 2, como es el caso 2B y 2C (número de variables, 280.801 y número de restricciones, 270.401) la eficiencia de la Relajación Lagrangeana generando cotas mejores a la cota del método exacto obtenida.

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación de Relajación Lagrangeana y el método del subgradiente de optimización, presenta buenos resultados para el Problema de Lotificación Multinivel con Listas de Materiales Alternativas y Coproducción. En esa dinámica, se obtienen mejoras en tiempos de cómputo, al pasar de horas a minutos, con una reducción promedio del 99% en tiempo de respuesta (pasa de tener una respuesta muy cercana al óptimo en 125 segundos y no en 12.000 segundos) para la toma de decisiones.

Así mismo, se establecen cotas inferiores para el problema de estudio. Adicionalmente también aporta una aproximación de los parámetros de diseño del algoritmo, que para estos casos la literatura no es determinante y sugiere unos rangos. En este trabajo se definen dichos parámetros para el Problema de Lotificación Multinivel con Listas de Materiales Alternativas y Coproducción. La comprobación de la cota inferior y los parámetros de algoritmo de relajación Lagrangeana obtenidos vale la pena ser explorada en futuras investigaciones.

## Referencias

- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., & Orlin, J. B. (1993). *Network flows: theory, algorithms, and applications*. Prentice Hall.
- Barbarosoğlu, G., & Özgür, D. (1999). *Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system*. *European Journal of Operational Research*, 118(3), 464–484. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00317-8](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00317-8)
- Beasley, J. E. (1993). Lagrangian relaxation. In *Modern heuristic techniques for combinatorial problems* (pp. 243–303). John Wiley & Sons, Inc.
- Billington, P. (1986). Heuristics for multilevel lot-sizing with a bottleneck. *Management Science*.
- Billington, P. J., McClain, J. O., & Thomas, L. J. (1983). MATHEMATICAL programming Approaches to capacity-constrained mrp systems: review, formulation and problem reduction. *Management Science*, 29(10), 1126–1141.
- Brahimi, N., Dauzere-Peres, S., & Wolsey, L. A. (2010). Polyhedral and Lagrangian approaches for lot sizing with production time windows and setup times. *Computers & Operations Research*, 37(1), 182–188. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2009.04.005>
- Carvalho, D. M., & Nascimento, M. C. V. (2016). Lagrangian heuristics for the capacitated multi-plant lot sizing problem with multiple periods and items. *Computers and Operation Research*, 71, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.01.019>

- Dekrajangpetch, S., Sheble, G. B., & Conejo, A. (1999). Auction implementation problems using Lagrangian relaxation. *IEEE Transactions on Power Systems*. <https://doi.org/10.1109/59.744488>
- Ertogral, K., & David Wu, S. (2000). Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain. *IIE Transactions*, 32, 931–940. <https://doi.org/10.1080/07408170008967451>
- Fisher, M. (1981). The Lagrangian Relaxation Method for Solving Integer Programming Problems. *Management Science*, 50(12\_supplement), 1861–1871. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0263>
- Florian, M., Lenstra, J., & Kan, A. (1980). Deterministic Production Planning: Algorithms and Complexity. *Management Science*, 26(7), 669–679. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.669>
- Garcia-Sabater, J. P., Maheut, J., & Marin-Garcia, J. a. (2013). A new formulation technique to model materials and operations planning: The generic materials and operations planning (GMOP) problem. *European Journal of Industrial Engineering*, 7(2), 119–147. <https://doi.org/10.1504/EJIE.2013.052572>
- Haugen, K. K., Lanquepin-Chesnais, G., & Olstad, A. (2012). A fast Lagrangian heuristic for large-scale capacitated lot-size problems with restricted cost structures. *Kybernetika*, 48(2), 329–345.
- Held, M., Wolfe, P., & Crowder, H. P. (1974). Validation of subgradient optimization. *Mathematical Programming*, 6(1), 62–88.
- Jang, Y. J., Jang, S. Y., Chang, B. M., & Park, J. (2002). A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 263–281. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00074-8)
- Jayaraman, V., & Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, 133(2), 394–408. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00033-3)
- LeBlanc, L. J., Shtub, A., & Anandalingam, G. (1999). Formulating and solving production planning problems. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 54–80. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00394-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00394-9)
- Maneechai, S. (2016). Variant of Constants in Subgradient Optimization Method over Planar 3-Index Assignment Problems, (1). <https://doi.org/10.3390/mca21010004>

- Nezhad, A. M., Manzour, H., & Salhi, S. (2013). Lagrangian relaxation heuristics for the uncapacitated single-source multi-product facility location problem. *International Journal of Production Economics*, 145(2), 713–723. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.06.001>
- Rius-Sorolla, G., Maheut, J., Coronado-Hernandez, J. R., & Garcia-Sabater, J. P. (2018). Lagrangian relaxation of the generic materials and operations planning model. *Central European Journal of Operations Research*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0593-0>
- Thizy, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (1983). A subgradient algorithm for the multi-item capacitated lot-sizing problem. *IIE Transactions*. V18, 114–123.
- Toledo, F. M. B., & Armentano, V. A. (2006). A Lagrangian-based heuristic for the capacitated lot-sizing problem in parallel machines. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 1070–1083. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.029>
- Wu, T., Zhang, C., Liang, Z., & Leung, S. C. H. (2013). A Lagrangian relaxation-based method and models evaluation for multi-level lot sizing problems with backorders. *Computers & Operations Research*, 40(7), 1852–1863.
- Yang, L., & Zhou, X. (2014). Constraint reformulation and a Lagrangian relaxation-based solution algorithm for a least expected time path problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 59, 22–44.

## INSTRUMENTO PARA DIAGNÓSTICO DE INNOVACIÓN

## Instrument for innovation diagnostics

Breyner Jiménez Navia<sup>1</sup>  
Orlando Zapateiro Altamiranda<sup>2</sup>

Recibido: 24/05/2018

Aceptado: 10/10/2019

**Resumen**

Este artículo presenta el diseño de un instrumento que busca entregar un diagnóstico donde cualquier institución pueda hacer uso de la innovación debido a que es la principal fuente de cambios al interior de la misma. En la construcción del instrumento se tomaron como referentes los conceptos de Melissa A. Schilling y Peter Drucker. Como resultados se muestra la organización y funcionamiento del instrumento basado el subsistema empresarial, el subsistema universitario, el subsistema de individuos, el subsistema de organizaciones no lucrativas de investigación y el subsistema de redes de colaboración. Para la correcta utilización del instrumento, se recomienda que sea aplicados y por el personal directivo de la organización; son estos quienes conocen el contexto y cuentan con toda información suficiente de las capacidades y ausencias de la organización y son quienes están llamados a iniciar la implementación de acciones y conseguir un volcamiento completo a la innovación.

**Palabras clave:** Innovación, Fuentes, Instrumento

**Abstract**

This article presents the design of an instrument that seeks to provide a diagnosis and make the managers of any establishment aware of making use of innovation, as it is the main source of change within it. The concepts of Melissa A. Schilling and Peter Drucker were taken as references in the construction of the instrument. The results show the organization and functioning of the instrument based on subsystems: the enterprise subsystem, the university subsystem, the subsystem of individuals, the subsystem of non-profit research organizations and the subsystem of collaboration networks. For the correct use of the instrument, it is recommended that it be applied and used by the managerial staff of the organization; these are the ones who know the context and have all sufficient information about the capabilities and absences of the organization and are the ones who are called to initiate the implementation of actions and achieve a complete dedication to innovation.

**Keywords:** Innovation, Sources, Instrument.

<sup>1</sup>Ingeniero Industrial. Especialista en Estadística Aplicada. MSc. en Gestión de Innovación Tecnológica Cooperación y Desarrollo Regional. jefe división de gestión y vigilancia tecnológica dela Armada Colombiana. breyner.jimenez@armada.mil.co

<sup>2</sup>Líder Grupo de Investigación LOGER. Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, Facultad de Administración Marítima. ozapateiro@hotmail.com

## Introducción

En el mundo empresarial el entorno de alta competencia es cada vez más complejo y cambiante, esto ha llevado a plantearse la necesidad de contar con formas ordenadas de generar ventajas competitivas que permitan a la empresa no solo sobrevivir, sino también posicionarse en el mercado. De acuerdo con lo anterior, se genera la gran pregunta, ¿cómo obtener la ventaja competitiva que me diferencia de la competencia? Pues la respuesta correcta es “innovar”; ya que gestionándola de manera superior que la competencia, se genera un proceso que proporciona a la institución una fuente estructurada de ventajas competitivas de manera permanente.

En la actualidad la innovación es una gran oportunidad de estudio, análisis y emprendimiento, por ello, cotidianamente se habla y escucha su mención en múltiples entornos. Sin embargo, en la economía nacional son contados los modelos cuantitativos que miden y suministran una perspectiva en cuanto a la generación, fuentes y procesos de medición de la innovación en las entidades. Por consiguiente, se propone realizar una exploración de las fuentes de innovación que tienen institución a la mano para generar mejoras sustanciales. Para realizar la exploración, se propone trabajar con el modelo que plantea Melissa A. Schilling (2014) en su libro “Gestión Estratégica de la Innovación Tecnológica”.

La principal fuente de la innovación es la creatividad, Albert Einstein dijo “la imaginación es más importante que el conocimiento”. La imaginación moviliza al conocimiento y a su vez a la creatividad, esta genera las ideas, que se convierten en invención, ésta se construye con ellas un prototipo y la innovación lo lleva a la práctica. a su vez, la creatividad es la fuente de la innovación principalmente por la variedad y la multiplicidad, es por eso que, la invención y la innovación se basan en ella; la invención es altamente creativa, pero a menudo poco práctica; sin embargo, se materializa. La innovación suma a lo múltiple de la creación y a lo concreto de un invento, es el elemento que les da vida y se transporta a los mercados que satisfacen las necesidades de las personas.

En este artículo, se presenta en primera instancia el contexto que lleva a la innovación, posteriormente se muestra la metodología utilizada, luego se despliegan las distintas concepciones sobre la innovación, de igual manera se enseña el instrumento planteado al igual que su funcionamiento, y por último las conclusiones, así como sus fuentes bibliográficas.

## Método

Para el desarrollo del presente artículo, se consideró necesario hacer una revisión detallada de especialistas en “Fuentes de Innovación”; en primera instancia se consultó el libro “Gestión Estratégica de la Innovación Tecnológica”, escrito por la



profesora Melissa A. Schilling, de igual manera se encontró la tesis de grado en modalidad de investigación de Yesid Restrepo Giraldo, Master en Gestión de la Innovación Tecnológica donde realizó una “Exploración de fuentes de innovación y creación de una unidad de I+D+i en el sector de la construcción e infraestructura” (Restrepo, 2017).

Asimismo Peter Drucker escribió sobre el tema también y fue puesto de manifiesto en el libro *Innovación y emprendimiento* (2014). De igual manera se utilizó la base de datos estructura de Scopus del Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM, en donde se encontraron otros autores como Jorge Enrique Robledo (2013), Oscar Fernando Castellanos Domínguez (2007), ambos profesionales de la Universidad Nacional de Colombia; los profesores Santiago Ruiz Navas (2010) y Juan Felipe Herrera (2015) de la Corporación Tecnova.

Con base en lo anterior, se diseñó una matriz de cinco segmentos que representan subsistemas, estos son: el subsistema de las empresas, el subsistema de las universidades, el subsistema de los individuos, el subsistema de las organizaciones privadas no lucrativas de investigación y el subsistema de las redes de colaboración. Para darle más contenido de fondo al instrumento diseñado, se incorporó un cuestionario de diferentes preguntas al interior de cada subsistema; la rigurosidad, pertinencia y adecuación de las preguntas se basaron en la literatura obtenida de los autores (Berrocal & Segura, 2008; Castellanos, 2007; Innovare, 2015; Morales & León, 2013; Navarra, 2010; Robledo, 2013; Ruiz & Herrera, 2010). Finalmente, para ejecutar el instrumento, se emplea el aplicativo MS-Excel, con el propósito que sea diligenciada por los directivos de la institución, quienes son los responsables de obtener el diagnóstico.

El instrumento trabaja bajo tres criterios de celdas: “calificación”, “acumulado” y “escala”. Este funcionamiento será explicado en detalle en la sección “Funcionamiento del instrumento”.

## **Desarrollo Conceptual**

### La innovación

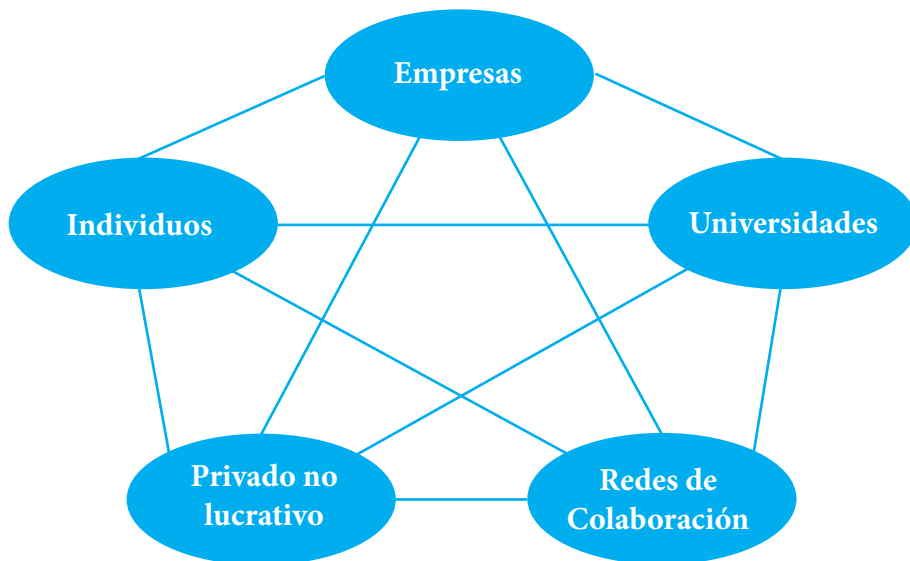
La innovación puede surgir de diversas fuentes; puede partir de individuos, de inventores, o usuarios que diseñan soluciones para sus propias necesidades, como también puede surgir de los esfuerzos de investigación de universidades, laboratorios e incubadoras públicas o privadas, u organizaciones privadas sin ánimo de lucro. Un motor fundamental de la innovación lo constituyen las entidades, debido a que las estas normalmente cuentan con más recursos que los individuos y un sistema de dirección para organizar tales recursos hacia un propósito colectivo. Las instituciones también se favorecen al contar con importantes incentivos para desarrollar nuevos productos y servicios diferenciadores, lo que puede ubicarlas en una posición ventajosa frente a las entidades sin ánimo de lucro o públicas.

Según Rothwell (1974), una fuente de innovación incluso más importante, es la que surge de los vínculos existentes entre las universidades, laboratorios, incubadoras públicas o privadas, u organizaciones privadas sin ánimo de lucro.

Así también al decir de Powell, Koput, Smith-Doerr, & Owen-Smith (1999), las redes de innovación que potencian el conocimiento y otros recursos a partir de múltiples fuentes son uno de los agentes de avance tecnológico más poderosos

Por tanto, se puede pensar en las fuentes de innovación como componentes de un sistema complejo donde puede surgir una innovación particular de uno o varios componentes del sistema o de los vínculos entre ellos como lo muestra la imagen No 1.

En este esquema se asocian los 5 subsistemas esenciales en la generación de fuentes de innovación.



**Figura 1** Las fuentes de innovación como un sistema  
Fuente: "Strategic Management of Technological Innovation"(Schilling, 2014)

Por otro lado, se debe considerar el papel de la creatividad como proceso subyacente para la generación de ideas nuevas y útiles. Entonces se considera cómo se transforma la creatividad en resultados innovadores por parte de los componentes del sistema de innovación (individuos, empresas o instituciones, etc.) y a través de los vínculos entre diferentes componentes (relaciones de la entidad con sus clientes, transferencia de tecnología de las universidades hacia las empresas, etc.).

## **La creatividad**

Las innovaciones se inician con la generación de nuevas ideas la destreza para generar ideas nuevas y útiles se denomina “creatividad”, la cual puede definirse como habilidad de producir un trabajo que sea novedoso y útil” (Schilling, 2014, p. 17). Por eso, el trabajo nuevo debe ser diferente del trabajo que ha sido previamente hecho, de manera que no sea simplemente un paso lógico a partir de una serie de soluciones conocidas. En este sentido Lubart (1993), establece que creatividad es la habilidad de producir un trabajo novedoso y útil.

De acuerdo con *Lubart*, (1993), un producto puede ser una novedad para la persona que lo ha elaborado, mas no para todos los demás; en este caso se puede llamar reinención. Un producto podría ser nuevo para un público específico, aunque sea bien conocido en otro lugar del mundo. Los trabajos más creativos son nuevos a nivel del productor individual, a nivel del público local y al nivel más amplio de la sociedad.

## **Subsistemas esenciales en la generación de fuentes de innovación**

### **Entidades**

Una de las fuentes más evidentes de innovación en las entidades, la constituyen los esfuerzos de investigación y desarrollo – I+D propios. Aunque los términos I+D a menudo son agrupados, representan diferentes tipos de inversión en actividades relacionadas con la innovación. La investigación puede referirse tanto a investigación básica como aplicada. La investigación básica es el esfuerzo dirigido a incrementar el conocimiento científico en sí mismo, de un tópico o campo sin ninguna aplicación comercial específica; esta hace avanzar el conocimiento tecnológico, que puede (o no) convertirse en aplicaciones comerciales de éxito. La investigación aplicada se dirige a incrementar el conocimiento sobre un tópico para cubrir una necesidad específica en la industria, normalmente tiene objetivos comerciales específicos. El desarrollo se refiere a las actividades que aplican conocimiento para producir dispositivos, materiales o procesos útiles, este puede ser tecnológico o experimental. Así, el término I+D se refiere a una gama de actividades que se extienden desde la primera exploración de un dominio hasta las implementaciones comerciales específicas.

Las entidades o instituciones forman alianzas con clientes, proveedores, complementadores e incluso competidores para trabajar conjuntamente en un proyecto de innovación o para intercambiar información y otros recursos para conseguir una innovación. La colaboración puede darse en forma de alianzas, participación en consorcios de investigación, acuerdos de licencia, contratos de I+D, empresas conjuntas y otros acuerdos. Los colaboradores pueden reunir recursos como conocimiento y capital y pueden compartir el riesgo de un nuevo proyecto de desarrollo.

Las entidades también pueden colaborar con competidores y complementadores, que son organizaciones (o individuos) que producen bienes complementarios, como bombillas para lámparas o películas para los lectores de DVD. En algunas industrias, las empresas producen un rango de bienes y la línea entre competidor y complementador puede desaparecer. Por ejemplo, Kodak compete con Fuji en los mercados de cámaras y de películas, aunque las películas de Fuji son también un complemento de las cámaras de Kodak y viceversa. Esto puede hacer muy complejas las relaciones entre entidades. En algunas circunstancias, las instituciones pueden ser competidores encarnizados en una determinada categoría de productos y aun así involucrarse en acuerdos de colaboración para el desarrollo en esa categoría de productos o categorías de productos complementarias.

### **Individuos**

La innovación en la mayoría de las ocasiones se origina en aquellos quienes crean soluciones para sus necesidades. Los usuarios a menudo cuentan con un profundo conocimiento de sus necesidades no satisfechas y con el incentivo para encontrar formas de satisfacerlas (Von Hippel, 2001). Los usuarios pueden trastornar las características de los productos o servicios existentes, pueden dirigirse a los fabricantes con sugerencias de diseño de producto o servicio, o pueden desarrollar nuevos por sí mismos. Por ejemplo, “El Laser”, un popular pequeño velero, fue diseñado sin ninguna investigación formal de mercado o pruebas de concepto. En lugar de ello, fue resultado de la inspiración creativa de tres antiguos marinos olímpicos, Ian Bruce, Bruce Kirby y Hans Vogt. Éstos basaron el diseño del velero en sus propias preferencias: simplicidad, máximo rendimiento, transportabilidad, durabilidad y bajo coste. El velero resultante fue enormemente exitoso; durante los años 70's y 80's, se producían diariamente 24 veleros de este tipo. (Thomas, 1996)

### **Universidades**

Una importante fuente de innovación procede de las instituciones de investigación públicas como son las universidades, laboratorios públicos e incubadoras. Para algunas instituciones, la investigación procedente de instituciones públicas y sin ánimo de lucro les permite desarrollar innovaciones que de otra manera no habrían desarrollado.

**Las universidades** fomentan que su personal se involucre en investigaciones que puedan producir innovaciones útiles. Normalmente, las normas de propiedad intelectual de una universidad abarcan innovaciones patentables y no patentables, y la universidad retiene sólo los derechos de comercializar la innovación. Si una invención se comercializa con éxito, la universidad normalmente comparte los ingresos con los inventores para incrementar el grado en el que la investigación produzca una innovación comercial, la mayoría de las universidades han establecido oficinas de transferencia de tecnología para esto.

**Las oficinas de transferencia de tecnología**, están diseñadas para facilitar la transferencia de tecnología desarrollada en un entorno de investigación de laboratorio para un ámbito en el que puedan ser aplicadas comercial o industrialmente.

En los Estados Unidos, la creación de oficinas de transferencia de tecnología en las universidades se aceleró rápidamente tras la ley Bayh-Dole de 1980 (López, Mejía, & Schmal, 2006). Esta ley permitió a las universidades obtener regalías de las invenciones financiadas con dinero de los contribuyentes. Aunque los ingresos de las actividades de transferencia de tecnología de las universidades son bastante pequeños en relación con los presupuestos de investigación de las universidades, su importancia crece de manera exponencial. Las universidades también contribuyen significativamente a la innovación mediante la publicación de los resultados de la investigación que se incorporan a los esfuerzos de desarrollo de otras organizaciones e individuos.

**Investigación financiada con fondos públicos**, en algunos países invierten de manera activa en investigación mediante sus propios laboratorios, la formación de parques tecnológicos e incubadoras y subvenciones para entidades privadas y públicas. Por ejemplo, el gobierno de Estados Unidos fue el principal suministrador de fondos para I+D en los años cincuenta y sesenta, llegando al 66,5% en 1964. Su participación ha caído significativamente desde entonces y en 2000, el gasto del gobierno norteamericano suponía sólo el 26,3% del gasto en I+D de la Nación; no obstante, la reducción en la participación del gobierno en el gasto principalmente se debe más al rápido incremento en los fondos de I+D en la industria privada que a una reducción real en el gasto absoluto del gobierno.

**Parques tecnológicos**, son distritos regionales, normalmente instalados por el sector público para impulsar la colaboración en I+D entre gobierno, universidades y empresas privadas. Una de las formas en las que el sector público apoya los esfuerzos de I+D en los sectores público y privado es mediante la formación de parques tecnológicos e incubadoras. Desde los años cincuenta, los gobiernos nacionales han invertido de manera activa en el desarrollo de éstos parques para fomentar la colaboración entre instituciones públicas nacionales y locales, universidades y empresas privadas. Estos parques a menudo incluyen instituciones designadas para abrigar el desarrollo de nuevos negocios que de otra forma podrían no tener acceso a financiación o asesoramiento técnico adecuado. A menudo, tales instituciones son denominadas incubadoras. Estas, ayudan a superar el fallo de mercado que puede resultar cuando una tecnología tiene potencial de generar importantes beneficios para la sociedad, pero su potencial para retornos directos es muy incierto”

**Incubadoras**, son instituciones diseñadas para abrigar el desarrollo de nuevos negocios que de otra forma podrían no tener acceso a financiación o asesoramiento adecuados. Estas incubadoras crean semilleros fértiles para las nuevas empresas y un punto de encuentro para actividades de colaboración entre empresas establecidas. Su proximidad a los laboratorios de la universidad y otros centros de investigación

asegura un acceso rápido al conocimiento científico. Tales centros también ayudan a los investigadores de la universidad a implementar sus descubrimientos científicos en aplicaciones científicas

### **Organizaciones privado no lucrativas**

Las organizaciones privadas no lucrativas, como institutos privados de investigación, hospitales sin ánimo de lucro, sociedades profesionales o técnicas, consorcios industriales y académicos, y cámaras de comercio, también contribuyen a la actividad de innovación a través de distintas formas complejas. Muchas organizaciones no lucrativas realizan sus propias actividades de investigación y desarrollo, algunas financian las actividades de investigación y desarrollo de otras organizaciones, aunque no las realizan ellas mismas y otras organizaciones no lucrativas realizan actividades de investigación y desarrollo internas y financian los esfuerzos de desarrollo de otros. Las organizaciones no lucrativas invirtieron 8,3 billones de dólares en I+D en 2003 (Imai & Baba, 1991, pp. 499–514) En Estados Unidos, las mayores 20 organizaciones no lucrativas que llevaron a cabo una cantidad significativa de investigación y desarrollo incluyen organizaciones como el Howard Hughes Medical Institute, la Fundación Mayo, el Memorial Sloan Kettering Cancer Center, SEMANTEC y Rand Corporation.

### **Redes de colaboración**

Las redes de colaboración en investigación y desarrollo para el éxito de la innovación incluyen empresas conjuntas, acuerdos de licencia y de subcontratación, asociaciones de investigación programas conjuntos de investigación financiados por el gobierno, redes de valor añadido para el intercambio técnico y científico y redes informales (Imai & Baba, 1991, pp. 499–514). La investigación en colaboración es especialmente importante en sectores de alta tecnología, en los que es poco probable que un individuo y organización por sí solo posea todos los recursos y capacidades necesarios para desarrollar e implementar una innovación significativa (Hagedoorn, 2002, pp. 477–492)

La proximidad geográfica indica jugar un papel importante en la formación y actividad innovadora de las redes de colaboración. Algunos clústeres regionales muy conocidos como lo es Silicon Valley de empresas de semiconductores, el clúster de empresas de multimedia del bajo Manhattan y el distrito de géneros de punto de Módena, Italia, ilustran de manera adecuada este fenómeno. Esto ha producido un considerable interés en los factores que llevan al surgimiento de un clúster. Los gobiernos locales y regionales, por ejemplo, pueden desear conocer cómo impulsar la creación de un clúster tecnológico en su región para incrementar el empleo, los ingresos por impuestos y otros beneficios económicos. Para las empresas, comprender cuáles son los inductores y beneficios de incluirse en un clúster es útil para desarrollar una estrategia que asegure que la empresa esté bien posicionada para beneficiarse de ello.

Los clústeres tecnológicos pueden abarcar una región tan reducida como una ciudad o tan amplia como un grupo de países vecinos. A menudo los clústeres rodean una colección de industrias que están vinculadas mediante relaciones entre proveedores, compradores y productores de complementos, así como colaboración en investigación. Una razón determinante para la aparición de clústeres regionales es el beneficio de la proximidad en el intercambio de conocimiento. Aunque los avances en las tecnologías de la información han hecho más fácil, rápido y barato transmitir información a grandes distancias, distintos estudios indican que el conocimiento no siempre se transmite fácilmente mediante tales mecanismos.

La proximidad e interacción de las organizaciones influyen directamente sobre la habilidad y disposición de las empresas para intercambiar conocimiento. En primer lugar, el conocimiento que es complejo o tácito puede requerir de una interacción frecuente y cercana para que sea intercambiado de manera significativa, las empresas pueden necesitar interactuar frecuentemente para desarrollar formas comunes de comprender y articular el conocimiento antes de que se sean capaces de transferirlo” (Argote, Ingram, Levine, & Moreland, 2000; Szulanski, 2000) “En segundo lugar, la cercanía y frecuencia de la interacción puede influir sobre la disposición de una empresa para intercambiar conocimiento. Cuando las empresas interactúan frecuentemente, pueden desarrollar normas de confianza y reciprocidad. Las empresas que interactúan a lo largo del tiempo desarrollan un mayor conocimiento entre sí, y sus interacciones repetidas les proporcionan información como puede ser la probabilidad de que sus socios se comporten de manera oportunista. Surge un entendimiento compartido de las reglas de compromiso, donde cada socio entiende cuáles son sus obligaciones respecto a cuánto conocimiento es intercambiado, como puede ser utilizado tal conocimiento y cómo se espera que las empresas respondan en reciprocidad” (Dyer & Nobeoka, 2000; von Hippel, 1987)

**Conocimiento complejo**, tiene muchos componentes subyacentes o muchas interdependencias entre tales componentes, o ambos. Conocimiento tácito, es el conocimiento que no puede ser fácilmente codificado (documentado de forma escrita).

Las empresas que se encuentran próximas cuentan con una ventaja respecto a compartir información que puede conducir a una mayor productividad de la innovación. Esto puede llevar a otras ventajas geográficas que se auto-refuerzan. Un clúster de empresas con alta productividad en la innovación puede llevar a que se conformen empresas nuevas en la vecindad inmediata y puede atraer a otras empresas al área; las empresas crecen, las divisiones pueden ser externalizadas y convertidas en otras empresas, los empleados emprendedores pueden fundar sus propias empresas y surgen los mercados de proveedores y distribuidores para dar servicio al clúster. Las empresas de éxito también atraen nuevo personal al área y ayudan a hacer el conjunto de personal más valioso al permitir a los individuos ganar experiencia trabajando con las empresas innovadoras. El incremento en empleo e ingresos por impuestos en la región puede llevar



a mejoras en infraestructuras (como carreteras y servicios generales), escuelas y otros mercados que proporcionen servicio a la población (centros comerciales, supermercados, proveedores de servicios para la salud, etc.). Los beneficios que las empresas obtienen por localizarse muy cerca geográficamente entre sí son reconocidos colectivamente como economías de aglomeración. Estas Economías de aglomeración: ofrecen beneficios a las empresas por localizarse muy cerca geográficamente entre sí.

### **El Instrumento**

Este instrumento fue construido con base en la literatura relacionada en la referencia bibliográfica, y como insumo principal se tomó el modelo propuesto por sistemas definido por Schilling (2014) dispuesto en el libro “Gestión Estratégica de la Innovación Tecnológica” capítulo No 2 “Fuentes de Innovación”

El instrumento en sí, es un cuestionario con preguntas relacionadas directamente con cada subsistema; la matriz está distribuida en cinco segmentos, que corresponden a los cinco subsistemas que menciona Schilling, estos son i) subsistema de las empresas, ii) subsistema de las universidades, iii) subsistema de los individuos, iv) subsistema de las organizaciones privadas no lucrativas de investigación y v) subsistema de las redes de colaboración.

El diseño de las preguntas fue estructurado de acuerdo las literaturas de Club de Innovación 2015 (Innovare, 2015); Adiós a los mitos de la innovación (Morales & León, 2013); Instrumentos de gestión de la innovación (Navarra, 2010); La gestión de la innovación como ventaja competitiva sostenible (Berrocal & Segura, 2008), Gestión de la innovación (Ruiz & Herrera, 2010); entre otras.

El instrumento tiene como finalidad entregar un diagnóstico y hacer conscientes a los directivos de las instituciones de hacer el uso de las fuentes de innovación, ya que son la primera fuente de cambios sustanciales al interior de la entidad. Por otra parte, la herramienta muestra los aspectos por mejorar (falencias) que la institución debe abordar para hacer un volcamiento completo a la innovación. Así mismo, para que el instrumento dé los frutos esperados, el cuestionario debe ser diligenciado por el personal directivo, quienes poseen la información necesaria y de primera mano de la organización, para establecer capacidades y deficiencias.

### **Funcionamiento del instrumento**

El instrumento funciona bajo tres criterios de celdas: “calificación”, “acumulado” y “escala”. La forma de activar el instrumento es respondiendo a través de números cada criterio en la casilla de “calificación”. Se diligencia (1) y/o (0), entendiendo como (1) si tiene la característica o si es positiva la respuesta; y como (0) si la respuesta es negativa. La otra casilla “acumulado”, va sumando los valores de acuerdo a la calificación y al final resulta el valor total del subsistema. Con la calificación final, en la casilla de “acumulado” automáticamente le da un valor según la “escala”

y esta permite establecer el nivel del subsistema, ya sea alto, medio o bajo. Este último criterio muestra el nivel de implementación al interior de la entidad en cada subsistema. Esto finalmente es el diagnóstico del uso de las fuentes de innovación y en ese mismo sentido, se presentan los aspectos por mejorar (falencias) que la institución debe empezar a abordar o implementar para hacer un volcamiento completo a la innovación.

### Composición del instrumento

El instrumento está compuesto por 63 preguntas en total, dispuestas y definidas para cada uno de los subsistemas así: Subsistema de empresas compuesto por 40 preguntas, Subsistema de las universidades compuesto por 4 preguntas, Subsistema de los individuos compuesto por 11 preguntas, Subsistema de las organizaciones privadas no lucrativas de investigación compuesto por 5 preguntas y el Subsistema de las redes de colaboración compuesto por 3 preguntas, a continuación se relaciona cada Subsistema

### Subsistema de individuos

El subsistema de individuos, es una fuente de innovación interna y las preguntas se refieren a los aspectos que tiene que ver con el personal al interior de la institución y tiene el propósito de determinar qué tanto están motivados para innovar. En el cuadro No 1, se relacionan las preguntas de este subsistema.

**Cuadro 1.**  
*Subsistema de individuos*

Fuente	Sistema	Individuos	Calificación	Acumulado	Escala
Interna	Individuos	¿Cuántos líderes tenemos que fomenten la creatividad interna de sus equipos de forma exitosa?	0	0	1 Bajo
Interna	Individuos	¿Cuánto tiempo dedican nuestros líderes a animar a sus equipos a que innoven?	0	0	2 Bajo
Interna	Individuos	¿Los colaboradores están en la capacidad e solucionar sus necesidades frente a la labor que realizan diariamente en su trabajo?	0	0	3 Bajo
Interna	Individuos	¿Los colaboradores pueden dirigirse a los fabricantes existentes con sugerencias de diseño de producto, o pueden desarrollar nuevos productos por sí mismos?	0	0	4 Bajo
Interna	Individuos	¿Los colaboradores se sienten motivados por innovar?	0	0	5 Medio
Interna	Individuos	¿Los colaboradores operativos invierten tiempo en actividades de innovación, creatividad y generación de ideas?	1	1	6 Medio
Interna	Individuos	¿Los colaboradores directivos invierten tiempo en actividades de innovación, creatividad y generación de ideas?	1	2	7 Medio
Interna	Individuos	¿Los colaboradores ejecutivos invierten tiempo en actividades de innovación, creatividad y generación de ideas?	0	2	8 Medio
Interna	Individuos	¿Se mide a los colaboradores por su desempeño en innovación?	0	2	9 Alto
Interna	Individuos	¿Tiene un indicador de innovación, creatividad y generación de ideas por colaborador por año?	0	2	10 Alto
Interna	Individuos	¿Se mide el nivel de satisfacción del colaborador?	1	3	11 Alto
<b>Total Individuos</b>			<b>3</b>	<b>Bajo</b>	

Fuente: Elaboración del autor.

## Subsistema de universidades

El subsistema de universidades, es una fuente de innovación externa para la entidad y se examinan aspectos que tiene que ver con la relación que existente entre las entidades y las universidades. En el cuadro No 2, se relacionan las preguntas de este subsistema.

**Cuadro 2**  
*Sistema de universidades*

Sistema de universidades						
Fuente	Sistema	Universidades	Calificación	Acumulado	Escala	
Externa	Universidades	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración con universidades?	1	1	1	Bajo
Externa	Universidades	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración con institutos tecnológicos?	1	2	2	Bajo
Externa	Universidades	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración con laboratorios?	0	2	3	Medio
Externa	Universidades	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración con incubadoras?	1	3	4	Alto
<b>Total Universidades</b>			<b>3</b>	<b>Medio</b>		

Fuente: Elaboración del autor.

## Subsistema de organizaciones privadas no lucrativas

El subsistema de organizaciones privadas no lucrativas, es una fuente de innovación externa; en este se indagan aspectos que tiene que ver con las alianzas, convenios u otros mecanismos que tienen las instituciones con consorcios industriales, académicos, institutos privados de investigación, entidades sin ánimo de lucro, sociedades profesionales o técnicas, consorcios industriales o académicos, y cámaras de comercio. En el cuadro No3, se relacionan las preguntas de este subsistema.

**Cuadro 3**  
*Subsistema de organizaciones privadas no lucrativas*

Fuente	Sistema	Privado no lucrativo	Calificación	Acumulado	Escala	
Externa	No Lucrativo	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración institutos privados de investigación?	1	1	1	Bajo
Externa	No Lucrativo	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración sociedades profesionales o técnicas?	1	2	2	Bajo
Externa	No Lucrativo	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración consorcios industriales?	1	3	3	Medio
Externa	No Lucrativo	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración consorcios académicos?	1	4	4	Medio
Externa	No Lucrativo	¿La empresa tiene alianzas y/o convenios de colaboración cámaras de comercio?	1	5	5	Alto
<b>Total Privado No Lucrativo</b>			<b>5</b>	<b>Alto</b>		

Fuente: Elaboración del autor.

## Subsistema de redes de colaboración

El subsistema de redes de colaboración, es una fuente de innovación externa y se investigan aspectos que tiene que ver con la entidad, si poseen acuerdos y/o convenios de licencia segunda parte, si cuenta con asociaciones de investigación programas conjuntos de investigación financiados por el gobierno, u otras entidades, o si tiene redes de valor

añadido para el intercambio técnico y científico. En el cuadro No 4, se relacionan las preguntas de este subsistema.

#### Cuadro 4

##### Subsistema de redes de colaboración

Fuente	Sistema	Redes de colaboración	Calificación	Acumulado	Escala
Externa	Redes de Colaboración	¿La empresa tiene acuerdos de licencia con otras empresas del sector?	1	1	1 Bajo
Externa	Redes de Colaboración	¿La empresa tiene programas conjuntos de investigación financiados?	0	1	2 Medio
Externa	Redes de Colaboración	¿La empresa forma parte de redes para identificar oportunidades de innovación?	1	2	3 Alto
<b>Total Redes de Colaboración</b>			<b>2</b>	<b>Medio</b>	

Fuente: Elaboración del autor.

### Subsistema de empresas

El subsistema de empresas, es una fuente de innovación interna y la más valiosa de todas las fuentes, aquí se examinan aspectos sobre las alianzas con clientes, proveedores, y/o complementadores para trabajar conjuntamente en proyectos de innovación; así mismo determinar los recursos internos que deben potencializarse para asegurar la innovación. En el cuadro No 5, se relacionan las preguntas de este subsistema.

#### Cuadro 4

##### Subsistema de redes de colaboración

Fuente	Sistema	Empresa	Calificación	Acumulado	Escala
Interna	Empresa	¿Tiene la empresa una estrategia de innovación?	1	1	1 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa hace vigilancia tecnológica?	1	2	2 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa tienen patentes registradas?	1	3	3 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa tienen un proceso de innovación estructurado y establecido formalmente?	1	4	4 Bajo
Interna	Empresa	¿A los colaboradores que tiene la empresa le pagamos por inventar?	1	5	5 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa hace I+D?	1	6	6 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa invierte en I+D?	1	7	7 Bajo
Interna	Empresa	¿El I+D de la empresa es externo?	1	8	8 Bajo
Interna	Empresa	¿El I+D de la empresa es interno?	1	9	9 Bajo
Interna	Empresa	¿El departamento de I+D desarrolla soluciones para satisfacer los problemas internos de la empresa?	1	10	10 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa hace gestión de conocimiento?	1	11	11 Bajo
Interna	Empresa	¿El departamento de I+D desarrolla soluciones para satisfacer las necesidades de los clientes?	1	12	12 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa tiene campañas masivas de generación de ideas y/o innovación?	1	13	13 Bajo
Interna	Empresa	¿La empresa destina presupuesto para la generación interna de nuevas ideas?	1	14	14 Medio
Interna	Empresa	¿La empresa desarrollan talleres y focos de innovación por año?	1	15	15 Medio
Interna	Empresa	¿En la empresa los colaboradores dedican tiempo a “pensar fuera de la caja”?	1	16	16 Medio
Interna	Empresa	¿La empresa entrena para que los colaboradores sean capaces de generar buenas ideas?	1	17	17 Medio
Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con metodologías y/o herramientas de innovación disponibles y utilizadas por los colaboradores?	1	18	18 Medio

Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con colaboradores capacitados en innovación, creatividad y generación de ideas?	0	18	19	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa invierte recursos financieros dedicados a innovación, creatividad y generación de ideas?	0	18	20	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con un equipo o un comité de innovación?	0	18	21	Medio
Interna	Empresa	¿El equipo de innovación de la empresa es multidisciplinario?	0	18	22	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con buzón de sugerencias y/o ideas?	0	18	23	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con Intranet: una red privada para sugerencias y/o ideas?	0	18	24	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa cuentan con cuenta con escenarios alternativos y/o espacios para generar innovación y creatividad?	0	18	25	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa realiza actividades con los clientes para probar las innovaciones?	0	18	26	Medio
Interna	Empresa	¿La empresa pertenece o hace parte de un clúster?	0	18	27	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa tiene relaciones con fuentes externas de información científica y tecnológica?	0	18	28	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa tiene acuerdos de confianza y/o alianzas con clientes, proveedores y complementadores para trabajar en innovación?	0	18	29	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa tiene estudios de mercado para entender las necesidades insatisfechas de los clientes?	1	19	30	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa realiza análisis de tendencias para entender las necesidades y expectativas de los clientes?	1	20	31	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa entrevista a sus clientes para entender sus necesidades y expectativas?	1	21	32	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa entrevista a sus proveedores para entender sus necesidades y expectativas?	1	22	33	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa entrevista a sus complementadores para entender sus necesidades y expectativas?	1	23	34	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa cuenta con un indicador de innovación, creatividad y generación de ideas por cliente por año?	1	24	35	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa cuenta con un indicador de innovación, creatividad y generación de ideas por proveedor por año?	0	24	36	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa cuenta con un indicador de innovación, creatividad y generación de ideas por complementador por año?	1	25	37	Alto
Interna	Empresa	¿Se mide el nivel satisfacción del cliente?	1	26	38	Alto
Interna	Empresa	¿Se mide el nivel satisfacción del proveedor?	1	27	39	Alto
Interna	Empresa	¿La empresa hace Benchmarking?	1	28	40	Alto
<b>Total Empresa</b>			<b>28</b>	<b>Alto</b>		

Fuente: Elaboración del autor.

### Matriz de Calificación

En esta última matriz se muestra el resultado final, para este caso el de una empresa “X”, la calificación se muestra por subsistemas. El subsistema de empresas compuesto por 40 preguntas, el resultado fue 28 puntos, quiere decir que tiene una implementación “Alta”. El subsistema de los individuos compuesto por 11 preguntas, el resultado fue 3 puntos, quiere decir que tiene una implementación “Baja”. El subsistema de las universidades compuesto por 4 preguntas, el resultado fue 3 puntos, quiere decir que tiene una implementación “Media”. El subsistema de las organizaciones privadas no lucrativas de investigación compuesto por 5 preguntas, el resultado

fue 5 puntos, quiere decir que tiene una implementación “Alta”. Finalmente, el subsistema de las redes de colaboración compuesto por 3 preguntas, el resultado fue 2 puntos, quiere decir que tiene una implementación “Medio”. En el cuadro No 6, se puede observar el resultado final de la evaluación por subsistemas.

**Cuadro 6**

*Resultado Final*

Sistemas	Calificación	Escala
<b>Empresa</b>	28	Alto
<b>Individuos</b>	3	Bajo
<b>Universidades</b>	3	Medio
<b>Privado No lucrativo</b>	5	Alto
<b>Redes de colaboración</b>	2	Medio
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>Medio</b>

*Fuente: Elaboración del autor.*

**Tabla de evaluación**

Con base en lo anterior se puede observar en la tabla de evaluación “Cuadro No 7: Tabla de evaluación” que de acuerdo al total de las preguntas 63 en total; la empresa “X” obtuvo un puntaje de 41, se puede catalogar que la institución tiene un nivel de implementación “Medio” en el uso de todas sus “Fuentes de Innovación”.

**Cuadro 7**

*Tabla de evaluación*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
											Nivel	Bajo										
<b>Escala Total</b>	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
											Nivel	Medio										
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	
											Nivel	Alto										

*Fuente: Elaboración del autor.*

**Conclusiones**

Las fuentes de innovación dan lugar a la definición e implementación de procesos de cambio y resultados, que cuentan con la capacidad humana tangible e intangible, las cuales proporcionan nuevos métodos (modus operandi), para obtener una mejora que proporcione eficiencia y eficacia a las actividades institucionales. Las políticas, estrategias y acciones son otra fuente de la innovación al procurar innovaciones que crean ventajas competitivas, participar a la gente, reducir la burocracia, capacitar, buscar talentos dentro o fuera de la entidad, lograr la satisfacción en el trabajo, mayor comunicación y acceso a la información, rotación de los individuos por diferentes áreas de la entidad, delegar las decisiones y compartir beneficios. Si las personas no tienen problemas para resolver, no desarrollan su creatividad.

Este instrumento fue diseñado para tener una visión integral (completa) de las problemáticas y oportunidades que tiene toda la institución en cuanto a innovación, al hacer el análisis de fuentes de



innovación en todas los departamentos o áreas de la entidad. La meta es que todos los colaboradores sean partícipes, tanto en la generación de ideas, como en la creación de estas, y luego incentivar el espíritu del inventor a través de un programa de desarrollo organizacional que sea diseñado para tal fin. Aunque al inicio, algunos colaboradores observaran la innovación como la posible salida y solución a necesidades internas de los diferentes procesos de la institución; es vital entonces que cada una de las personas que hacen parte de la organización, tengan claro que para obtener resultados positivos se deben analizar a fondo muchas problemáticas y, a posteriori estudiar la importancia de cada una de estas en la misión general de la entidad.

### Referencias

- Argote, L., Ingram, P., Levine, J. M., & Moreland, R. L. (2000). Knowledge transfer in organizations: Learning from the experience of others. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 1–8.
- Berrocal, V. B., & Segura, J. T. (2008). La gestión de la innovación como ventaja competitiva sostenible. *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, 1849–1858. Retrieved from [http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/TECHNOLOGICAL\\_AND\\_ORGANIZATIONAL\\_INNOVATION/1849-1858.pdf](http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/TECHNOLOGICAL_AND_ORGANIZATIONAL_INNOVATION/1849-1858.pdf)
- Castellanos, O. F. (2007). *Gestión Tecnológica, De un endoque tradicional a la inteligencia*. Mendeley Desktop. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Colombia), O. C. D. (Universidad N. de. (2007). *Gestión tecnolóGica: de un enfoque tradicional a la inteligencia*. Bogotá D.C. – Colombia.
- Drucker, P. (2014). *Innovation and entrepreneurship*. Claremont, California: Routledge.
- Dyer, J. H., & Nobeoka, K. (2000). Creating and Managing a High-Performance Knowledge-Sharing Network: The Toyota Case. *Source: Strategic Management Journal*, 21(21), 345–367. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(200003\)21](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(200003)21)
- Felipe, J., Vargas, H., Escobar, J. F., & Bedoya, I. B. (2015). Propuesta de proceso de gestión de la innovación para la formación basada en proyectos. *IV Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación*, (October).
- Hagedoorn, J. (2002). Inter-firm R&D partnerships: an overview of major trends and patterns since 1960. *Research Policy*, 31(4), 477–492.
- Imai, K., & Baba, Y. (1991). Systemic innovation and cross-border networks: transcending markets and hierarchies to create a new techno-economic system. *International Seminar on Science, Technology and Economic Growth*.



- Innovare. (2015). Club de Innovacion 2015. Bogotá D.C. – Colombia.
- López, M. del S., Mejía, J. C., & Schmal, R. (2006). Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama Socioeconómico*, 24(32).
- Morales, M., & León, A. (2013). *Adios a los mitos de la innovación*.
- Navarra, C. E. de E. e I. de. (2010). Herramientas De Gestión De La Innovación, 10.
- Powell, W. W., Koput, K. W., Smith-Doerr, L., & Owen-Smith, J. (1999). Network position and firm performance: Organizational returns to collaboration in the biotechnology industry. *Research in the Sociology of Organizations*, 16(1), 129–159.
- Restrepo, Y. G. (2017). Exploración de Fuentes de Innovación y creación de una Unidad de I+D+i empresarial en el Sector de la Construcción e Infraestructura.
- Robledo, J. (2013). Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación, 184,190. [https://doi.org/FME/616.89 VAL int \(edición del 77\)](https://doi.org/FME/616.89 VAL int (edición del 77))
- Rothwell, R. (1974). The ‘Hungarian saphho’: some comments and comparisons. *Research Policy*, 3(1), 30–38. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(74\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0048-7333(74)90016-X)
- Ruiz, S., & Herrera, J. F. (2010). Gestión de la Innovación. *Alianza Por La Innovación*, 98. Retrieved from <http://www.gecyt.cu/redcapitalhumano/libros/libro5.pdf>
- Schilling, M. A. (2014). Strategic Management of Technological Innovation. *International Edition, McGraw-Hill, New York, NY*.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1993). Investing in Creativity. *Psychological Inquiry*, 4(3), 229–232. [https://doi.org/10.1207/s15327965pli0403\\_16](https://doi.org/10.1207/s15327965pli0403_16)
- Szulanski, G. (2000). The process of knowledge transfer: A diachronic analysis of stickiness. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 9–27.
- Thomas, R. J. (1996). *New product success stories: Lessons from leading innovators*. John Wiley & Sons. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(96\)90186-1](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(96)90186-1)
- Von Hippel, E. (1987). Cooperation between rivals: Informal know-how trading. *Research Policy*, 16(6), 291–302. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(87\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0048-7333(87)90015-1)
- Von Hippel, E. (2001). Innovation by User Communities: Learning from Open-Source Software. (cover story). *MIT Sloan Management Review*, 42(4), 82–86. <https://doi.org/Article>



*Hélice Buque Mercante . Flota Grancolombiana*

---

## ANÁLISIS DEL DESARROLLO, EXPLOTACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS INTERESES MARÍTIMOS DE COLOMBIA DURANTE EL SIGLO XXI

### Analysis of development, exploitation and protection of maritime interests of colombia during the 21st century

Francisco Javier Torres Ramírez<sup>1</sup>  
Norman Tejada Sánchez<sup>2</sup>

Recibido: 24/05/2018  
Aceptado: 10/10/2019

#### Resumen

Es importante analizar la situación del desarrollo marítimo de Colombia durante el siglo XXI con el fin de determinar las fortalezas y debilidades que se han tenido con referencia a este tema que afecta significativamente el crecimiento económico, social y político del país. El método empleado fue de tipo descriptivo ya que se especificaron propiedades y características que impactan el desarrollo marítimo del país. Asimismo, se utilizaron diferentes fuentes de información como textos, manuales, noticias e información dispuesta en internet, con el fin de recopilar la mayor cantidad posible para un mejor análisis del aprovechamiento de los recursos marítimos del país. Los resultados reflejan la importancia de los océanos para Colombia por la biodiversidad y cantidad de recursos naturales. Para lo anterior, la Armada Nacional juega un rol determinante como garante de la formación y capacitación necesaria de sus miembros, y de la consecución de los medios para garantizar la defensa de los intereses marítimos del país.

**Palabras clave:** Desarrollo marítimo, biodiversidad, formación, intereses marítimos.

#### Abstract

It is important to analyze the situation of the maritime development of Colombia during the 21st century in order to determine the strengths and weaknesses that have been had with the reference to this issue that is related to the economic, social and political growth of the country. The method used was of a descriptive type that will specify properties and characteristics that impact the maritime development of the country. Likewise, different sources of information are used, such as texts, manuals, news and information on the Internet, in order to collect as much as possible for a better analysis of the use of the country's maritime resources. The results of the importance of the oceans for Colombia for biodiversity and the quantity of natural resources. For this, the National Navy plays a decisive role as guarantor of the training and maintenance capacity of its members, and the achievement of the means to guarantee the defense of the maritime interests of the country

**Keywords:** Maritime development, biodiversity, training, maritime interests

<sup>1</sup> Profesional en Ciencias Navales, Estudios de pregrado en Oceanografía Física, Tecnólogo Naval en Buceo y Salvamento Marítima y Fluvial. [Francisco.torres.ra@armada.mil.co](mailto:Francisco.torres.ra@armada.mil.co)

<sup>2</sup> Magister en Logística Integral, Administrador Marítimo y Profesional en Ciencias Navales. [Norman.tejada@armada.mil.co](mailto:Norman.tejada@armada.mil.co)

## Introducción

Colombia es un país privilegiado por su ubicación geográfica que le permite ser bioceánico y contar con diferentes y abundantes recursos naturales, hecho que atrae la atención de otros países. Esta posición, en la esquina noroeste de Suramérica es un punto estratégico en la zona tropical con límite por el norte con Panamá y el mar Caribe, por el oriente con las repúblicas de Venezuela y Brasil y por el sur con las repúblicas de Perú y Ecuador quedando en el occidente el Océano Pacífico. Sin embargo, también hay fronteras marítimas con países en la región (ESDEGUE, 2017).

Lo anterior le confiere al país unas potencialidades y unas características de punto tropical estratégico que significa un gran potencial marítimo y de oportunidades que le permite aprovechar un desarrollo a nivel oceánico, político, social, cultural y económico (Armada Nacional, 2015).

La gestión integral en el territorio marítimo le genera a Colombia un liderazgo regional con beneficios indudables para los colombianos y todo el continente americano.

Sin embargo, es una realidad que Colombia ha vivido la mayor parte del tiempo de espaldas al mar (Serrano); el haber convivido por mucho tiempo con un modelo cerrado, en el que la ineficiencia y la burocratización fueron el principal sinónimo de desarrollo, llevaron a desaprovechar esas condiciones naturales y de ventaja competitiva que dentro de la teoría comercial y económica eran el motor de desarrollo. Las políticas económicas se ven en la necesidad de replantear su estrategia y se acondicionan con visión en el mercado internacional. Es así, que se produce una gran revolución en el papel que venía cumpliendo el sector público en el manejo de los puertos en el país. Sin duda, se evidenció la falta de visión de los gobernantes del pasado afectando directamente en el desarrollo marítimo y progreso del país (Córdoba, 1995).

En consecuencia, es imperativo llevar a cabo este artículo donde se hace un análisis referente al desarrollo marítimo que ha tenido Colombia en el siglo XXI, con miras a determinar la situación actual en los diferentes aspectos que aportan al progreso del país en este ámbito con el fin de generar una conciencia marítima que permita sembrar una semilla en cada lector en busca de una mejora continua e impactar positivamente el avance de este país que tanto lo necesita.

También es válido mencionar, que la falta de visión no ha sido solo de los gobernantes, sino también de un gran porcentaje de los ciudadanos que carecen de conciencia marítima desconociendo los diferentes tratados que limitan los espacios marítimos con los diferentes Estados, los diferentes recursos que el mar provee, la importancia de proyectar leyes hacia el mar, incentivar y promover la investigación en el mar, entre otros (Agustín, 1958). El problema base ha sido la falta de visión y la corrupción que pone por encima los intereses particulares de los “líderes” del país, en vez de priorizar los intereses de los ciudadanos.



Para llevar a cabo este artículo, el método usado es de tipo descriptivo ya que se analizan las características importantes que comprenden el desarrollo marítimo del país, recolectando información de diferentes fuentes y dando un punto de vista particular para finalmente obtener las conclusiones referentes al progreso en materia marítima que ha tenido Colombia (Hernandez, 2014).

## Desarrollo y Discusión

### Colombia y su ubicación estratégica

Colombia cuenta con una extensión territorial de 2.070.408 km<sup>2</sup> de los cuales 928.660 km<sup>2</sup> (44,86%) corresponden a territorio marítimo. El mar Caribe representa un 28,46% de esa extensión y el océano Pacífico el 16,40% restante. Asimismo, la línea de costa se extiende por 3.189 km, de los cuales 1.600 son en el Caribe y 1.589 en el Pacífico. Los límites marítimos de Colombia en el mar Caribe son ocho: Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, Haití, República Dominicana y Venezuela; en el Pacífico limita con tres países: Panamá, Costa Rica y Ecuador (ESDEGUE, 2016) .

Es evidente que el territorio nacional posee una gran riqueza representada en variedad de recursos que pueden ser aprovechados de manera sustentable, con el fin de incidir directamente en la población y, por tanto, en el desarrollo socioeconómico del país. Asimismo, este amplio territorio tiene un potencial de energías alternativas, y es fuente de descubrimientos insospechados en su profundidad tanto en el Caribe como en el Pacífico (Universidad de Antioquia, 2019).



Figura 1. Extensión Marítima de Colombia.

El espacio marítimo nacional, las costas, las regiones insulares y el territorio marítimo jurisdiccional son elementos constitutivos del Estado. Así lo establece la Constitución Nacional en su artículo 101, en el cual dictamina que forman parte de Colombia, además del territorio continental, el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, la isla de Malpelo, además de las islas, islotes, cayos, morros y bancos que le pertenecen. También son parte de

Colombia el subsuelo, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental y la zona económica exclusiva (ESDEGUE, 2016).

### **Rol de la Armada Nacional en el Desarrollo, Explotación y Protección de los Intereses Marítimos de Colombia durante el Siglo XXI**

Es responsabilidad del gobierno a través de la Armada Nacional, ejercer control y soberanía en todos los espacios marítimos. Para lo anterior es necesario tener los medios los cuales son los buques, submarinos y helicópteros, los cuales se traducen en el poder naval para garantizar la protección de los recursos marítimos y disuasión a otros Estados (Armada Nacional, 2017).

Los intereses marítimos es posible definirlo como el conjunto de beneficios de carácter político, económico, social y militar que obtiene una nación de todas las actividades relacionadas con el uso del mar. Las labores las realizan tanto el Estado como los privados en la alta mar, aguas jurisdiccionales, fondos marinos y litoral con la finalidad de aprovechar sus facilidades y explotar los recursos contenidos en ellos. Los componentes de los intereses marítimos son el tener una marina mercante nacional, terminales marítimos, comercio exterior, flota pesquera, buques e infraestructura de investigación científica oceánica, industria naval, establecimientos de explotación de las aguas y fondos marinos, deportes náuticos y cruceros marítimos. La comunidad humana tiende a desarrollar sus labores en su entorno natural, la tierra. A fin de explotar el mar en toda su amplitud y profundidad, el pueblo junto con los gobernantes requiere de una vigorosa conciencia marítima. Este constituye el conocimiento cabal y reflexivo del mar y sus proximidades, tanto sobre su real naturaleza como de sus posibilidades políticas, económicas, sociales y militares. Cuando la geografía lo permite, la conciencia marítima facilita la labor de orientar a la nación hacia un destino oceánico y convertirlo en una potencia marítima próspera y pujante (Terzago, 2005).

El poder marítimo es básicamente los intereses del Estado proyectados en el mar con la protección y seguridad por parte del poder naval (Till, 2007). Para este punto, la Armada Nacional ha implementado el Plan Puente, por medio del cual se busca completar los medios para garantizar una cobertura y sostenibilidad efectiva del entorno marítimo, y el Plan Faro cuyo objetivo es renovar el material naval estratégico hasta el 2030 (CCO, 2018). En consecuencia, desde inicios del siglo XXI, la Institución ha avanzado en proyectos de modernización de las diferentes unidades y equipos para así, continuar ejerciendo soberanía y proteger las operaciones marítimas a través del fortalecimiento de las capacidades.

Entendiendo los anteriores conceptos, se puede hacer un análisis de la misión de la Armada Nacional la cual es: “contribuir a la defensa de la Nación a través del empleo efectivo de un poder naval flexible en los espacios marítimos, fluvial y terrestre bajo

su responsabilidad, con el propósito de cumplir la función constitucional y participar en el desarrollo del poder marítimo y en la protección de los intereses de los colombianos” (Armada Nacional, 2015).

Por otra parte, la visión de la Institución reza que: “para el año 2030 la Armada Nacional será una Armada mediana de proyección regional; con fuerza defensiva oceánica, garante de los intereses marítimos de la Nación y con capacidad de realizar operaciones de Seguridad Marítima dentro de la Zona Económica Exclusiva, Seguridad Fluvial y de Guerra Naval en los teatros de Operaciones establecidos, sirviendo de apoyo a la política exterior del gobierno nacional, así como contribuir al desarrollo tecnológico, científico, social y económico de la Nación” (Armada Nacional, 2015).

Con la misión y la visión de la Armada Nacional, se puede determinar que la Institución con apoyo de la Comisión Colombiana del Océano y la Dirección General Marina, apunta al desarrollo, explotación y protección de los intereses marítimos en pro del progreso significativo del país con el fin de mejorar el estilo de vida de los ciudadanos; sin embargo, debe ser interés de los gobernantes la implementación de políticas enfocadas hacia este aspecto.

Ahora bien, es importante entender a qué se refiere la visión cuando menciona “Armada mediana con proyección regional”. (Pearkes, 2001) refiere que hay una clasificación por rangos de 1 a 9 de las Armadas a nivel mundial siendo 1 la más completa por su poder naval. Por ejemplo, el rango 1, es una marina capaz de llevar a cabo todos los roles de las fuerzas navales en una escala global. Entre sus medios, cuenta con portaviones y capacidades anfibas, capacidades de ataque nuclear y misiles balísticos desde submarinos, y todo lo anterior en cantidades suficientes para llevar a cabo operaciones en varios puntos geográficos a la vez, en este caso solo Estados Unidos cuenta con los medios. La Armada de Colombia se ubica en el rango 4, el cual se refiere a Marinas que cuentan con la habilidad de proyectar la fuerza principalmente de forma cooperativa, el control del mar es limitado, puede ejercer seguridad nacional y vigilancia, y ayuda humanitaria. En este orden de ideas, es posible afirmar que la Armada ha enfocado sus esfuerzos al cumplimiento de las actividades mencionadas anteriormente, con operaciones de apoyo humanitario, operaciones de control del mar en los espacios marítimos, e inclusive desarrollo de operaciones de entrenamiento a nivel internacional como la operación RIMPAC 2014 llevada a cabo en Hawái, donde participó un buque de la Armada Colombiana en el desarrollo de los diferentes ejercicios con unidades de superficie de otros países (W Radio, 2014).

La Armada Nacional como medios para el cumplimiento de la misión, cuenta principalmente con las Fragatas Misileras Ligeras FS-1500 clase “Almirante Padilla” y Buques Patrulleros Oceánicos. En la Fuerza submarina se operan submarinos oceánicos U-209 y U-206 de fabricación alemana y submarinos tácticos SX-506



para operaciones especiales. La Aviación Naval está compuesta por aeronaves de ala rotatoria y fija para transporte, inteligencia de señales, guerra electrónica y guerra antisubmarina. Finalmente, el Comando de Infantería de Marina y las Brigadas Fluviales operan diversos buques de patrullaje y combate fluvial, algunos de ellos de fabricación nacional (COLCIENCIAS,2013).

Con el fin de aumentar la capacidad militar en el mar, la Armada Nacional ha estado trabajando en el proyecto “Plataforma Estratégica de Superficie”, con el fin de evolucionar en cuanto a capacidades para ejercer un mejor control marítimo y defensa de la soberanía nacional. Es un buque capaz de operar en cualquier parte del mundo, en tiempo de paz o de guerra y en conflictos de alta intensidad o asimétricos pudiendo por ello enfrentar o afrontar múltiples amenazas (Saumeth, 2015). Este es un proyecto que va a comprometer al menos 15 o 20 años de trabajo y el objetivo es la producción de cuatro fragatas construidas en Colombia (Martínez, 2017). Lo anterior es determinante para el desarrollo marítimo del país y además se adquiere la capacidad de tener una industria marítima que pueda producir sus propios buques. En Colombia, la Corporación de Ciencia y Tecnología para el desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial COTECMAR, hace este estratégico rol, siendo una organización innovadora que trabaja en el campo de la investigación científica y tecnológica impactando positivamente la economía del sector marítimo; trabajan en el diseño y construcción de plataformas navales personalizadas a las necesidades de cada cliente, hasta la reparación y mantenimiento de embarcaciones con los más altos estándares de calidad, tecnicismo y capacidad de respuesta en tiempos oportunos (COTECMAR, 2016). Esto permite que el país sea un referente a nivel mundial por el crecimiento y capacidades debido a la construcción de buques. Un ejemplo de esto, es la venta de Buques de Apoyo Logístico y Cabotaje a otros países de la región como Perú y Paraguay (Infodefensa, 2017).

Otro punto a resaltar, ha sido las cinco expediciones a la Antártida realizadas por la Armada de Colombia. Ese continente es un territorio que se encuentra al extremo sur del planeta y tiene un valor estratégico altísimo al albergar aproximadamente el 80% de las reservas de agua dulce de la tierra. Asimismo, está catalogada como uno de los principales reguladores del clima mundial donde convergen todos los océanos (CCO, 2018). Colombia ratificó el tratado Antártico mediante Ley 67 de 1988 con el fin de fortalecer el desarrollo científico y la presencia en el área (Cancillería, s.f.).

El interés de consolidar una presencia efectiva en el continente austral radica en entender las conexiones que el país posee con ese territorio; ejemplo de ello es lo que ha indicado el estudio de las grandes migraciones de las ballenas jorobadas que nacen en el Pacífico colombiano y en su recorrido llegan a múltiples áreas de alimentación en la Antártida. Existen otras conexiones no tan evidentes como las masas de aguas antárticas que tienen influencia en territorio colombiano, cuyas consecuencias solo podrán ser identificadas y medidas a través de la investigación científica (CCO, 2018). De igual modo el desarrollo Científico de la Armada Nacional, impacta positivamente diferentes sectores

de la sociedad, permitiendo a los colombianos, contar con una Fuerza dinámica, lista para enfrentar los nuevos retos de la sociedad, en un entorno cambiante y evolutivo. por esto, la Armada Nacional debe estar lista para apoyar a la población en caso de desastres naturales, generando desarrollo fluvial y marítimo y por lo tanto mayor riqueza para los colombianos (COLCIENCIAS, 2013).

Es justo resaltar el gran trabajo que hace la Dirección General Marítima contribuyendo activamente al fortalecimiento del poder marítimo del país garantizando la seguridad integral marítima, la protección de la vida humana en el mar, la promoción de las actividades marítimas, el fortalecimiento de la marina mercante, desarrollo científico y tecnológico de la Nación y el ejercicio de la autoridad en el territorio marítimo y costero (Dirección General Marítima, 2019).

Referente a la actividad portuaria en el país, la cual impacta también la economía, en los últimos años se ha visto un incremento considerable donde los terminales marítimos colombianos se han convertido en referentes regionales y acreedores de reconocimiento internacional en calidad (CCO, 2018). La siguiente imagen, hace referencia al número de toneladas exportadas desde Colombia por los diferentes medios de transporte en el año 2014; se puede apreciar que más de 143 millones de toneladas vía marítima fueron exportadas en el año 2014 viéndose un incremento año tras año; asimismo, comparado con los otros modos de transporte, por vía marítima, corresponde al 98,2% de la carga exportada en 2014.

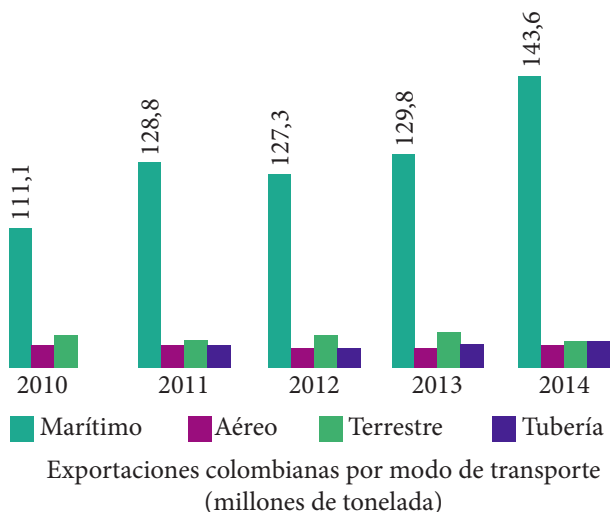


Figura 1. Extensión Marítima de Colombia.

En cuanto al tema del transporte marítimo o marina mercante, el país contó durante unos 50 años con la Flota Mercante Gran Colombiana que brindó estabilidad al comercio del café mediante un transporte marítimo seguro y eficiente a todos los puertos del mundo. Además, fue impulsora de exportaciones no tradicionales del país como banano, algodón y abono entre otros. Hoy día las navieras como NAVESCO y COREMAR prestan servicios de transporte marítimo y sus buques son tripulados por oficiales mercantes colombianos. Sin embargo, los altos costos de los fletes que tienen que pagar los exportadores cuando utilizan el transporte naviero hacen que en los últimos tiempos se quiera conformar de nuevo la Flota Mercante nacional, necesidad que fue planteada por la Comisión Económica para América Latina, CEPAL, la cual explicó en el caso colombiano el fenómeno de los costos logísticos y sus repercusiones en el comercio exterior (Camelo, 2011). Debido a lo anterior, es pertinente que el gobierno oriente sus esfuerzos a la conformación de una Marina Mercante Nacional la cual es determinante para el desarrollo de la economía nacional y otorga la capacidad para influenciar la toma de decisiones dentro de la comunidad marítima internacional, constituyendo una reserva estratégica de la marina de guerra del país (CCO, 2018).

La Armada Nacional a través de la Escuela Naval, aporta en la formación de Cadetes Mercantes los cuales permanecen cuatro años capacitándose en la especialidad de Puente e Ingeniería para desarrollar su actividad profesional a bordo de los buques mercantes nacionales e internacionales o trabajando en las diferentes entidades públicas o privadas relacionadas con actividades de transporte marítimo, portuario y conexas al comercio exterior. Al finalizar su proceso de formación se convierten en profesionales en ciencias náuticas y al graduarse obtienen el título de Oficial de la Reserva Naval (Armada Nacional, 2017).

Otro tema es la pesca, la cual es una actividad que se ha desarrollado en el país haciendo parte de la seguridad alimentaria de las poblaciones costeras. En el 2012 la pesca como sector productivo tenía una participación de un 0,17% del Producto Interno Bruto, sin embargo, el comportamiento ha mantenido una tendencia decreciente, ya que la contribución del mismo en el 2004 era de 0,22%. Si bien el impacto de esta actividad en el PIB no es altamente representativo, la participación en el empleo sí lo es. De acuerdo con la información recolectada por una encuesta del DANE, para el 2013 el grupo poblacional que se encontraba vinculado al sector de pesca y acuicultura correspondió a 1.439.778 personas. La importancia de productos pesqueros y de acuicultura se ha incrementado en el transcurso de 2004 – 2013, dado que pasó de US\$ 33.174.000 a US\$224.910.000 en dicho periodo (CCO, 2018). Esto es uno de los tantos recursos que se pueden explotar de forma adecuada en pro del progreso económico del país. Sin embargo, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural establece unas cuotas de pesca de las diferentes especies año tras año con miras a proteger las mismas y que no haya una sobreexplotación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

En Colombia existe en la actualidad una flota pesquera muy incipiente por lo que los

recursos que tenemos disponibles en ambos océanos no se aprovechan de manera óptima, perdiéndose una gran posibilidad de producir no solo alimento del mar para el país, sino que además se pierde la oportunidad generar puestos de trabajo para una importante cantidad de pescadores y tripulantes de buques pesqueros. Así mismo no se genera infraestructura en puertos pesqueros por lo que allí también se pierden oportunidades para trabajadores que se dedican a la conservación, transformación y comercio de productos de la pesca.

Sin embargo, existe un tema que preocupa a las autoridades y entidades relacionadas con los asuntos del mar en Colombia y es el tema de pesca ilegal, no declarada y no reglamentada, en la mayoría de las ocasiones ejercida por embarcaciones extranjeras sin permiso de autoridad colombiana. Esta actividad ilícita preocupa a las autoridades marítimas y de pesca y con respecto al mismo se está trabajando en la identificación de las estrategias que puedan ser más efectivas a la hora de enfrentar este asunto. Algunos gremios de pescadores coincidieron en que la informalidad de la actividad se da por la debilidad institucional, pues existen leyes, pero no las herramientas administrativas para salir de la ilegalidad. También, afirmaron que las instituciones han dirigido sus acciones a penalizar la actividad ilícita y no a prevenirla en pro del desarrollo de prácticas responsables de la pesca (COLPRENSA, 2017). El gobierno debe incentivar el ejercicio de la pesca como un generador de desarrollo del país y más aun siendo un interés marítimo.

Por otra parte, cuando se habla de patrimonio cultural colombiano, se refiere al legado que nos ha dejado nuestros ancestros y que seguirán existiendo como herencia a las nuevas generaciones; está constituido por la expresión de la nacionalidad colombiana, tales como las costumbres y hábitos, en especial el interés histórico, científico, simbólico, artístico, urbano, lingüístico, musical, arquitectónico, literario, bibliográfico, entre otros; así como los bienes materiales e inmateriales, tales como las presentaciones culturales y productos de suma importancia (Hablemos de Cultura, s.f.). Por lo anterior, se sabe también de una gran riqueza sumergida en el fondo de nuestros océanos que forma parte de los intereses marítimos de la nación. Uno de estos patrimonios que más ha dado de que hablar ha sido el Galeón San José, el cual fue hundido cerca de las costas de Cartagena de Indias en junio de 1708, y se presume tiene junto con sus restos, varios lingotes de oro (COLPRENSA, 2018).

En el año 2015, la Armada Nacional junto a un grupo de científicos internacionales, hallaron el galeón español hundido en el mar Caribe, constituyéndose como uno de los más grandes hallazgos e identificaciones de patrimonio sumergido, sino el más grande en la historia de la humanidad (EL MUNDO, 2015). Hoy en día, el Gobierno está trabajando en definir cómo será la extracción de los restos de la embarcación. Este patrimonio constituye para Colombia un interés marítimo de alto valor cultural, económico e histórico.

En cuanto al turismo náutico, el país ha venido lentamente impulsando esta actividad la cual debe ser parte fundamental de los intereses marítimos. Para fomentar esta actividad clave, se debe crecer aún más en cuanto a infraestructura náutica con la creación de marinas

las cuales también permiten el crecimiento laboral y motiven a los embarcaciones de países vecinos a que Colombia sea un puerto ideal que cuenta con todos los medios para satisfacer una necesidad que se pueda presentar de mantenimiento o demás (Prensa CCO, 2017).

El turismo de cruceros también debe ser un interés marítimo y en este punto ha crecido a pasos agigantados y las cifras los sustentan, tanto así que durante el primer semestre del 2018, llegaron al país alrededor de 234 cruceros, un incremento del 341% en comparación con los 53 cruceros que arribaron a Colombia en el 2006. E el mundo existen alrededor de 50 líneas de cruceros y más de la mitad llegan al país. Lo anterior promueve el turismo e impacta positivamente la economía (SEMANA, 2018).

### **La Importancia en la Formación de los Futuros Oficiales Navales**

El Vicealmirante alemán Wolfgang Wegener, como se citó en (Aguirre), mencionó que “La Marina debe ilustrar a la política respecto a lo imperioso de ser potencia naval. Estos pensamientos no pueden partir de nadie más que de los oficiales de marina; ellos son los únicos que saben y se hacen culpables si no luchan por extender esta comprensión. Para la futura grandeza del Estado, debemos aprender a ver los asuntos de esta tierra con el concepto político mundial, es decir marítimo, en lugar de hacerlo con el concepto continental. Esta frase magnifica la importancia del rol del oficial naval en cualquier marina, siendo el garante de la expansión en cuanto a conciencia marítima se refiere. En consecuencia, es imperativo la formación integra de los oficiales para que el día de mañana, ostentando los más altos cargos en la Armada, puedan influir en las decisiones del gobierno y así aportar al desarrollo marítimo del país.

Para que el país tenga un progreso y un desarrollo significativo, es importante formar personas en los ámbitos marítimos capaces de asesorar a los gobernantes en estos temas para una toma de decisiones correcta que apunte a proyectar los intereses del Estado en el mar. Los oficiales navales son los responsables por velar para que Colombia sea un país marítimo y reconocido a nivel mundial. Para lo anterior, se debe incentivar la conciencia marítima, definida como el conocimiento exacto y reflexivo sobre el mar y sus proximidades tanto de su naturaleza como de sus alcances políticos, económicos y sociales (Ríos). En Colombia, se puede inferir que se inició a tener conciencia marítima de una manera forzada debido al conflicto con el Perú en 1932, obligó al gobierno del momento a invertir en la adquisición de unidades navales con el fin de incrementar el poder naval para suplir las necesidades del conflicto. Al termino del mismo, se vio la necesidad de contratar oficiales navales británicos para la formación de oficiales del Ejército de Colombia en la parte naval y la reactivación de la Escuela de Formación Naval en Cartagena (Atehortúa, 2007). Lo anterior demuestra que la Armada Nacional nunca fue una prioridad o visión de los gobernantes de la época. Es quizás uno de los motivos por el cuál Colombia es un país subdesarrollado. Poco a poco se ha venido entendiendo, que los océanos son el mayor ecosistema de nuestro planeta ya que regulan el cambio climático y sostiene la economía,

la alimentación, la salud, el bienestar, el suministro de agua y la energía en todo el mundo (Semanario Voz, 2018).

Lo anterior, es posible afirmar que ha sido debido a la falta de preparación y educación de personas en el ámbito marítimo en nuestro país. La educación es el proceso mediante el cual la sociedad decide sembrar la semilla de la fe, el conocimiento y la sabiduría, con el fin de aportar significativamente generación tras generación en el desarrollo de una sociedad o un país (Educación de Calidad, 2012).

En Colombia, la formación marítima la lidera la Armada Nacional a través de la Escuela Naval. Sin embargo, hay dos universidades en el país que cuentan con carreras de posgrado como lo es la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano con el programa de Biología Marina (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, s.f.), y la Universidad de Antioquia con su programa Ingeniería Oceanográfica (Universidad de Antioquia, 2019). Es imperativo que más instituciones educativas fomenten y generen programas e la formación marítima para que más personas tengan acceso y se incrementen las competencias y el conocimiento en esta área.

### **Conclusiones y Recomendaciones**

La Armada Nacional debido al cumplimiento de la misión, brindando una mayor seguridad y protección a los intereses de los colombianos, ha mantenido la segunda mejor imagen de favorabilidad en el país con un porcentaje del 83 %, lo cual indica el nivel de receptibilidad y aprecio por parte de la población (El Tiempo, 2015).

Una clara conciencia marítima es ingrediente insustituible del desarrollo nacional, pues tiene relación indisoluble con los intereses marítimos, es decir, todas las actividades que en la actualidad desarrollan tanto el Estado como los particulares para llevar a cabo el aprovechamiento del litoral y las aguas marinas sometidas a la jurisdicción nacional, y que comprende todos los recursos naturales marítimos en ellas contenidos, que pueden generar beneficios estratégicos, económicos, sociales y culturales para los colombianos.

Tarde o temprano, nuestro país tendrá que buscar en sus mares una importante fuente, y medio de aprovisionamiento para el hoy y el mañana, y por ello es indispensable mantener y desarrollar vínculos con todos los países, ya que en esta estrategia se involucran factores económicos, ideológicos y soberanos que deben ser aprovechados teniendo en cuenta la situación geográfica privilegiada y diversidad de recursos.

En esencia, lo que Colombia debe buscar, con relación a los mares que bañan sus costas, es el alcanzar un desarrollo económico favorable para el país y de protección de los intereses marítimos, en pro de la comunidad nacional y también internacional.

El poder marítimo no solo ayuda a desarrollar la economía sino también sirve como un gran componente militar entendiéndose como la capacidad de un Estado para hacer uso de los océanos, mediante sus acciones políticas, económicas y militares. En consecuencia, se debe seguir mejorando las capacidades de los buques, submarinos y aviones navales con miras a optimizar el cumplimiento de la misión institucional.

Definitivamente es vital, la capacitación y formación en el ámbito marítimo tanto de los oficiales navales ya que, en sus altos rangos, podrán tomar decisiones trascendentales en pro del país; también, es importante la formación de personal civil que puedan aportar desde los diferentes cargos privados o públicos al desarrollo marítimo del país.

Si se logra lo anterior, Colombia será definitivamente un país marítimo que aprovecha los recursos que este medio le brinda creciendo su economía y en general mejorando el bienestar de todos los ciudadanos.

### Referencias

- Aguirre, H. J. (s.f.). *Revista Marina*. Obtenido de <https://revistamarina.cl/revistas/2000/5/justinia.pdf>
- Agustin, J. (Octubre de 1958). *Sociedad Geográfica de Colombia*. Obtenido de Colombia Marítima: [https://www.sogeocol.edu.co/documentos/059\\_col\\_marit.pdf](https://www.sogeocol.edu.co/documentos/059_col_marit.pdf)
- Armada Nacional. (2015). *Plan Estratégico Naval*. Plan Estratégico Naval, 42.
- Armada Nacional. (13 de Julio de 2017). *Cadete Mercante (Masculino - Femenino)*. Obtenido de <http://www.haztemarino.mil.co/node/108>
- Armada Nacional. (2017). *Informe de Gestión*. Obtenido de [https://www.armada.mil.co/sites/default/files/informe\\_de\\_gestion\\_arc\\_2017.pdf](https://www.armada.mil.co/sites/default/files/informe_de_gestion_arc_2017.pdf)
- Atehortúa, A. (2007). *El Conflicto Colombo - Peruano*. Obtenido de Apuntes acerca de su desarrollo e importancia histórica: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4014994.pdf>
- Camelo, A. (2011). *Visión Poder Marítimo*. Bogotá.
- Cancillería. (s.f.). *Antartic Affairs*. Obtenido de <https://www.cancilleria.gov.co/en/politica/asuntos-antarticos>
- CCO. (2018). *Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros PNOEC*. Bogotá: Secretaría Ejecutiva CCO.



- COLCIENCIAS. (2013). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación en Seguridad y Defensa*. Bogotá.
- COLPRENSA. (01 de Enero de 2017). *El Universal*. Obtenido de Las Preocupaciones que deja la Pesca Ilegal en el País: <https://www.eluniversal.com.co/colombia/las-preocupaciones-que-deja-la-pesca-ilegal-en-el-pais-243541-PWEU352519>
- COLPRENSA. (4 de Junio de 2018). *La Opinión*. Obtenido de Galeón San José, no Todo lo Hundido es Patrimonio: <https://www.laopinion.com.co/cultura/galeon-san-jose-no-todo-lo-hundido-es-patrimonio-155693#OP>
- Córdoba, J. (23 de Enero de 1995). *El Tiempo* . Obtenido de Puertos: Clave del Crecimiento Económico: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-295927>
- COTECMAR. (2016). *Quienes Somos*. Obtenido de <https://www.cotecmar.com/quienes-somos>
- Dirección General Marítima. (2019). *DIMAR*. Obtenido de <https://www.dimar.mil.co/que-es-dimar-mision-y-vision>
- Educación de Calidad. (10 de Enero de 2012). *Educación de Calidad*. Obtenido de Educación: El Camino Ideal para Tranformar la Sociedad: <https://www.mineduccion.gov.co/observatorio/1722/article-294241.html>
- EL MUNDO. (05 de Diciembre de 2015). *Hallan en Colombia un Galeón Español Hundido en 1708 con un Millonario Tesoro*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/cultura/2015/12/05/5662fa4722601d22528b461c.html>
- El Tiempo. (06 de Marzo de 2015). *Fuerzas Armadas, con Imagen Favorable Alta, según Encuesta*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15354035>
- ESDEGUE. (2016). *Libro Estrategia Marítima, Evolución y Prospectiva*. Bogotá: Ediciones Escuela Superior de Guerra.
- ESDEGUE. (2017). *El Estado y el Mar*. Bogotá: Ediciones Escuela Superior de Guerra.
- Hablemos de Cultura. (s.f.). *Patrimonio Cultural de Colombia: Inmaterial, Natural, Histórico y más...* Obtenido de <http://hablemosdeculturas.com/patrimonio-cultural-de-colombia/>
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.

- Infodefensa. (30 de Octubre de 2017). *Cotecmar Ultima la Venta de Buques a Perú y Paraguay*. Obtenido de <https://www.infodefensa.com/latam/2017/10/30/noticia-colombiaprimiciales-almirante-carreno-cotecmar-vendera-proximamente-nuevos-buques-apoyo-logistico.html>
- Martínez, M. (17 de Marzo de 2017). *EL UNIVERSAL*. Obtenido de Colombia Construirá Cuatro Fragatas: <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/colombia-construira-cuatro-fragatas-248721-FWEU358782>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Resolución Número 403 de 2018*. Bogotá.
- Pearkes, G. (2001). *Estrategia de las Armadas para el 2020*. Ottawa.
- Prensa CCO. (30 de Marzo de 2017). Noticias. Obtenido de Turismo Náutico en Desarrollo: <http://www.cco.gov.co/cco/prensa/noticias/118-asuntos-economicos/347-turismo-nautico-en-desarrollo.html>
- Ríos, I. (s.f.). *Fomento de la Conciencia Marítima*. Obtenido de <http://www.limcol.org/TimoneraMagazinePdfLM/11/timonera11Fomento%20de%20la%20conciencia%20maritima.pdf>
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill 6 Edición.
- Saumeth, E. (04 de Mayo de 2015). *Infodesensa*. Obtenido de Las Plataformas Estratégicas de Superficie (PES) de la Armada Colombiana: <https://www.infodefensa.com/latam/2015/05/04/opinion-plataformas-estrategicas-superficie-armada-colombiana.php>
- SEMANA. (25 de Junio de 2018). *Internacional*. Obtenido de Colombia se Convirtió en Destino de los Cruceros del Mundo: <https://www.semana.com/nacion/articulo/colombia-es-destino-de-cruceros/572892>
- Semanario Voz. (15 de Mayo de 2018). *Colombia de Espaldas al Mar*. Obtenido de <http://semanariovoz.com/colombia-espaldas-al-mar/>
- Serrano, E. (s.f.). *Planeta Libros*. Obtenido de [https://www.planetadelibros.com.co/libros\\_contenido\\_extra/32/31954\\_1\\_Por\\_que\\_fracasa\\_Colombia.pdf](https://www.planetadelibros.com.co/libros_contenido_extra/32/31954_1_Por_que_fracasa_Colombia.pdf)
- Terzago, J. (2005). *Alfred Thayer Mahan (1840-1914) Contralmirante US Navy, su Contribución como Historiador, Estratega y Geopolítico*. Viña del Mar.

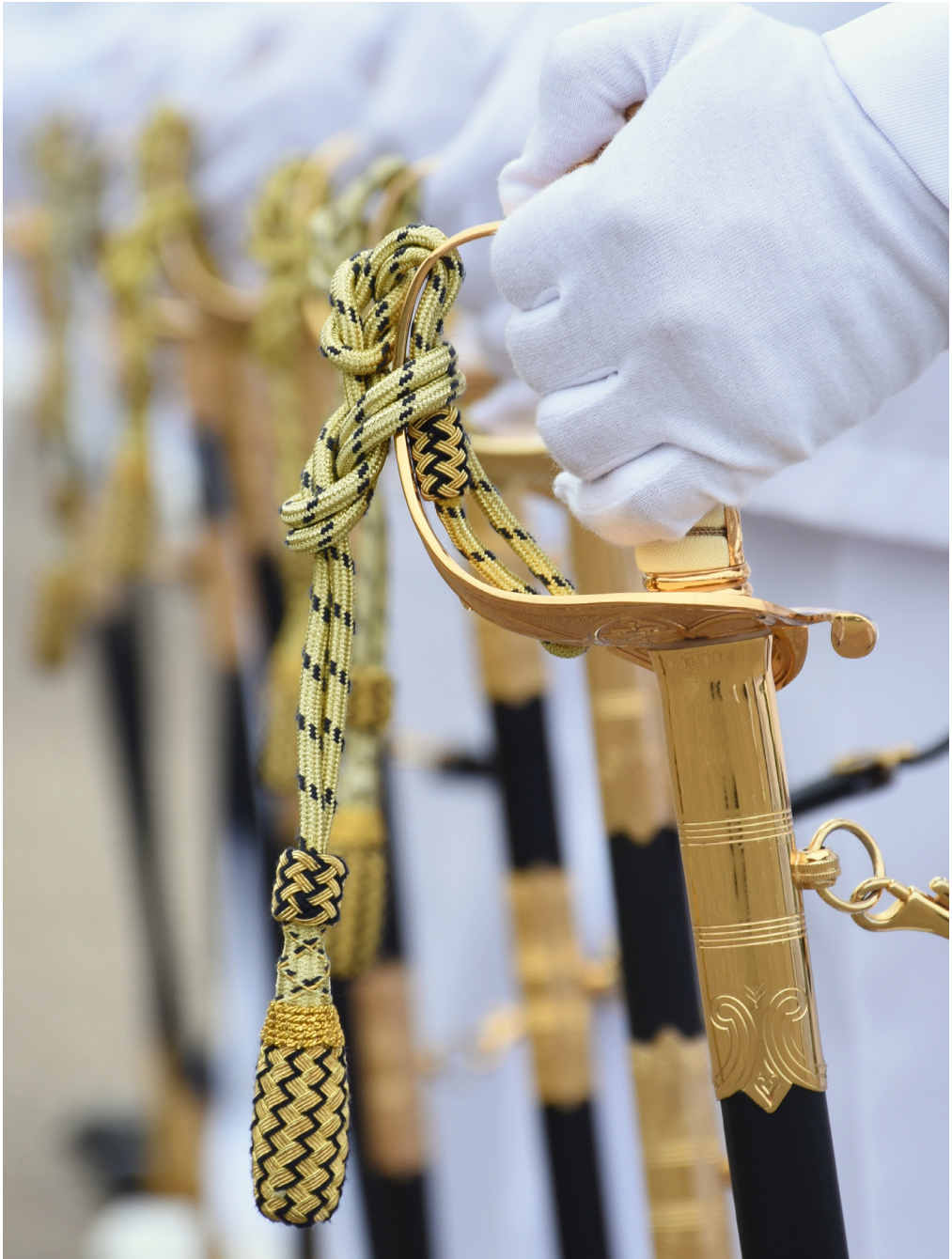
Till, G. (2007). *Poder Marítimo Una Guía para el Siglo XXI*. Buenos Aires: Instituto de Publicaciones Navales .

Univerdidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. (s.f.). UTADEO. Obtenido de Biología Marina: <https://www.utadeo.edu.co/es/facultad/ciencias-naturales-e-ingenieria/programa/bogota/biologia-marina>

Universidad de Antioquia. (12 de Marzo de 2019). Centro Virtual de Noticias. Obtenido de Colombia una Potencia en Energías Alternativas: <https://www.mineduacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>

Universidad de Antioquia. (19 de Marzo de 2019). *Universidad de Antioquia* . Obtenido de [http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/unidades-academicas/facultades/ingenieria/programas-academicos/programas-pregrado/contenido/asmenulateral/oceanografica!/ut/p/z1/1VRdb5swFP0r7UMekc1XgEdGybYsIWmSpoSX6sYY4gkMBRNV\\_fW1N3Va1pYKiZ](http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/unidades-academicas/facultades/ingenieria/programas-academicos/programas-pregrado/contenido/asmenulateral/oceanografica!/ut/p/z1/1VRdb5swFP0r7UMekc1XgEdGybYsIWmSpoSX6sYY4gkMBRNV_fW1N3Va1pYKiZ)

W Radio. (11 de Julio de 2014). *W Radio*. Obtenido de La Armada Nacional Participa en Ejercicios Navales en Estados Unidos: <http://www.wradio.com.co/noticias/internacional/la-armada-colombiana-participa-en-ejercicios-navales-en-estados-unidos/20140711/nota/2317603.aspx>



*Espada Oficial Naval*

---

## MANEJO DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA QUE APOYE LA TOMA DE DECISIONES DENTRO DEL CENTRO DE OPERACIONES LOGÍSTICAS DE LA ARMADA NACIONAL: TECNOLOGÍAS Y MODELOS REFERENTES

### Management of logistic information that supports decision making within the national navy logistics operations center: reference technologies and models

Frank Alberto Vega Yance<sup>1</sup>  
Jairo R Coronado-Hernández<sup>2</sup>  
Cedrid Gómez Torregrosa<sup>3</sup>  
Orlando Zapateiro<sup>4</sup>

Recibido: 18/07/2018

Aceptado: 26/08/2019

#### Resumen

El presente artículo tiene por objeto describir de qué manera funciona el manejo de la información logística dentro de la Armada Nacional colombiana identificando las tecnologías aplicables para un centro de operaciones logísticas militar al momento de realizar una toma de decisiones y la planeación estratégica. Todo lo anterior a través de un estudio correlacional teniendo en cuenta un previo trabajo de vigilancia tecnológica. El trabajo concluye, con la importancia de crear un plan de comunicaciones soportado en la gestión de las TIC's, y la reingeniería de procedimientos en el manejo del flujo de la información. Se encontró la importancia de crear un plan de comunicaciones soportado en la gestión de las TIC's. Cuando se revisó el estado del arte a nivel naciones se encontraron patentes de tecnologías desarrolladas

como sistemas de administración de la información implementados por muchas empresas en Colombia, tal como es el caso de SAP, el cual está brindando las funcionalidades de un software de manejo y gestión de la información logística. También está el software ERP que lo desarrollan diversas empresas y es uno de los más implementados en diferentes países para la administración de sus operaciones organizacionales. Por último, entre otros hallazgos se encontró la experiencia de RELACIGER, un centro de información en Latinoamérica que se encarga de gestionar la logística de emergencia y desastres, lo cual es un caso similar al centro de operaciones logísticas que estudia este proyecto, pero en el ámbito de la logística militar.

**Palabras clave:** : Tecnologías de la información, manejo de la información, Estudio correlacional.

<sup>1</sup> Magister en Gestión Logística. Armada Nacional. Favega77@gmail.com

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería y Producción Industrial. Decano Departamento Gestión Industrial, agroindustrial y Operaciones Corporación Universitaria de la Costa. Jcoronad18@cuc.edu.co

<sup>3</sup> Economista. Maestrante en educación. Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. cedridgomez@gmail.com

<sup>4</sup> Magister en Educación. Catedrático Universidad de ciencias Ambientales y Aplicadas UDCA. Fundación Tecnológico de Bolívar. ozapateiro@hotmail.com

## Abstract

This article aims to describe how logistics information management works within the Colombian National Navy, identifying the applicable technologies for a military logistics operations center at the time of decision-making and strategic planning. All of the above through a correlational study taking into account a previous work of technological surveillance. The work concludes, with the importance of creating a communications plan supported by the management of ICTs, and the reengineering of procedures in the management of the information flow. The importance of creating a communications plan supported by the management of ICTs was found. When the state of the art was reviewed at the national level, patents for technologies developed as information management

systems implemented by many companies in Colombia were found, such as SAP, which is providing the functionalities of management software and management of logistics information. There is also the ERP software that is developed by various companies and is one of the most widely implemented in different countries for managing their organizational operations. Finally, among other findings, the experience of RELACIGER was found, an information center in Latin America that is responsible for managing emergency logistics and disasters, which is a case similar to the logistics operations center that is studying this project, but in the field of military logistics.

**Keywords:** Keywords. Information Technologies, Information management, Correlation study.

## **Introducción**

Hoy en día uno de los mayores retos organizacionales consiste en el desarrollar modelos para un buen manejo de la información, el valor de este es muy alto debido a que afecta directamente a la correcta toma de decisiones.

Igualmente, es un rendimiento más importante o relevante de lo que parece ya que ayuda a la toma de decisiones. La información se convierte en un recurso de toda la empresa no sólo de la dirección que es la que en principio posee el poder dentro de la organización. (Arribas,1999)

Es por esto que, la Armada Nacional de Colombia se encuentra en una constante búsqueda de encontrar oportunidades de mejora en las actividades que atañen a la administración de la cadena de abastecimiento de la compañía, es por esto que ha desarrollado un Centro de operaciones logísticas.

En países como Chile, se ha intentado realizar una integración en todos los procesos logísticos inherentes a todas las actividades militares requeridas por su país demostrando resultados bastante provechosos (Fontena , 2010), y se esperarían resultados parecidos o mejores para las fuerzas militares colombianas.

Para el correcto funcionamiento del centro de operaciones logísticas propuesto se deberá desarrollar un modelo de manejo de la información que permita mantener trazabilidad a través de las aplicaciones de tecnologías, para esto se tendrán en cuenta las experiencias desarrolladas en otros países a través de las herramientas investigativas que brinda una vigilancia tecnológica.

## **Método**

Para la Armada Nacional Colombiana la logística militar es un tema que apenas está comenzando a potencializarse, es por esto que se usó la vigilancia tecnológica como fuente de recolección de información para el caso propuesto, de esta manera se tendrán en cuenta los ensayos realizados en otros países y se determinará cuál es más adaptable a la situación real del país.

En los casos de estudio se analizaron las fuerzas armadas de Chile, España, Argentina y Estados Unidos se usaron como base de la investigación debido a sus similitudes con el centro de operaciones logísticas que se desea desarrollar en Colombia. Sin embargo, a nivel internacional también existen otros países que se preocupan por la gestión logística y el manejo del flujo de información como Ecuador, Reino Unido, Francia y Canadá. Estos últimos países mencionados, los estudios de casos se encuentran inmersos en el documento encontrado de Argentina.



## **Estudio correlacional y fortalezas de las tecnologías y modelos referentes al manejo de la información logística acorde a los casos identificados**

Para poder desarrollar este capítulo de la investigación se hizo un estudio comparativo desde el benchmarking teniendo en cuenta los casos identificados durante la vigilancia tecnológica, se tuvieron en cuenta las mejores prácticas como casos de éxito presentando así un amplio panorama de la temática a tratar

### **Planificación: Identificación de las necesidades para manejo de información logística**

En una visita académica que se realizó al COLCAR (Centro de Operaciones Logísticas del Caribe), el cual es un centro de integración de la información logística, expusieron que la FNC (Fuerza Naval del Caribe) ha avanzado tecnológicamente y estructuralmente, pero ha quedado rezagada la plataforma logística que los soporta. Además, en cuanto al flujo de información en el caso del CBN1 (Base Naval), la recepción de las necesidades del usuario se manejaban desarticuladamente los requerimientos, ocasionando duplicidad en la información, desgaste del personal y recursos (Centro de Operaciones Logísticas del Caribe COLCAR, S.F.).

A partir de este panorama, se puede establecer que las principales necesidades de la Armada Nacional de Colombia en lo relacionado al manejo de la información logística son:

1. TIC's que soporten la plataforma logística en cuando a los procedimientos operativos y al flujo de información entre los actores del sistema.
2. Articulación de la información de las necesidades del usuario en la gestión de los requerimientos con JOLA.
3. Integración del consumidor y proveedores con la institución, velando por la satisfacción del cliente.
4. Establecimiento de un plan de comunicaciones soportado en la gestión de las TIC's.
5. Coordinación en la dirección de las distintas operaciones permitiendo el flujo de la información centralizada, para evitar dispersiones y duplicación de la información.
6. Reingeniería de procedimientos en el manejo del flujo de la información logística soportada en las TIC's.

Nivel de eficiencia de las tecnologías y modelos referentes al manejo de la información logística acorde a los casos identificados.

A nivel de la vigilancia tecnológica realizada donde se identificaron los casos de éxito y las buenas prácticas en el manejo de información logística, es imprescindible analizar su

nivel de eficiencia y su aplicabilidad en el sistema logístico de la Armada Nacional, con la finalidad de tomar las tecnologías y modelos más efectivos y desechar aquellos aspectos que no se ajustan a la realidad colombiana.

Teniendo en cuenta lo anterior se definieron como indicadores de eficiencia la propuesta desarrollada por los documentos estudiados, las actividades desarrolladas y el cumplimiento de los objetivos propuesto, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 1.**  
*Análisis de la eficiencia de las entidades militares internacionales.*

PAÍS	PROPUESTAS	ACTIVIDADES	CUMPLIMIENTO
<b>ESTADOS UNIDOS</b>	Particularmente la labor realizada por estados unidos fue plausible, al desarrollar un sistema de trabajo en donde se evitaron caer en reprocesos administrativos a través de la aplicación de tecnologías de la información se aumenta la eficacia en las operaciones del área debido a que hay conductos estrictos los cuales permiten veracidad en el trabajo que se desarrolla.	Administración de inventarios, Administración financiera, Administración de reparaciones, Administración de materiales peligrosos, Soporte técnico, Coordinación, planeación y preparación logística.	Aún sigue en su fase de ejecución.
<b>CHILE</b>	En este caso se debe resaltar el excelente desarrollo realizado con las tecnologías de la información, a través de la aplicación de estas se logró centralizar toda la información requerida para las operaciones logísticas dentro de la institución, dando una cualidad de fácil acceso al sistema logístico del centro de operaciones, se destaca la labor realizada en la reingeniería realizada dentro de sus procesos.	Administración de inventarios, Labor Comercial, Coordinación, planeación y preparación logística, Puentes de comunicación, Administración de bases de datos.	El centro de operaciones logísticas en Chile opera actualmente de manera plausible.
<b>ESPAÑA</b>	A diferencia de Chile, en España se buscó integrar los procesos logísticos existentes con las novedades tecnológicas que se aplicarían en materia de información. Por otro lado se buscó crear un efecto acción reacción ante la aplicación de un sistema logístico S&R.	Administración de inventarios, Coordinación, planeación y preparación logística (recepción, almacenamiento y distribución), Gestión financiera, Gestión investigativa, Logística de transporte de personal.	No se suministra la información
<b>ARGENTINA</b>	Este es un proyecto ambicioso que busca centralizar de manera integrada toda la cadena de abastecimiento para la institución, a través de propuestas que llamaran a la innovación, a través de la investigación de nuevas tecnologías. La falta de planeación dio como resultado presupuesto insuficiente para culminar con el proyecto, sin embargo la entidad aún cuenta con herramientas que surgieron de este trabajo.	Integración de las cadenas de abastecimientos y comunicaciones, Gestión investigativa Asistencia técnica (Soporte técnico).	No se ha cumplido con los objetivos establecidos debido a falta de planeación estratégica en el momento de la formulación del proyecto

*Fuente: Elaboración propia.*

Dentro de todo lo encontrado se puede concluir que el proyecto de Chile ha sido el más acertado, es destacable la labor de reingeniería realizada de tal forma que se sistematizaran los procesos y se aseguraran de su compatibilidad con la TIC'S que son aplicadas, también hay que estudiar muy de cerca el caso desarrollado en Estados Unidos debido a que lo descrito tiene el mayor grado de convergencia con lo propuesto para Colombia.

Como aplicación de buenas prácticas se tendrán en cuenta las fortalezas halladas en cada una de las experiencias con el fin introducir en el centro de operaciones logísticas de la Armada Nacional de Colombia, de lo cual se destacó lo siguiente en tecnologías de la información:

En el transcurso de la investigación se evidenció el uso de programas tecnológicos para el manejo de la información logística procurando la actualización de datos en tiempo real, de tal forma que pueda garantizar la efectividad en cada uno de sus procesos.

En lo relacionado con las patentes, en el tema del manejo de información logística en entidades militares la información registrada es escasa. En lo que a este tema atañe se trabajan con diversos softwares.

Se encontró el programa de SILOG, el cual ya es usado en la actualidad por la Armada Nacional, siendo un producto desarrollado en Colombia el 25 de julio de 2004 bajo la cobertura del Grupo SILOG, como uno de los proyectos más grandes del gobierno.

En modelos de toma de decisiones se tuvieron en cuenta las siguientes fortalezas:

**Tabla 2.**  
*Fortalezas de las entidades militares internacionales*

PAÍS	FORTALEZAS
Chile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de estándares internacionales para la gestión logística.</li> <li>• Generación de alianzas estratégicas con empresas privadas para el desarrollo de I+D+i.</li> <li>• Centralización de los procesos logísticos y del manejo de la información.</li> <li>• Alta inversión económica para el desarrollo de los sistemas de información que se integren a su sistema logístico.</li> <li>• Desarrollo de una reingeniería en sus procesos logísticos para la integración de las TIC's en su sistema logístico.</li> <li>• Alineación de las TIC's con los objetivos militares.</li> <li>• Integración de los procesos logísticos a las TIC's.</li> <li>• Desarrollo de la logística S&amp;R (sense and respond).</li> <li>• Desarrollo del Plan Director de Sistemas de Información y Telecomunicaciones (PD CIS).</li> </ul>
España	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para gestionar las TIC's se debe trabajar en la infraestructura y los servicios y así sean instauradas como gobierno de las TIC's.</li> <li>• Centralización de las operaciones en la red para la toma de decisiones estratégica.</li> <li>• Consolidación de las redes ad hoc.</li> <li>• Estructuración de seguridad multinivel en el manejo de la información acorde al grado de sensibilidad.</li> </ul>
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propuesta del modelo Sistema Integrado de Abastecimientos Navales.</li> <li>• Modelo basado en la centralización de abastecimientos.</li> <li>• Creación de una Subsecretaría de Innovación Científica y Tecnológica para las actividades de investigación y desarrollo de la Defensa.</li> </ul>
Francia y Canadá	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centralización de la planeación estratégica y las funciones logísticas.</li> <li>• Creación de actores que manejen los procesos de centralización del sistema logístico.</li> <li>• Desarrollo de un plan estratégico para la centralización de la información correspondiente a las cadenas de suministros y mantenimiento usando las TIC's.</li> </ul>

Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Integración de las actividades del sistema logístico.</li><li>• Establecer la normalización de los procesos militares logísticos asociadas a las tecnologías de la información.</li><li>• Encaminar las inversiones en IT (Information Technology).</li><li>• Alinear el desarrollo de las TIC's con el plan estratégico.</li><li>• Proporcionar una perfecta integración entre las fuerzas operativas y las unidades de apoyo logístico.</li><li>• Garantizar la interoperabilidad entre los sistemas y cumplir con los requisitos de la política del Departamento de Defensa a través de la centralización de la información.</li><li>• Consolidación de varios centros de datos del sistema en un solo sitio denominado Centrally Hosted Ashore.</li><li>• Desarrollo de un plan para la integración de las TIC's en el manejo de la información logística.</li></ul>
----------------	--

Fuente: *Elaboración propia.*

## Conclusiones

Teniendo en cuenta las herramientas brindadas por la Vigilancia Tecnológica se definieron cuatro experiencias de entidades militares a nivel internacional de proyectos para la gestión de la información logística, una patente nacional del software SILOG, y el modelo organizacional de un centro de información que se encarga de la coordinación de los actores logísticos en la respuesta a las necesidades del usuario.

Se encontró la importancia de crear un plan de comunicaciones soportado en la gestión de las TIC's, la coordinación en la dirección de las distintas operaciones permitiendo el flujo de la información centralizada, y la reingeniería de procedimientos en el manejo del flujo de la información logística soportada en las TIC's.

Al final se determinó que Chile era la experiencia que cuenta con un nivel de sostenibilidad, sin embargo a nivel general se encontró como fortalezas el manejo de información logística las grandes entidades militares usan las RFID'S (Radio Frequency Identification Tags) y los software ERP (Enterprise Resource Planning), mientras que la Armada Nacional de Colombia posee avances en la gestión de información logística mediante la integración del software SILOG, pero aún se encuentra en etapa de desarrollo e incorporación, por lo cual es imprescindible ser más competentes frente a las necesidades organizacionales.

En lo que respecta a modelos para la toma de decisiones y manejo de información, en primera instancia es necesario tener en cuenta la identificación de los actores del sistema logístico para coordinar el flujo de información de los stakeholders y sus intereses es imprescindible el uso de las tecnologías en el manejo de la información para la gestión logística, teniendo en cuenta los niveles jerárquicos en la toma de decisiones y la centralización de la información en un organismo que se encargue de gestionar y coordinar las actividades logística.

## Bibliografía

Arribas, A. (1999). *Comunicación en la empresa. La importancia de la información interna en la empresa*. Recuperado el: 02 de Abril de 2015. Disponible en línea: <http://www.ull.es/publicaciones/latina/aa2000tma/127amaia.html>

COTECMAR. (2014). *Informe de gestión 2014*. COTECMAR, Cartagena.

Centro de Operaciones Logísticas del Caribe COLCAR. (S.F.). *Presentación Centro de Operaciones Logísticas del Caribe COLCAR*. Cartagena.

Fontena , H. (2010). Integración de los procesos logísticos para maximizar la eficacia y la disponibilidad operativa. *Academia de Guerra Naval*.

FUNDETEC. (2012). Libro blanco de las TIC en el sector de transporte y logística. Escuela Superior de Guerra. (2011). *Sistema integrado de investigación ESDEGUE logística y administración militar*. Fuerzas Militares de Colombia, Colombia.

Vega, F., & Lugo, J. (2016). *Estudio de la logística de abastecimiento en el área de operaciones del batallón de infantería de marina No. 13 en la Fuerza Naval del Caribe, ubicado en Malagana, Bolivar*. Cartagena.

## IMPORTANCIA DE LA ARMADA NACIONAL EN LA PRESERVACIÓN Y CONTROL DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS: ESTUARIOS Y MANGLARES EN LA REGIÓN CARIBE

### Importance of the national navy in the preservation and control of marine ecosystems: estuaries and mangroves in the caribbean region

Nicolás Bedoya Castellanos<sup>1</sup>

David García Palacios<sup>2</sup>

Andrés Fernando De Vivero Álvarez<sup>3</sup>

Recibido: 23/04/2019

Aceptado: 20/07/2019

#### Resumen

Este documento expone la importancia de la Armada Nacional en la protección y conservación de los ecosistemas marinos, a través de la investigación transeccional descriptiva, en la que se realiza la recolección de información primaria y secundaria en un solo momento del tiempo para caracterizar y contextualizar la situación actual de los manglares y estuarios en la región caribe del país. En el desarrollo de este artículo, se evidencia la importancia socioeconómica y la función ambiental de los manglares y estuarios, así como sus principales contaminantes y la necesidad de la articulación normativa para dar una efectiva protección a estos ecosistemas. Es necesario tener como premisa que, es función de protección ambiental e investigación y desarrollo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como

lo estipula: La Constitución Política de Colombia entre otras normatividades que rigen y establecen funciones para la administración y control de los ecosistemas marinos, así como principal fuente de investigación y desarrollo para los mismos. Tanto es así que, las concepciones de desarrollo sostenible y de responsabilidad social plantean la necesidad de encontrar un equilibrio entre el avance de la industria y la conservación y protección ambiental.

**Palabras clave:** Armada Nacional, Ecosistemas Marinos, Estuarios, manglares, Prevención, Conservación, Desarrollo Sostenible, Responsabilidad Social, Responsabilidad Ambiental.

#### Abstract

This document exposes the importance of the National Navy in

<sup>1</sup>Profesional en Ciencias Navales para oficiales de IM. Jefe Departamento Logística - Estación Aeronaval de Cartagena. Correo electrónico: nicolas.bedoya@armada.mil.co.

<sup>2</sup>Profesional en Ciencias Navales para oficiales de IM. Comandante Destacamento Armada – Agrupación de Fuerzas Especiales Antiterroristas Urbanas. Correo electrónico: david.garcia.pa@armada.mil.co

<sup>3</sup>Profesional en Ciencias Navales para oficiales de IM. Jefe Departamento Académico – Escuela de Combate Fluvial. Correo electrónico: andres.devivero@armada.mil.co.



the protection and conservation of marine ecosystems, through descriptive transectional research, in which primary and secondary information is collected in a single moment of time to characterize and contextualize the Current situation of mangroves and estuaries in the Caribbean region of the country. In the development of this article, the socioeconomic importance and environmental function of mangroves and estuaries, as well as their main pollutants and the need for normative articulation to give effective protection to these ecosystems are evidenced. While it is true, the Navy and DIMAR function as authorities in the preservation of these ecosystems and that is why the relevance of this article is necessary to have under the premise that it is a function of environmental protection and research and development of the Ministry of Environment and Development sustainable, as stipulated:

The Political Constitution of Colombia in its articles 8, 79 and 80; Article 128 of Decree 1681 of 1978; Article 2 of Law 99 of 1993; Law 99 of 1993 and the Convention on Biological Biodiversity, approved by Law 165 of 1994; - Section 1 of article 3 of Law 357 of 1997 among other regulations that govern and certain functions for the administration and control of marine ecosystems, as well as the main source of research and development for them. So much so that the conceptions of sustainable development and social responsibility raise the need to find a balance between the advancement of the industry and environmental conservation and protection,

**Keywords:** National Navy, Marine Ecosystems, Estuaries, Mangroves, Prevention, Conservation, Sustainable Development, Social Responsibility, Environmental Responsibility



## Introducción

La Armada Nacional de Colombia entidad que comprende la importancia de la vocación marítima de Colombia, considerando estos espacios como piedra angular para la conexión económica con el mundo, así como la amplia oferta de recursos naturales renovables y no renovables que atesoran los mares, lechos marinos y espacios costeros. se debe recordar que los estuarios y manglares son ecosistemas costeros y de estos en el Caribe colombiano existe evidencia de un gran número de hectáreas que cumplen papeles económicos, sociales y ambientales de vital importancia; como lo indica la Armada Nacional.

El infinito horizonte de posibilidades que ofrecen los recursos naturales renovables y no renovables de nuestros mares, lecho marino y espacios costeros, fuente de riqueza incalculable, son un potencial generador de progreso y crecimiento económico (Armada Nacional de la República de Colombia, 2015).

En la actualidad se observa el desarrollo desmedido y vertiginoso del mercado que impulsa consigo un modelo productivo consumista y altamente contaminante, exhibiendo que las sociedades avanzan a un ritmo desequilibrado con el ambiente. Los ecosistemas marinos, específicamente los manglares y estuarios no son ajenos a esto, a pesar de que su protección es de vital importancia para la supervivencia humana y de la fauna marina, la imposición competitiva que trae consigo la globalización ha generado problemas en estos ecosistemas.

Según las estimaciones más recientes (Ambiente, 2019), los manglares de Colombia tienen una extensión aproximada de 285.049 Ha, hallándose distribuidos en los litorales Caribe con 90.160.58 Ha y el Pacífico con 194.880 Ha. Aunque el manglar ha sido duramente afectado por la tala indiscriminada, obras de infraestructura vial mal planeadas, ampliación de la frontera urbana o contaminación que lo han llevado a una degradación significativa, actualmente se pueden ver todavía muchos lugares en donde el manglar se desarrolla a plenitud y las poblaciones viven de manera armónica con este ecosistema dándole el valor que se merece. Los manglares de la costa pacífica colombiana se precian de ser los más desarrollados y grandes de todo el pacífico americano.

De acuerdo con Waldichuk (1977), los problemas de contaminación son más graves en las aguas costeras, estas son las receptoras de la contaminación de ríos y además reciben los desechos de las actividades productivas ejecutadas en estas zonas, en especial de la extracción de recursos minero-energéticos y de la contaminación por los combustibles de barcos y navíos.

No debe olvidarse que las zonas costeras son de vital importancia para la especie humana, alrededor del 99% de la captura mundial de peces se da en estas zonas (Waldichuk, 1977). Además, los manglares contribuyen a la alimentación y anidación de peces, aves,

anfibios y reptiles, también permiten la ejecución de pequeñas actividades madereras y de turismo, por su parte, los estuarios tienen la función ambiental de proteger la costa contra tormentas, así como permite reciclar los nutrientes y servir de hábitat para diferentes organismos, los estuarios son necesarios para facilitar la navegación industrial y turística (Díaz, 2015).

En este orden de ideas y considerando la importancia de las zonas costeras, su protección y conservación juegan un papel clave para la humanidad. En línea con lo anterior, el tema de responsabilidad social surge debido al creciente proceso de globalización que ahora incluye en su agenda el desarrollo sostenible y el cumplimiento de metas mundiales para lograrlo, metas que abarcan diferentes esferas: social, cultural, ambiental y hasta incluso la militar. Es así, que los diferentes gobiernos buscan aportar en esta tendencia, generando diferentes estrategias que permitan alcanzar dichas metas.

Es importante destacar que algunas de las metas más importantes giran en torno a la protección medioambiental, considerando que la disponibilidad de recursos ambientales es fija y, en general, los ecosistemas son los principales proveedores para la sobrevivencia humana. Sin embargo, las emisiones contaminantes de la industria crecen de manera exponencial deteriorando el medio ambiente; por lo anterior los esfuerzos en incorporar políticas ambientalmente sostenibles se convierte en la piedra angular de los gobiernos.

Debe anotarse, que los ecosistemas marinos: estuarios y manglares, hacen parte de los espacios ambientales más vulnerados por la industria, su protección y conservación son esenciales para el ser humano y para las especies de fauna y flora que residen allí; ahora bien, también es cierto que en el caso colombiano, el Estado ha generado diferentes estrategias a través de sus entidades, para promover el desarrollo ambiental y proteger todo tipo de ecosistemas, incluyendo los marinos, prueba de esto es la intervención de diferentes entidades como las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, y de los Grandes Centros Urbanos y las autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002 y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las secretarías de desarrollo ambiental e incluso la Armada Nacional la cual a través del decreto ley 2324 de 1984 establece como funciones de la DIMAR que deberá en el ejercicio de mantener su autoridad marítima, mantener la conservación, preservación y protección del medio marino, cumpliendo con las directrices estipuladas por la política ambiental Colombiana y el régimen estipulado por el Ministerio de ambiente.

Entonces, ¿Cuál es la importancia de la Armada Nacional en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares de la región caribe ¿Será primordial su intervención para defender estos espacios de las intervenciones ilegales e irresponsables, así como de promover la investigación para su sostenimiento y desarrollo, en pro de garantizar su adecuada protección y conservación?

## Método

El presente estudio se clasifica como un diseño no experimental transeccional descriptivo, el cual tiene como objetivo indagar los valores en que se manifiestan en una o más variables y proporcionar su descripción (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 1997). Por tanto, en el presente trabajo se está haciendo referencia a un tipo de estudio puramente descriptivo en donde se entrelazará la funciones realizadas por la DIMAR como autoridad marítima que garantiza la conservación y preservación de los ecosistemas de manglar, la Armada Nacional en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares ubicados en la región caribe de Colombia, frente a la competencia y jerarquización que se establece por parte del Ministerio de Ambiente.

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se presentará un informe en donde se determina la importancia de la Armada Nacional en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares.

En primera instancia, una contextualización de las generalidades de los ecosistemas marinos: manglares y estuarios de la región Caribe de Colombia, exponiendo su caracterización, importancia, riesgos y medidas de protección y conservación; así como determinar las funciones y alcances de la Armada Nacional en el marco de la protección de estos ecosistemas. Para esto, se procederá a realizar una construcción documental, de acuerdo con Hurtado de Barrera (2010) el origen de los datos se realizara a través de documentos, considerando que la información “ya fue recogida o registrada por otras personas, o porque las unidades de estudio son los mismos documentos” (pág. 696-697).

En segunda medida, para iniciar una discusión en torno al papel de la Armada Nacional, fue importante esbozar un marco teórico en torno al desarrollo sostenible y del compromiso estatal considerando las concepciones de la responsabilidad social, de modo que se pueda examinar bajo la luz de estas teorías, las acciones realizadas por la Armada y su nivel de importancia para la preservación y conservación de los ecosistemas marinos del caribe colombiano.

Para lograr así, el desarrollo de una investigación y análisis interpretativo que permitirá dar respuesta a la problemática planteada en este informe y determinar si la Armada Nacional frente a las acciones que implementa el Mini ambiente contribuye en la preservación y conservación de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares de la región caribe.

## Resultados

El ambiente estuarino figura entre los más productivos en la tierra, creando cada año más materia orgánica que áreas comparables en tamaño, de bosques, prados o tierras agrícolas. Dentro y fuera de los estuarios se encuentran una gran variedad de hábitats que incluyen; aguas poco profundas, pantanos de agua dulce y agua salada, playas arenosas, llanos de arena y lodo,

costas rocosas, arrecifes de ostras, bosques de mangles, deltas de ríos, lechos de algas marinas y pantanos boscosos. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017).

### **Estuarios: características e importancia**

Cabe destacar que los estuarios son zonas en las que se mezclan los sistemas fluviales (agua dulce) con los marinos (agua salada), estos ecosistemas representan la interdependencia mar-tierra y tienen como función prestar diferentes servicios ambientales, como captar carbono, filtrar aguas contaminadas y controlar la erosión, además de que son claves para los ciclos de desarrollo de las diferentes especies de peces, crustáceos y moluscos que habitan allí (Salm & Clark 1989 citados por Majluf (2002, p. 27).

Ahora bien, en el Caribe colombiano se encuentran cuatro estuarios, ubicados en las desembocaduras de los ríos: Magdalena, Canal del Dique, Sinú y Atrato. Así mismo debe destacarse que en el Caribe colombiano se forman 59 cincuenta y nueve lagunas (en una extensión de 155.772 ha aproximadamente), siendo la más importante la Ciénaga Grande de Santa Marta, ubicada en la desembocadura del río Magdalena, con una extensión de 450 km<sup>2</sup> (Majluf, 2002, p. 10).

Estos escenarios se modifican permanentemente por influencia del oleaje y las corrientes de los ríos, razón por las que estos dos fenómenos son los principales factores de cambio en estos ecosistemas; en línea con lo anterior, los estuarios se perjudican por el calentamiento global, la contaminación de los ríos y por el incremento del oleaje. En general que es en los estuarios donde se manifiestan con mayor intensidad los deterioros ambientales de las cuencas fluviales, bien sea por el vertimiento en ríos de desechos urbanos, domésticos, industriales y agropecuarios, como por el vertimiento de desechos en las zonas costeras, operaciones portuarias y la extracción de recursos pesqueros (Día, 2007). En sí, los estuarios se ven afectados por las alteraciones que generan la actividad humana, en el interior del país y en la misma zona costera de la región caribe.

El calentamiento global influye negativamente en los estuarios, cualquier aumento en la temperatura atmosférica es transmitido por la superficie del agua y por el calentamiento de los océanos, lo cual genera alteraciones en el normal desarrollo de las especies estaurinas llegando incluso a modificar la composición de especies en este ecosistema: por el incremento de individuos de algunas especies o por la disminución en individuos de otras e incluso por la llegada de especies foráneas (Díaz, 2007).

### **Manglares: características e importancia**

Con lo que respecta a los manglares son “ensamblajes de árboles o arbustos que se desarrollan en las zonas tropicales y subtropicales del planeta en áreas protegidas del oleaje, playas lodosas, fangosas o cenagosas y que están sujetos a intrusiones de aguas saladas y salobres” (INVEMAR, 2016, p. 58). Los manglares son un complejo eco-sistémico boscoso (Walsh, 1974) que

se desarrolla alrededor de lagunas costeras, canales de mareas (esteros) o en la desembocadura de ríos y arroyos (estuarios) y su hábitat está restringido a las orillas de suelos arenosos, siendo un ecosistema en transición entre ambientes marinos y costeros (Vera, 2014).

De acuerdo con Ulloa Delgado et al. (1998), en la Convención de RAMSAR se determinó que los manglares son considerados humedales de agua salada, estuarinos y/o lagunares establecidos en zonas inter-mareales. Pueden encontrarse franjas pequeñas continuas o discontinuas con presencia de mangles, así como bosques densos de muchas hectáreas, esto depende de las “mareas, el declive topográfico y de la salinidad del agua y del suelo” (Díaz, 2011). Así mismo, los manglares son parte de “llanuras de inundación y son terrenos inundables por las mareas y aguas fluviales (desembocaduras de los ríos en el mar)” (Vera, 2014, p. 249). De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que los manglares se adaptan a inundaciones de marea, suelos poco aireados y altas salinidades razón por la que desarrollan adaptaciones morfológicas o estructurales, fisiológicas o funcionales y reproductivas (Hutchings & Saenger, 1987; Walsh, 1974).

Las principales adaptaciones de los manglares han surgido para tolerar y desarrollarse en ambientes altamente salinos y pobres en oxígeno. Uno de los mecanismos de adaptación es la glándula de sal que le permite eliminar las pequeñas cantidades de sal que logran entrar en las plantas. Así mismo, sus raíces se han especializado de manera que pueden alcanzar los substratos inestables, para esto crecen varios metros y ayudan a que los manglares su sostengan en los terrenos pantanosos en donde viven, además también han desarrollado lenticelas y neumatóforos que le permiten obtener aire para los tejidos internos de sus plantas, esto lo logran ya que desarrollan prolongaciones que salen a la superficie de la tierra. De igual manera, los manglares realizan el vivi-parismo: las semillas germinan precozmente atadas al parental, después de esto pueden flotar por largos periodo de tiempo y se pueden adaptar fácilmente para su desarrollo (Walsh, 1974; Hutchings & Saenger, 1987; Díaz Gaxiola, 2011; INVEMAR, 2016).

En el Caribe colombiano hay 5 cinco especies de manglares: el mangle rojo *Rhizophora mangle*, el mangle salado *Avicennia germinans*, el mangle blanco *Laguncularia racemosa*, el botoncillo *Conocarpus erecta* y *Pelliciera rhizophorae* (Márquez, 1996), de las anteriores especies *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* son las más abundantes y de mayor aprovechamiento en el país. Debe anotarse que se encuentran otras especies conocidas como manglares no verdaderos (Tomlison, 1986; citado por (INVEMAR, 2016)), como lo son los vegetales de helechos y arbustos, estos aparecen como flora acompañante de los manglares, como lo son el helecho *Achrosticum aeurum* y el arbusto *Tabebuia palustris* (Spalding et al., 2011; citado por INVEMAR, 2016)

Las especies de mangle se distribuyen por el litoral caribe colombiano, el cual se encuentra conformado por San Andrés, Providencia y Santa Catalina [SAI], La Guajira [GUA], Magdalena [MAG], Atlántico [ATL], Bolívar [BOL], Sucre [SUC], Córdoba [COR] y Antioquia [ANT], allí se pueden encontrar las especies de la siguiente manera

**Tabla 1.**  
Distribución de Especies de Mangle en el Caribe colombiano

Familia	Especie	Litoral Caribe									Litoral Pacifico			
		SAI	GUA	MAG	ATL	BOL	SUC	COR	ANT	CHO	VCAU	CAU	NAR	
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	<i>Rhizophora harrisonii</i> *								X	X	X	X	X	
	<i>Rhizophora racemosa</i>									X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>	X <sup>NC</sup>	
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	<i>Conocarpus erectus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Avicenniaceae	<i>Avicennia germinans</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	<i>Avicennia harrisoni</i>									X				
Pellicieraceae	<i>Pelliciera rhizophorae</i>					X	X	X	X	X	X	X	X	
Caesalpinaceae	<i>Mora oleifera</i>									X	X	X	X	

Fuente: INVEMAR, 2016 (citando a Sánchez-Páez et al, 1997; INVEMAR & CRA, 2005; Spalding et al, 2011)

\**R harrisonii* es considerada por autores como (Duke, 1992) y Beentje and Bandeira (2007) citados por INVEMAR (2016) como una especie híbrida

Los ecosistemas de manglar son uno de las cinco unidades ecológicas más productivas en el mundo (Convención de Humedales RAMSAR citado por Vera, 2014, (p. 249). De acuerdo con Cortes Castillo (2017), los manglares son importantes porque desarrollan múltiples funciones de acuerdo a sus componentes bióticos y abióticos y contribuyen al bienestar humano.

Por lo anterior la importancia de los manglares puede valorarse en dos perspectivas: beneficios que ofrecen a las comunidades humanas y valorando los servicios ambientales que proveen.

Desde otro ángulo, en cuanto a los beneficios que ofrecen a las comunidades, los ecosistemas de manglar realizan funciones sociales, económicas y culturales, aquellos manglares que se desarrollan en las riberas de los estuarios, sirven como fuente de alimentos al permitir el desarrollo de actividades como la pesca (Vera, 2014) el 70% de los organismos de mar, realizan parte de su ciclo de vida en una zona de manglar), así como permite la recolección de moluscos y crustáceos. Los manglares también sirven para la generación de fuentes combustibles como el carbón de leña, la madera y la pulpa *nypa* (produce azúcar que se puede convertir en alcohol y sirve como combustible de transporte), así como para el aprovechamiento de madera comercial y madera para construcción (Majluf, 2002). De igual forma, permiten la extracción de sal, taninos y hierbas medicinales e incluso el desarrollo de actividades turística a través de recreación pasiva (Vera, 2014).

Por otra parte, ecológicamente el manglar desempeña funciones muy importantes, de acuerdo con Díaz Gaxiola (2011), estos ecosistemas son altamente productivos y son los responsables de producir una gran cantidad de nutrientes, transportados por las corrientes marítimas, sirviendo para algunos pastos marinos y para la alimentación de varias especies de peces comerciales; entonces, el manglar es de vital importancia para la sostenibilidad de las especies de peces en el planeta, que con otros ecosistemas marinos, conforman el hábitat natural de la ictiofauna a nivel (Ministerio del Medio Ambiente Acofore OIMT, 1998; Castaño Uribe, 1989) . Además, Vera (2014) indica que protegen el litoral de la erosión costera derivada del oleaje y las mareas, controlan las inundaciones, dan estabilidad al piso litoral, sirven de filtro para retención de sedimentos y sustancias tóxicas purificando el agua que llega al mar, así mismo desaliniza el agua que ingresa a tierra firme y sirven como fuente de materia orgánica, producción de hojarasca y exportación de biomasa.

En el Caribe colombiano, la principal aglomeración de manglares se encuentra en el Magdalena, donde se aglomeran alrededor de 52.478 Ha de manglar vivo y 23.300 Ha de manglar muerto, las siguientes concentraciones de manglar se encuentran en Sucre (9.674 Ha de manglar vivo y 489 Ha de manglar muerto), Córdoba (8.862 Ha de manglar vivo y 299 Ha de manglar muerto) y Antioquia (6805 Ha de manglar vivo y 606 Ha de manglar muerto), en total en el Caribe se encuentra un total de 87.908 ha de manglar vivo y 25.039 ha de manglar muerto (INVEMAR, 2004). De acuerdo al último informe de INVEMAR (2016), para el 2015 en el departamento del Magdalena las hectáreas (Ha) de manglar vivo tan solo eran 39.325.

### **Zonas de protección y normatividad**

Según el contexto normativo y legal, la administración y control de los ecosistemas es competencia única y exclusiva del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, es por esto que se detalla a continuación la reglamentación en cuanto a los ecosistemas de manglar que se debe tener en cuenta para la preservación de estos ecosistemas, es por esto que se tendrán en cuenta la siguiente normatividad:

#### **La Constitución Política de Colombia establece en sus artículos:**

Artículo 80. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación (Constitución Política de Colombia, 1991).

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Constitución Política, 1991).



Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. (Constitución de Colombia, 1991).

Siendo entonces obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar, entre otros fines, su conservación y restauración, así como proteger la diversidad e integridad del ambiente y de manera particular el deber de conservar las áreas de especial importancia ecológica..

El artículo 128 del Decreto 1681 de 1978 declara dignos de protección, los manglares, estuarios, meandros, ciénagas u otros hábitats similares de recursos hidrobiológicos. (Constitución Nacional, DE 1978).

El artículo 2 de la Ley 99 de 1993, dispuso la creación del Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado entre otras cosas, de definir las regulaciones a las que se sujetaran la conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible. (Ministerio del Medio Ambiente, 1993).

La Ley 99 de 1993, señaló en el numeral 24 del artículo 5 como función del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras, y coordinar las actividades de las entidades encargadas de la investigación, protección y manejo del medio marino, de sus recursos vivos, y de las costas y playas; así mismo, le corresponde regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales.

El Convenio sobre Biodiversidad Biológica, aprobado por la Ley 165 de 1994 tiene como objetivo la conservación de la diversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos. (Corte Constitucional, 1994).

El Aparte 1 del artículo 3 de la Ley 357 de 1997, aprobatoria de la Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Especies Acuáticas, firmada en Ramsar, Irán en 1971, especifica que: 1. Las Partes Contratantes deberán elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional y en la medida de lo posible el uso racional de los humedales de su territorio. (Congreso de la Republica, 1997).

El numeral 2 del artículo 2 del Decreto-ley 3570 de 2011, establece como funciones del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Diseñar y regular (.....) las condiciones generales para el saneamiento del ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deterior antes o destructivas del entorno o del patrimonio natural, en todos los sectores económicos y productivos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2011

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de las Resoluciones números 1602 de 1995, 20 de 1996, 924 y 257 de 1997, 233 de 1999, y 0721 de 2002 y 1263 de 2018, estableció las medidas de manejo y de diagnóstico para garantizar la sostenibilidad de los manglares.

El párrafo primero del artículo 207 de la Ley 1450 de 16 de junio de 2011, estableció que en arrecifes de coral y manglares se prohíbe el desarrollo de actividades mineras, exploración de hidrocarburos, acuicultura, pesca industrial de arrastre y la extracción de componentes de corales para la elaboración de artesanías (Congreso de la Republica,2011).

Con lo que respecta retomar el marco normativo ambiental cabe rescatar las funciones de la armada y DIMAR con su decreto 2324 de 1984, en donde se especifican en su artículo 4

La Dirección General Marítima y Portuaria es la Autoridad Marítima Nacional que ejecuta la política del Gobierno en materia marítima y tiene por objeto la regulación, Dirección, coordinación y control de las actividades marítimas, en los términos que señala este Decreto y los reglamentos que se expidan para su cumplimiento y la promoción y estímulo del desarrollo marítimo del País. (Dirección General Marítima y Portuaria, 1984).

Es evidente, que tanto los manglares y los estuarios son ecosistemas importantes para el desarrollo de la fauna y flora marinas, empero el gobierno nacional no había prestado atención a estos ecosistemas, que en ocasiones fueron considerados como improductivos (Majluf, 2002), por lo que se desconocieron los riesgos a los que se enfrentan en la zona costera de Colombia y el impacto medio ambiental. En tiempos recientes, los impactos de la pérdida de manglares han desembocado en diferentes medidas para su protección y conservación.

Concluyendo así que los principales tensores ambientales y antropogénicos las fuentes terrestres y marinas de contaminación (INVEMAR, 2016, pág. 48), así como el aprovechamiento comercial y urbanístico. Específicamente, los ecosistemas de manglar están siendo destruidos en las actividades comerciales e industriales, su explotación a corto plazo genera grandes ganancias económicas que ignoran el daño natural.

Como se mencionó anteriormente, el gobierno ha tomado diferentes medidas para la conservación y protección, entre estas: establecer zonas de área protegida y adoptar leyes para regular la explotación de recursos naturales. Por una parte, de acuerdo con Majluf (2002), los sistemas de áreas protegidas de Colombia tienen una cobertura de más de 50 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de 691.792 Ha son ecosistemas marinos y/o costeros. La costa Caribe tiene alrededor de 469.501 ha bajo la figura de área protegida, sin contar con los sistemas de reserva indígenas o resguardos que son áreas de propiedad comunitaria que no pueden ser vendidas; en línea con lo anterior las áreas protegidas por la costa Caribe son: Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Parque Nacional Natural Old Providence & Mc Bean Lagoon, Parque Isla de Salamanca, Parque Nacional Natural Tayrona, Santuario los Flamencos, Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande de Santa Marta, Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta y la Reserva Marina Seaflower.

Por otra parte, existen diferentes normas para la protección y conservación de los ecosistemas marinos, como los estuarios y los manglares, considerando su vital importancia para la sobrevivencia humana. Entre ellas se destacan (Cortés, 2017; Majluf, 2002; Uribe & Urrego, 2012), en donde se dictan las normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones que reglamentan usos del agua, Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe y el Protocolo relativo a la Cooperación para Combatir los Derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe, para las que se tendrán en cuenta:

- Ley No. 10 de 1978
- Decreto No. 1594 de 1984
- Ley No. 56 de 1987
- Ley No. 55 de 1989

Permitiéndonos con este contexto normativo y legal aclarar las competencias que asumen tanto el Ministerio de ambiente ente rector de la política ambiental, corporaciones autónomas encargadas del aprovechamiento y uso del manglar y DIMAR para actividades de conservación y protección producto de su función como autoridad en el mar.

### **Fundamentos de la Armada en Materia Ambiental Armada**

La Armada Nacional ha trabajado en pro del conocimiento del mar y de las zonas costeras, en beneficio del medio ambiente. Esta tarea ha estado a cargo de la Dirección General Marítima [DIMAR], que tiene como objetivo promover el desarrollo de la investigación científica marina y el aprovechamiento de los recursos del mar, así como aplicar, coordinar, fiscalizar y hacer cumplir las normas nacionales e internacionales tendientes a la preservación y protección del medio marino (Comisión Colombiana del Océano [CCO], 2007; Dirección General Marítima [DIMAR], 2014; DIMAR, 2017).

En la Ley 99 de 1993 Por la cual se crea el Ministerio Del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA y se dictan otras disposiciones, se establecen las políticas generales de ambiente y por ende la creación de un ministerio en el cual se gestiona del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, dicho esto de otra manera en esta ley se caracterizan las obligaciones de los diferentes entes competentes y como parte primordial para desarrollo de este artículo se establecen en su artículo 103 el apoyo que se espera recibir por parte de las fuerzas armadas, esto es, que “Las Fuerzas Armadas velarán en todo el territorio nacional por la protección y defensa del medio ambiente y los recursos naturales renovables y por el cumplimiento de las normas dictadas con el fin de proteger el patrimonio natural de la Nación, como elemento integrante de la soberanía nacional. La Armada Nacional tendrá a su cargo el ejercicio de las funciones de control y vigilancia en materia ambiental y de los recursos naturales, en los mares y zonas costeras, así como la vigilancia, seguimiento y evaluación de los fenómenos de contaminación o alteración del medio marino” (El congreso de la Republica de Colombia, 1993).

La DIMAR ha adelantado varios proyectos de caracterización de los litorales, para tener un inventario de los usos y actividades de los ecosistemas de las costas colombianas. Además, es la entidad encargada de la administración de la zona costera, por lo tanto, ejerce el control sobre el uso y goce de las aguas marinas, playas y terrenos de baja mar. También es la entidad encargada de otorgar las concesiones, autorizaciones y permiso de construcción en estos sitios (CCO, (2007)). Debe destacarse que en conjunto con el Ministerio de Defensa, la DIMAR (en representación de la Armada Nacional) trabajan para prevenir la contaminación por buques en el marco del Convenio Internacional MARPOL 73-38, así mismo es la entidad es promotora y garante de la adopción y ejecución, a nivel nacional, de varios convenios de la Organización Marítima Internacional (OMI), que tienen como meta proteger el medio ambiente marino (DIMAR, (2014)).

Es importante anotar, que la Armada Nacional tiene dentro de sus vértices de orientación en el Plan de desarrollo 2030, no solo sus actividades de defensa de la soberanía marina del país, la Armada Nacional tiene el pentágono de operaciones, en torno a cinco ejes estratégicos: 1-defensa y seguridad nacional: soberanía, integridad territorial, combate al terrorismo y al narcotráfico, disuasión estratégica y manejo de crisis; 2-seguridad marítima y fluvial: protección de la vida humana en el mar, cumplimiento de la legislación interna e internacional, control tráfico marítimo y ayudas a la navegación; 3- protección del medio ambiente: protección de mares y océanos, control al tráfico ilícito de especies, control de vedas y control de contaminación; 4- Desarrollo marítimo y fluvial: protección y sostenibilidad de los recursos marítimos, investigación científica marina, servicio cartográfico e hidrográfico; 5- rol internacional: Operaciones de paz y ayuda humanitaria, presencia naval y ejercicios combinados (Armada Nacional de la República de Colombia, 2015, p. 33).

Por último, cabe resaltar que el MinAmbiente tiene zonificados los ecosistemas del país con el fin de regular la intervención y uso de ellos, en diferentes categorías, preservación, recuperación y uso sostenible, lo cual se dio gracias a los estudios entregados por las corporaciones autónomas y por ello se estableció la Resolución 0721 de 2002, en donde en los numerales 12 y 24 del artículo 5º de la Ley 99 de 1993 establecen como funciones del Ministerio del Medio Ambiente expedir y actualizar el estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio para su apropiado ordenamiento y las regulaciones nacionales sobre uso del suelo en lo concerniente a sus aspectos ambientales y fijar pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial y regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos y demás ecosistemas hídricos continentales (Ministerio del Medio Ambiente, 2004).

### **Discusión**

Entonces, podemos decir que la Armada Nacional si cumple un papel importante en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares de la región caribe, ya que, gracias a su intervención de promoción, prevención sostenimiento, desarrollo y conservación, según lo o expuesto hasta el momento, es importante destacar que los manglares y estuarios son ecosistemas de importancia para la especie humana. Es cierto que existen actividades que ponen en riesgo su sostenibilidad y desarrollo, pero existen entidades como MinAmbiente, Corporaciones e instituciones como la armada y la DIMAR que cumplen un papel importante en la preservación y control de los ecosistemas marinos: estuarios y manglares en la región caribe.

El desarrollo sostenible, busca promover el crecimiento económico atendiendo las necesidades sociales y siendo responsable con el medio ambiente, como lo indica Gómez Gutiérrez existen unos objetivos que no se pueden desconocer en este modelo de desarrollo:

“Revivir el crecimiento económico. Cambiar cualitativamente el crecimiento. Satisfacer necesidades elementales de trabajo, alimentación, agua, energía y sanidad. Asegurar un nivel sostenible de población. Conservar y reforzar la base de recursos naturales. Reorientar la tecnología y el manejo de riesgos. Unir los aspectos económicos y ambientales en la toma de decisiones” (Gómez, s.f., pág. 99)”.

Es cierto que el avance en investigaciones y las acciones desarrolladas por la DIMAR son pieza fundamental para la conservación y protección de estos ecosistemas, por medio de estos datos analizados se considera necesario una mayor articulación entre entidades para hacer valer las diferentes normas en torno a la conservación de los manglares y estuarios de acuerdo a la actividad económica desarrollada en las costas.

Esto, considerando que el desarrollo sostenible busca promover el crecimiento económico de la mano del respeto por los recursos naturales y en que la promoción del desarrollo sostenible , es encontrar un equilibrio entre lo económico y lo ambiental es una necesidad apremiante para todas las naciones, es así como la responsabilidad ambiental se constituye en un factor estratégico

clave dentro de la gestión organizacional y la planeación estratégica de los recursos del país así como lo estipula Trujillo y Vélez Bedoya (2006) Concluyendo así que la Armada Nacional, a través de las corporaciones autónomas y los institutos de investigación del Sistema Nacional Ambiental y la DIMAR promueven acciones de protección y conservación de los manglares dándoles la importancia biológica.

Con lo que respecta en el mal marco del desarrollo sostenible, los gobiernos deberían realizar un papel más dinámico en la difusión de información sobre la cantidad y calidad ambiental, promoviendo la contabilidad de dichos recursos y generando un impacto numérico en sus ciudadanos. Por lo anterior, la DIMAR podría apoyar en esta tarea, con el insumo de las investigaciones que realiza podría generar impacto a través de la publicación de cifras contables ambientales de los recursos estuarinos y de los manglares, permitiendo concientizar sobre el crecimiento de manglares o sobre las cifras de manglares muertos.

Ahora, más allá de realizar tareas de concientización de la disposición de basuras en ríos y en las costas, también es necesario que los productores de estos desechos dispongan adecuadamente de estos recursos. Debe recordarse que las basuras son un problema para manglares y estuarios, por lo tanto

“En el ámbito social, se requiere concientizar a los productores de residuos, sean hogares, el sector comercial, la industria, las empresas de servicios públicas o privadas y el Estado, no solo mediante la educación en materia ambiental, sino también en cuanto asumir su responsabilidad en la gestión de dichos residuos sólidos (Varela, 2013)”.

Es parte de la responsabilidad social, que el Estado pueda crear en la sociedad los conocimientos necesarios para el manejo adecuado del ambiente. Valera López (2013) indica que la capacitación y los estudios básicos son importantes para una adecuada planeación y ejecución de estrategias; en este sentido DIMAR capacita a su personal y realiza concientización con las poblaciones costeras, pero es importante enfocar estas capacitaciones en la comprensión de la naturaleza de los conflictos de uso existentes entre los manglares, estuarios y las actividades humanas, para que de esta forma se generen campañas para actividades pesqueras sustentables, reforestación y desarrollo de actividades extractivas responsables, de acuerdo a la normatividad nacional e internacional. Esto puede permitir que se forme conciencia en la importancia del manglar y en la identificación de los problemas para su sostenimiento y desarrollo en zonas específicas, con apoyo de la población costera.

## **Conclusiones**

Los ecosistemas marinos: manglares y estuarios, son de vital importancia en el desarrollo de la vida humana y de las mismas especies de flora y fauna marítima y terrestre. Son ecosistemas ampliamente relacionados: los manglares se desarrollan en zonas estuarinas, así como en otros sectores de la costa.

Los estuarios son parte del ciclo de desarrollo de diferentes especies marinas, en tanto los manglares han desarrollado adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas para lograr desarrollarse en las condiciones de alta salinidad, poco oxígeno y alto mareaje en el que deben sobrevivir; y cumplen con funciones económicas, sociales y ambientales de gran importancia.

Los manglares proveen de recursos alimenticios y económicos a las comunidades costeras y a diferentes industrias, empero su aprovechamiento comercial está poniendo en riesgo su sostenibilidad, considerando que varias de las actividades comerciales, industriales y extractivas arrasa con zonas de manglares sin considerar las consecuencias ambientales de esto: erosión en las costas, extinción de especies, menos filtros naturales para las aguas que desembocan al mar o disminución de filtros salinos para las aguas que van del mar a la tierra.

La Armada Nacional no solo tiene la función de garantizar la soberanía marítima del país, además de esto también tiene la responsabilidad de velar por el desarrollo sostenible, a través de la protección del medio marino y sus ecosistemas. Por lo anterior cuenta con la DIMAR y con dos centros de investigación que le permiten investigar y ejecutar proyectos para la promoción y prevención de la explotación en los ecosistemas marinos. Así mismo, la DIMAR es la entidad encargada de entregar las licencias y permisos de explotación, por lo que debe actuar de manera integral con otras autoridades ambientales para ejercer un control adecuado sobre el control de estas actividades, garantizando la sobrevivencia y protección de manglares y estuarios.

El desarrollo sostenible y la responsabilidad social ambiental, sientan precedentes para el actuar de la DIMAR en aspectos como el manejo de residuos sólidos, la concientización en torno al daño ambiental y el desarrollo económico sostenible que permita conservar y proteger los ecosistemas marinos.

## Referencias

- Ambiente, M. d. (2019). *Los Manglares de Colombia. Obtenido de Manglares*: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=412:plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-14>
- Armada Nacional de la República de Colombia. (2015). *Plan Estratégico Naval 2015-2018*.
- Castaño Uribe, C. (1989). Manglares de Colombia: Cuna de la civilización. En H. V. Prah, B. Villegas, & C. Uribe (Edits.), *Manglares de Colombia* (págs. 13-20). Bogotá: Villegas Editores.
- Comisión Colombiana del Océano [CCO]. (2007). Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros. *Serie Documentos Generales INVEMAR No. 19*, 1-56. doi:Santa Marta



- Congreso de la Republica. (21 de 01 de 1997). *Convención Relativa a los Humedales de*. Obtenido de LEY 357: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0357\\_1997.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0357_1997.pdf)
- Congreso de la Republica. (16 de 06 de 2011). *Parrafo primero* . Obtenido de LEY 1450 : [https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/docs/ddr/CompiladoNormativo\\_Parte3.pdf](https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/docs/ddr/CompiladoNormativo_Parte3.pdf)
- Constitución Nacional. (DE 1978). *DECRETO 1681* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8228>
- Corte Constitucional. (04 de 11 de 1994). *Corte Constitucional*. Obtenido de Ley 165: <https://www.lexbase.co/lexdocs/indice/1994/l0165de1994>
- Cortés Castillo , D. V. (2017). Vegetación estuarina y vegetación acuática de complejos cenagosos del Caribe colombiano. *Tesis para optar al título de Doctor en ciencias-biología*. Bogotá, Colombia: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Cosntitucion de Colombia. (1991). *Artículo 80*. Obtenido de Título 2 - De los derechos, las garantías y los deberes / Capítulo 3: De los derechos colectivos y del ambiente : <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-80>
- Cosntitucion Politica. (1991). *Artículo 79*. Obtenido de / Título 2 - De los derechos, las garantías y los deberes / Capítulo 3: De los derechos colectivos y del ambiente : <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-79>
- Cosntitucion Politica de Colombia. (1991). *Artículo 8*. Obtenido de Titulo 1- De los principios fundamnetales: <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-1/capitulo-0/articulo-8>
- Díaz Cano, M. (2015). Afección y protección de ecosistemas marino-costeros en Colombia. *Verbum*, 10(10), 95-116.
- Díaz Gaxiola, J. M. (2011). Una revisión sobre los manglares: características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: caso sistema lagunar de Topolobampo. *Revista Ra Ximhai*, 7(3), 355-369.
- Díaz Merlano, J. M. (2007). *Deltas y Estuarios de Colombia*. Edición Virtual: IM Editores; Banco de Occidente . Obtenido de <https://www.imeditores.com/banocc/deltas/>
- DIMAR. (2017). *Informe de gestión*. Bogotá: El autor.
- Dirección General Marítima [DIMAR]. (2014). *Informe ejecutivo de gestión*. Bogotá: El Autor.

- Dirección General Marítima y Portuaria. (18 de 09 de 1984). *DECRETO 2324*. Obtenido de Artículo 4º : <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1436346>
- El congreso de la Republica de Colombia. (1993). *LEY 99*. Obtenido de ARTÍCULO 103.- Del Apoyo de las Fuerzas Armadas: <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
- Field, C. (1996). *La restauración de ecosistemas de manglar*. Okinawa: Sociedad Internacional para Ecosistemas de Manglar.
- Gómez Gutiérrez, C. (s.f.). El desarrollo sostenible: Conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. *UNESCO*, 90-111. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Hurtado de Barrera, J. (2010). *Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia*. Bogotá: Ediciones Quirón.
- Hutchings, P., & Saenger, P. (1987). *Ecology of mangroves*. St Lucia: University of Queensland Press
- INVEMAR. (2004). Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia . El autor.
- INVEMAR. (2016). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de Colombia. *Serie de Publicaciones Periódicas*(3), 200.
- Majluf, P. (2002). *Los ecosistemas marinos y costeros*. Lima: Proyecto Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino.
- Márquez, G. (1996). Biodiversidad marina: aproximación con referencia al Caribe. *Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental*, 67-102.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (27 de 09 de 2011). *Decreto 3570*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/Ministerio/Misi%C3%B3n\\_y\\_Vision/dec\\_3570\\_270911.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/Ministerio/Misi%C3%B3n_y_Vision/dec_3570_270911.pdf)
- Ministerio del Medio Ambiente. (22 de 12 de 1993). *LEY 99*. Obtenido de Fundamento de la Política ambiental colombiana: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html)

- Ministerio del Medio Ambiente. (28 de 02 de 2004). *Resolucion 0721 de 2002*. Obtenido de [http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2004/45475/r\\_mma\\_0721\\_2002.html](http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2004/45475/r_mma_0721_2002.html)
- Ministerio del Medio Ambiente Acofore OIMT. (1998). *Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano*. (H. Sanchez Paez, G. Ulloa Delgado, & R. Alvarez Leon , Edits.) Obtenido de Proyecto PD/171/91 Rev 2 (F) Fase II, Etapa I "Conservación y manejo para el uso múltiple y el desarrollo de los manglares en Colombia: [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD171%2091/pd171-91-p2-s1-6%20rev2\(F\)%20s.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD171%2091/pd171-91-p2-s1-6%20rev2(F)%20s.pdf)
- Ministerio del Medio Ambiente, Asociación colombiana de reforestadores [ACOFORE], Organización internacional de maderas tropicales [OIMT]. (1998). *Conservación y uso sostenible de los manglares del pacifico colombiano*. (H. Sanchez Paez, O. Guevara Mancera, & R. Alvarez Leon , Edits.) Santa Fe de Bogotá: Proyecto PD 171/91 Rev. 2 (F) Fase II (Etapa J) "Collservacion y Manejo para el Uso Multiple y el Desarrollo de los Mallglares ell Colombia".
- Trujillo, M. A., & Vélez Bedoya, R. (2006). Responsabilidad ambiental como estrategia para la perdurabilidad empresarial. *Universidad & Empresa*, 8(10), 291-308. Obtenido de <http://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/938/839>
- Uribe Pérez , J., & Urrego Giraldo , L. E. (2012). Gestión Ambiental de los ecosistemas de manglar. Aproximación al caso Colombiano. *Revista Gestión y Ambiente*, 12(2), 52-72.
- Varela López, L. V. (2013). Estado del Arte de la Responsabilidad Social. *Revista Gestión y Desarrollo*, 55-73.
- Vera, M. D. (2014). Estudio de caso. Ecosistema manglar y agua: estuario del río Chone-Manabí. En F. N. Hidricos, Páramos, estuarios, manglares y cambio climático (págs. 245-260). Quito: Carlos Zambrano C., CAMAREN.
- Waldichuk, M. (1977). *La contaminación mundial del mar: una recapitulación*. Vancouver: Unesco.
- Walsh, G. (1974). Mangroves: A review. En R. J. Reimhold, & W. H. Queen (Edits.), *Ecology of halophytes* (págs. 51-174). New York: Academic Press.
- Zarate Díaz, J. D., & Gutiérrez Ospino, W. E. (2013). *Estrategias gerenciales como mecanismo de responsabilidad social en el sector turístico de Santa Marta-Colombia*. *Clio América*, 7(14), 153 – 163. Obtenido de <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/clioamerica/article/view/759>



*Espada oficial naval para honores*

---

## VIABILIDAD DE UN PROGRAMA DE REFORESTACIÓN DE MANGLAR EN PUNTA RECLUTA, ISLA DE MANZANILLO, CARIBE COLOMBIANO

### Feasibility of a mangrove reforestation program in punta recluta, isla de manzanillo, colombian caribbean

Luz Verónica Delvasto Algarín<sup>1</sup>

Daihana Vanessa González Parra<sup>2</sup>

Mabel Sofia Mendoza Rivera<sup>3</sup>

Recibido: 02/09/2019

Aceptado: 07/11/2019

#### Resumen

Estudios de evolución de línea de costa a partir de fotografías e imágenes satelitales en la Isla de Manzanillo para el período 1937 y 2005 mostraron una pérdida acumulada de 3.3 ha de bosque de manglar en el sector sur denominado Punta Recluta. Se realizaron una serie de recorridos por esta área identificando cuatro especies correspondientes a mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle piñuelo (*Conocarpus erectus*). Fue evidente la gran cantidad de residuos sólidos provenientes de la Bahía de Cartagena que se concentran en la orilla a lo largo de la línea de costa acumulándose particularmente entre las raíces de *R. mangle*. Dado el interés que existe de evitar que continúe la pérdida progresiva de la cobertura boscosa, se identificaron dos sitios susceptibles para iniciar un programa de reforestación de manglar, en primera instancia para establecer el vivero y para iniciar a futuro la reforestación con *R. mangle*.

**Palabras clave:** Manglar, reforestación.

#### Abstract

Studies of the evolution of the coastline from photographs and satellite images in the Island of Manzanillo for the period 1937 and 2005 showed an accumulated loss of 3.3 ha of mangrove forest in the southern sector called Punta Recluta. Four mangrove tree species were identified: red mangrove (*Rhizophora mangle*), white mangrove (*Laguncularia racemosa*), black mangrove (*Avicennia germinans*) and button mangrove (*Conocarpus erectus*). It was evident that a large amount of solid waste from the Bay of Cartagena is concentrated on the shore along the coastline, accumulating particularly between the roots of *R. mangle*. Given the interest in preventing further progressive loss of forest cover, two susceptible sites were identified to initiate a mangrove reforestation program, first to establish the nursery and then to initiate future reforestation with *R. mangle*.

**Keywords:** Mangrove, reforestation.

<sup>1</sup> Estudiante de ciencias navales. Escuela Naval de cadetes "Almirante Padilla". luz.delvasto@escuelanaval.edu.co

<sup>2</sup> Estudiante de ciencias navales. Escuela Naval de cadetes "Almirante Padilla". davagopa@gmail.com

<sup>3</sup> MSc. En Oceanografía Física. Coordinadora grupo de investigación de oceanografía. Escuela Naval. mabel.mendoza@escuelanaval.edu.co.

## Introducción

La ciudad de Cartagena de Indias (10.3601 – 75.5966 NW) ha experimentado en las últimas décadas una rápida transformación urbanística no sólo por ser referente turístico en el Caribe, sino por el aumento de las actividades portuarias e industriales que se desarrollan al interior y en su periferia. No obstante, este crecimiento ha traído como consecuencia la transformación negativa del entorno, en particular del ecosistema de manglar, ya que se ha dado el conflicto entre la conservación de este frente al uso alternativo del suelo para obras de ampliación de vías, edificios o uso recreativo para la ciudad (De La Rosa, Julio, Rodríguez, & García, 2008). Esta situación también se ha presentado en la Isla de Manzanillo como lo señalan (Olarte & Gómez, 2010), en los años 1955 y 1960, se presentaron asentamientos humanos en las orillas del caño “El Zapatero”, los nuevos residentes de la isla talaron el manglar y rellenaron diferentes sectores del caño, suspendiendo por completo la circulación del agua por esta zona lo que produjo un estancamiento de las aguas del canal y además, se pavimentó la carretera existente para el ingreso a las Instalaciones de la Escuela Naval. Para devolver el régimen hidrodinámico, biológico, la interconexión entre los cuerpos de agua y separar nuevamente la isla del continente, en 1995 se removieron aproximadamente 100.000 metros cúbicos de terreno, creándose un canal navegable, con una profundidad de 3 metros, conocido actualmente como el caño El Zapatero (De Lisa, 2003).

Uno de los pocos reductos de manglar que aún quedan en la ciudad se encuentra en la Isla de Manzanillo en el sector de Punta Recluta, bajo la jurisdicción de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. Esta entidad realizó un estudio integral de la Isla de Manzanillo, y al comparar la variación de las líneas de costa a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales se evidenció un marcado proceso erosivo y retroceso en la cobertura de manglar del sector de Punta Recluta desde 1937 con un área total de pérdida de 3.3 ha (Puello, y otros, 2012). Las especies de mangle se caracterizan por presentar adaptaciones morfológicas y fisiológicas para crecer en terrenos inestables, anaerobios e inundados, con influencia salina, no obstante también resultan sensibles a tensores ambientales, y para su debida preservación se deben cuáles son los factores que influyen en este ya sea de manera positiva o negativa, con el fin de identificar la causa de su degradación. Dada la importancia que el ecosistema de manglar tiene para la protección de la línea de costa frente a los procesos erosivos, es necesario plantear la viabilidad de implementar un programa de reforestación como iniciativa para posibilitar su regeneración por medio del trasplante de plántulas obtenidas por la técnica de vivero, y así recuperar las áreas donde es notoria la pérdida de cobertura boscosa. Es así como esta investigación liderada por la facultad de Oceanografía Física se identificaron los sitios susceptibles a ser reforestados, así como el sitio potencial para establecer un vivero de manglar.



## Método

Se programaron dos salidas de campo de tipo exploratorio alrededor de la Isla de Manzanillo siguiendo el recorrido en sentido sur norte por el caño El Zapatero en el costado oeste con el propósito de identificar las especies de manglar, grado de conservación y su distribución. En el sector norte de la Isla se encuentra el área urbanizada y en el sector sur se encuentran los campos deportivos, la escuela contraincendios y el ecosistema de manglar de Punta Recluta (Fig. 1). Dentro de Punta Recluta, se encontraron dos claros principales, sitios con escasa o nula presencia de manglar, sobre los que se realizó un recorrido para determinar su extensión e identificación de los factores ambientales que impiden el asentamiento y/o regeneración natural del manglar. En uno de los claros se estableció una parcela de 10 x 10 m. Dentro de esta parcela, se realizaron tres (3) cuadrantes de 3.3 m x 3.3 m perpendiculares a la línea de costa (Ulloa , y otros, 1998) para realizar una evaluación de las especies de manglar presentes, número y calidad de plántulas en proceso de regeneración. Con un metro se tomó la longitud de cada una de las plántulas desde su base hasta su ápice. Se colectaron las semillas en el área teniendo en cuenta las dimensiones de longitud y grosor con un nonio, y peso con una balanza.



**Figura 1.** Isla de Manzanillo A. Sector Norte, área urbanizada. B. Sector Sur, Punta Recluta

## Resultados Y Discusión

De las cinco especies típicas de mangle para el Caribe colombiano (Ulloa , y otros, 1998), se pudieron identificar en la Isla de Manzanillo cuatro especies correspondientes a mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle piñuelo (*Conocarpus erectus*). *R. mangle* es la especie más abundante particularmente en el área de influencia del caño El Zapatero donde se presenta mayor inundación y el tipo de suelo es lodoso, seguida de *A. germinans* la cual se encuentra en suelos de arena gruesa, siendo además las que presentaron mejor estado de conservación, a diferencia de *L. racemosa*, En ella que se observaron plantas con manchas blancas en el sector que colinda con las aguas del caño El Zapatero al oeste de la



isla, mientras que las plantas de la misma especie en el sector norte de la Isla no presentan esta afección. Por otra parte, las plantas de *C. Erectus* presentan una alta presencia de insectos en el área urbanizada del sector norte. Se hizo patente además la gran cantidad de residuos sólidos que se concentran en la orilla a lo largo de la línea de costa. Aquellos lugares donde se concentran las actividades náuticas por parte de los cadetes permanecen libres de residuos sólidos, ya que estas áreas reciben mantenimiento continuo a diferencia de Punta Recluta donde las actividades son mínimas. Cabe mencionar que en Punta Recluta se han realizado cuatro jornadas de limpieza con los cadetes y en una de estas que abarcó un área de 40 m<sup>2</sup> se colectaron 1120 kg de residuos sólidos. La gran cantidad de basuras y elementos ajenos al ambiente pueden ser un factor que impide que las semillas de manglar lleguen al sustrato (Fig. 2).



*Figura 2. Estado de acumulación de residuos sólidos entre las raíces de R. mangle*

Al evaluar los resultados obtenidos en la parcela de 10 x 10 m, se identificó la predominancia de 135 plántulas de la especie *R. Mangle*, indicando regeneración natural en el área. La longitud promedio de las plántulas se ubicó en 37.76 cm. Se realizó además el conteo y clasificación de residuos sólidos presentes en la parcela encontrando la predominancia de residuos plásticos particularmente envases y bolsas, que en conjunto equivalen a un 20% del área total. Si bien la presencia abundante de hojarasca es predominante en el claro, y su descomposición favorece el desarrollo de las plántulas, también es evidente que la acumulación de residuos sólidos pueden llegar a impedir el asentamiento de las semillas. En la parcela se recolectaron diez semillas de *R. Mangle* y uno de *C. Erectus* las cuales presentaban buen aspecto y no estaban afectadas por insectos. La longitud promedio de las semillas para *R. mangle* fue de  $14.77 \pm 1.74$  y el peso promedio se ubicó en  $7.55 \pm 0.67$  g.

A partir de la información colectada se planteó que la especie inicial con la que se quiere iniciar el proceso de germinación hasta llegar a plántula debe ser *R. Mangle* por la disponibilidad de semillas en el medio, al ser esta la especie más abundante

en Punta Recluta. Cabe anotar que esta especie además es idónea para comenzar procesos de reforestación en la línea de costa por el crecimiento de sus raíces que le confieren gran estabilidad, afianzando el terreno alrededor. Para establecer el vivero es necesario contar con un área que cuente con flujo de agua salobre y que se ubique en un área cercana al o los sitios que se quieren recuperar (Ulloa, Rodríguez, Gil, & Pino, 1998). Por lo anterior, después de consultar con la Oficina de Planeación y Ambiente, así como con la Oficina de Gerencia de Proyectos de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”, se determinó que el mejor sitio para establecer un vivero de dimensiones 10x15 m y una altura de 2 m sería el sector anterior a la escuela de contraincendios que dista entre 120 y 230 m de los claros que se quieren reforestar y a su vez se puede reforestar el área anterior que se usa en la actualidad como vertedero. Una vez se establezca el vivero es posible llevar a cabo investigaciones por parte de los cadetes en evaluación de parámetros de crecimiento versus variables fisicoquímicas del suelo. De esta forma se propone inicialmente establecer dos ciclos de producción inicial de 50 plántulas con una duración de tres meses desde la siembra hasta el trasplante.

### **Conclusiones**

Después de evaluar las especies y su distribución en Punta Recluta, se determinó que la especie *R. mangle* es la más abundante a lo largo de la línea de costa, y sería ideal iniciar un programa de reforestación tendiente a recuperar el área boscosa en Punta Recluta, teniendo en cuenta que es una especie que favorece la estabilidad del terreno frente a los procesos erosivos.

Resulta perentorio establecer medidas de remoción de sólidos en el área de Punta Recluta, si bien estos son producidos en el área de la Bahía de Cartagena, su continua acumulación se convierte no sólo en un tensor ambiental sino que puede afectar el proceso de asentamiento de las semillas de manglar y por lo tanto su regeneración natural

Se identificaron dos claros en el área de Punta Recluta donde se pueden realizar los primeros ensayos de reforestación y de acuerdo a la distancia que debe darse entre el vivero y estos, se estableció que la zona anterior a la escuela de Contraincendios es el sitio ideal para establecer el a futuro vivero y dar inicio al programa de reforestación con el apoyo de la comunidad de la Escuela Naval.

## Referencias

- De La Rosa, M. L., Julio, C., Rodríguez, M., & García, A. (2008). *Valoración económica de los manglares urbanos de la ciudad de Cartagena de Indias: una aplicación a la gestión ambiental*. Cartagena de Indias: Pontificia Universidad Javeriana - Universidad Tecnológica de Bolívar.
- De Lisa, A. (2003). *Estudio de la hidrodinámica y renovación de aguas del caño El Zapatero*. Cartagena de Indias: Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla".
- Olarte, J. C., & Gómez, W. (2010). *Análisis multitemporal (1937 - 2010) de la línea de costa de la Isla de Manzanillo, por efecto del oleaje y procesos antrópicos (Bahía de Cartagena - Colombia)*. Cartagena D.T. y C.: Facultad de Oceanografía Física. Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla".
- Puello, A., Mayo, G., Betancur, S., Payares, J. L., Carmona, H., & Martín, E. N. (2012). *Informe Técnico Final. Estudio Integral de la Isla de Manzanillo*. Cartagena de Indias D.T. y C.: Wise Innovations - Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla".
- Ulloa, G., Sánchez, H., Gil, W., Pino, J., Rodríguez, H., & Álvarez León, R. (1998). *Conservación y Uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente - ACOFORE - OIMT.
- Ulloa, G., Rodríguez, H., Gil, W., & Pino, J. (1998). *Manual sobre técnicas de vivero y restauración de áreas de manglar del Caribe colombiano*. Bogotá: Ministerio de Ambiente / ACOFORE / OIMT.

## DISEÑO DE UN MODELO ESTADÍSTICO DE ESTACIONES ANTÁRTICAS PARA LA SELECCIÓN DE UNA BASE TEMPORARIA COLOMBIANA.

### Design of a statistical model of antarctic stations for the selection of a colombian temporary base.

Rafael Humberto Toro Machuca\*

Recibido: 6 /6/2019

Aceptado: 2/9/2019

#### Resumen

Mediante la Ley 67 de 1988, la cual fue aprobada por el congreso de la Republica de Colombia el 31 de enero de 1989, Colombia se adscribió al Tratado Antártico siendo miembro adherente. Esto se convierte en uno de los objetivos del Gobierno Nacional ser parte consultiva del tratado. Para llegar a ser miembro consultivo es importante demostrar la realización investigaciones científicas importantes en la región y la construcción de una base antártica. Para ello el gobierno nacional, a través de la Comisión Colombiana del Océano, diseñaron en el año 2014 la Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035, y en el año 2015 el Programa Antártico Colombiano. Es por ello que el presente artículo realiza un estudio de las diferentes bases antárticas en servicio presentando un modelo de regresión lineal múltiple, cuyo coeficiente de determinación supera el 80% de representación de variabilidad. Lo anterior con el objetivo de permitir el dimensionamiento inicial de la futura base antártica colombiana aportando así al cumplimiento de los objetivos de la nación en tópicos antárticos.

**Palabras clave:** Antártida, Tratado Antártico, estación permanente, estación temporaria.

#### Abstract

Through Law 67 of 1988, which was approved by the Congress of the Republic of Colombia on January 31, 1989, Colombia adheres to the Antarctic Treaty as an adherent member. This becomes one of the objectives of the national government to be a consultative part of the treaty. To become a consultant it is important to demonstrate the realization of important scientific research in the region and the construction of an Antarctic base. For this, the national government, through the Colombian Ocean Commission, designed in 2014 the Antarctic Scientific Agenda of Colombia 2014-2035, and in 2015 the Colombian Antarctic Program. That is why this article makes a study of the different Antarctic bases in service presenting multiple linear regression model, whose coefficient of determination exceeds 80% of variability representation. The above with the objective of allowing the initial dimensioning of the future Colombian Antarctic base, thus contributing to the fulfillment of the nation's objectives in Antarctic topics.

**Keywords:** Antarctica, Antarctic Treaty, permanent station, temporary station.

\*Especialista en Política y Estrategia Marítima. Jefe Oficina Planeación Base Naval ARC "Bolívar"

## Introducción

El interés de Colombia en las cuestiones antárticas se fundamenta primordialmente en la circunstancia en el que la isla de Malpelo, estando ubicada a  $3^{\circ} 51' 07''$  de latitud Norte y  $81^{\circ} 35' 40''$  de longitud Oeste, es la más occidental del país sobre el Océano Pacífico, a 270 millas náuticas al oeste de Buenaventura, y sería la única parte del territorio nacional que le permitiría a Colombia hacer reclamaciones de tipo territorial en la Antártida a través de la proyección geográfica sobre este continente representada en el triángulo que forman sobre el mismo los meridianos dentro de los cuales se enmarca la isla. Esta circunstancia, permitirá a Colombia, aplicar la hipótesis expuesta conocida como Teoría de la Defrontación, “que se basa en el enfrentamiento de las costas, a través de sus meridianos extremos, con la Antártida. No como una forma para realizar reclamaciones territoriales, sino para acceder de manera más explícita a investigaciones y exploraciones en esta vasta región (Uribe, 2003, p. 89).

En la actualidad la República de Colombia ha desistido de contemplar la Teoría de la Defrontación como fundamento para constituirse como país Consultivo del Tratado Antártico debido a que la Isla de Malpelo se encuentra ubicada en el hemisferio Norte lo cual desvirtuaría cualquier tipo de reclamación territorial sobre un continente ubicado en el hemisferio sur. Debido a que en materia de política exterior se continúa el propósito de convertir a Colombia como Estado Consultivo del Tratado Antártico, se ha demostrado en los últimos años el interés de realizar importantes investigaciones científicas en ese continente (Ochoa, 2015).

El tratado establece dos categorías de miembros: Partes Consultivas y Partes no Consultivas. El criterio para ser parte de cada selecto grupo depende en gran medida de su capacidad de realizar considerables investigaciones de carácter científico y contar con el equipo necesario para mantenerlas y llevarlas a cabo (Gomez & Melo, 2014).

Por lo anterior, Colombia está en un proceso de cambiar su posición frente al Tratado Antártico, al que se adhirió en 1989, que le permita en el futuro ser miembro consultivo de mencionado sistema. El ávido interés de Colombia sobre la Antártica nace de procesos encaminados a la protección y conservación del continente blanco y de la importancia de diversos factores que retribuyen con beneficios considerables al desarrollo marítimo, ambiental y económico del país (Comisión Colombiana del Océano, 2014).

Para lograr ese fortalecimiento de estudios científicos nacionales, se hace necesario contar con una infraestructura propia. El establecimiento de una base temporaria en la Antártica representa uno de los grandes retos del PAC, puesto que la adquisición de instalaciones físicas en ese territorio destinada al desarrollo de las investigaciones, significaría de un lado, el favorecimiento de un gran avance para las ciencias en Colombia y de otro, el posicionamiento y la potencialización de los asuntos antárticos al interior y fuera del país (Comisión Colombiana del Océano, 2015).

Con el propósito de dar continuidad a la materialización de los intereses del país, y en particular con las necesidades de ciencia y tecnología que actualmente vienen adelantando las distintas universidades nacionales, y además con el fin de concretarse los objetivos de Colombia en la Antártida, se hace necesario tener presencia ya sea durante el verano austral o de manera permanente en el continente blanco.

Para ello, el gobierno nacional utiliza como herramienta principal el Programa Antártico Colombiano, el cual se fue proyectado en cinco etapas principales, de las cuales se han culminado satisfactoriamente las dos primeras mediante cuatro expediciones científicas, desarrolladas y dirigidas por la Comisión Colombiana del Océano (CCO) en conjunto con la Armada Nacional y demás instituciones gubernamentales y universidades del país. A la fecha, la Etapa I y II se encuentran ejecutadas al realizar investigaciones científicas en buques o estaciones de países cooperantes. Las etapas III y IV, se relacionan con el establecimiento de una base temporaria y permanente, y la llegada al polo sur geográfico, significando el máximo despliegue de capacidades del país en términos de internacionalización, comunicaciones estratégicas, ciencia, tecnología y educación, evaluación y seguimiento, y presencia de Colombia en la Antártida.

En consecuencia, el presente artículo pretende diseñar un modelo estadístico para la selección de la próxima base temporaria colombiana con el fin de impactar en la consecución del objetivo seis del Programa Antártico Colombiano (PAC) con miras al establecimiento de la próxima base temporaria de Colombia, el cual permitirá estimar algunas variables a tener en cuenta dentro del desarrollo de las etapas III y IV diseñadas por la CCO

## **Método**

Se realizó una investigación documental con el fin de determinar los antecedentes y estado de acuerdo a la definición holística el holotipo de investigación del presente trabajo es la proyectiva, cuyo objetivo es diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones (Hurtado, 2010), y donde el objetivo principal es la elaboración de un modelo que sirva de insumo para el cumplimiento del objetivo seis del PAC permitiendo definir variables que denominaremos inicialmente como: dimensiones físicas principales, y cantidad de personal científico y de planta. Para lograr este objetivo es necesario conocer cuáles son las dimensiones principales y capacidades de las bases existentes hoy en día las cuales servirán de insumo para el diseño del modelo.

En la primera fase se recopiló la información relacionada con las dimensiones y capacidades de las bases antárticas de los 31 países que tienen bases temporarias o permanente actualmente. Esta información está consignada en documentos institucionales, los informes finales de las expediciones II y III, y la información contenidas en las páginas electrónicas de las instituciones encargadas de los programas antárticos de los países con bases instaladas. Igualmente se tuvo en cuenta el catalogo publicado por el Council of Managers of National Antarctic

Program (COMNAP) que permitió contar con todas las variables de las dimensiones capacidades principales de las bases antárticas actuales.

Por último, se analizó e interpretó la información dada para luego extraer los datos de dimensiones principales y capacidades instaladas. Para el análisis estadístico se utilizó el método de regresión lineal múltiple. En el análisis de estas variables independientes y dependientes fueron definidas mediante el método de selección de variables backward o hacia atrás. Para la estimación del modelo estadístico se usó el método de regresión lineal múltiple (Gutierrez, 2008).

La herramienta de tratamiento de datos y análisis estadístico fue el software Minitab® versión gratuita 18.1

### **Coefficiente de correlación de Pearson.**

El coeficiente de correlación, representado en la Ecuación 1

Ecuación 1, es una medida de la intensidad lineal entre dos variables para las que se dispone de datos de intervalo o de regresión. El valor del coeficiente de correlación va de  $-1 < r < 1$ ; si  $r$  es próximo a  $-1$ , entonces tendremos una relación lineal negativa fuerte, y si  $r$  es próximo a cero, entonces diremos que no hay correlación lineal, y finalmente si  $r$  es próximo a  $1$ , entonces tendremos una relación lineal positiva fuerte, ver Ecuación 1, (Gutierrez, 2008).

Ecuación 1. Coeficiente de correlación de Pearson. Fuente: Gutierrez (2008)

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad (1)$$

### **Regresión lineal múltiple**

En el presente artículo, se analiza la variable dependiente ABT, las cuales fueron las que presentaron un mayor factor de correlación lineal. La ecuación que describe la forma en que la variable dependiente y se relaciona con las variables independientes  $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_p$  y un término de error se llama modelo de regresión. En la Ecuación 2 se observa la forma del modelo de regresión (Anderson, 2012).

Ecuación 2. Modelo de regresión lineal múltiple. Fuente: Gutiérrez (2008).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p \quad (2)$$

Se verificaron los cuatro supuestos: homocedasticidad (método gráfico), Independencia (método Durbin-Watson), y normalidad (método Kolmogorov- Smirnov).



### Coeficiente de determinación $R^2$

Este coeficiente se puede interpretar como la proporción de variabilidad de la variable dependiente que se puede explicar con la ecuación de regresión múltiple (Anderson, 2012). En nuestro caso se interpreta como la variabilidad porcentual de la variable dependiente que se explica con la ecuación de regresión. El coeficiente representado por  $R^2$  se calcula acuerdo la Ecuación 3.

Ecuación 3. Ecuación del coeficiente de determinación. Fuente: Gutiérrez (2008).

$$R^2 = \frac{SCMod}{SCTotal} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Donde  $SCMod$  es la suma de cuadrados del modelo,  $SCTotal$  es la variabilidad total,  $\hat{y}$  es el valor predicho,  $\bar{y}$  es la mediana de cada valor predicho, e  $y$  es el valor de la variable dependiente.

### Coeficiente de determinación $R^2$ ajustado

Cuando evaluamos un modelo de regresión lineal múltiple nos interesa decidir si una variable dada mejora la capacidad para predecir la respuesta comparando el  $R^2$  de un modelo que contiene la variable, con el  $R^2$  del modelo sin la variable. En la Ecuación 4 se observa cómo se calcula el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado.

Ecuación 4. Coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado. Fuente: Gutiérrez (2008).

$$R^2_a = \frac{n - 1}{n - (p + 1)} (1 - R^2) \quad (4)$$

Donde  $n$  es el número de observaciones de la variable independiente,  $p$  es el número de variables independientes y  $R^2$  es el coeficiente de determinación definido en el numeral anterior

## Resultados

### Revisión documental

En la Segunda Expedición Científica de Colombia a la Antártica “Almirante Lemaitre” se elaboró el trabajo de investigación titulado “Propuesta preliminar para la instalación de una base temporaria colombiana en la Antártida.” En la Tercera Expedición Científica de Colombia a la Antártida “Almirante Padilla” se efectuó el trabajo de investigación titulado “Localización óptima de una base temporaria en la Antártida que minimice los costos de la operación científica sujeto a restricciones geográficas y geopolíticas”. El informe del proyecto sirvió de guía para poder

conocer cómo están organizados los cargos principales y de forma general cómo se componen las instalaciones físicas como laboratorios, bodegas, entre otros. Aunque no se presentaron las áreas construidas de las instalaciones que tiene la base Marambio, tampoco relacionaron la capacidad de personal parcial o total que puede permanecer dentro de las instalaciones. En el proyecto de investigación: “Localización óptima de una base temporaria en la Antártida que minimice los costos de la operación científica sujeto a restricciones geográficas y geopolíticas”, permite observar como es la base antártica permanente Comandante Ferraz, presenta la organización de los cargos principales. Muestra también, de forma somera los espacios locativos, mediante los cuales funciona la base antártica. En el proyecto no se muestran las capacidades, de forma individual, de los espacios locativos tales como el área construida, como tampoco se referencia la capacidad de personal de investigadores ni personal de planta que puede permanecer durante las campañas en verano austral o invierno.

En otro aparte, el Council Of Manager Of National Antarctic Programs – COMNAP (en su traducción: Consejo De Gestores De Programas Antárticos Nacionales) es la asociación internacional, formada en 1988, que reúne a sus miembros, que son los Programas Nacionales Antárticos. En el año 2017, este consejo publicó el documento llamado Catálogo de Estaciones Antárticas (Antarctic Station Catalogue, título del libro en inglés). Este catálogo es en realidad una recopilación de la información principal y específica de cada una de las bases activas (Council of Manager of National Antarctic Program, 2017). Para la recopilación de los datos fueron seleccionadas 70 bases antárticas, debido a que eran las bases que presentaron la información (datos) completos, ver Tabla 1.

Estas variables se definieron utilizando el factor de correlación de Pearson con un valor mayor de  $r > 0.5$

**Tabla 1.**  
*Definición y características de las variables tomadas para el modelo estadístico.*

<b>Variable</b>	<b>Código</b>	<b>Unidad de medida</b>
Área bajo techo	ABT	m <sup>2</sup>
Número de personal en la estación, verano.	NPV	Núm. de personas
Número de científicos en la estación, verano.	NCV	Núm. de personas
Número máximo de personas al tiempo.	NMP	Núm. de personas
Staff con entrenamiento medico básico o doctor, verano.	SMD	Núm. de Personas
Área instalaciones médicas.	AMD	m <sup>2</sup>

Las variables a tener en cuenta son las siguientes:

- ABT (Área bajo techo): Es el área total construida que se encuentra techada
- NPV (Número de personal en la estación, verano): Es la cantidad de personal de planta

que se encuentran en la estación durante el verano austral

- NCV (Número de científicos en la estación, verano): Es la cantidad de científicos destacados durante las expediciones en el verano austral
- NMP (Número máximo de personas al tiempo): Es la cantidad de personal total que puede permanecer dentro de la estación.
- SMD (Staff con entrenamiento médico básico o doctor, verano): Es la cantidad de personal médico destacado durante las expediciones en el verano austral
- AMD (Área instalaciones médicas): Es el área de instalaciones con capacidad de atención para atención médica.

Dentro del PAC y con el fin de cumplir con el objetivo seis del mismo PAC, la CCO estructuró la etapa III, mediante la cual se proyectó que la estación antártica se establecería en el mediano plazo (5-10 años). Por tal motivo, esta base deberá funcionar entre los meses de noviembre y marzo, correspondientes al verano austral. Para ello la base tendría la capacidad de albergar aproximadamente 10 personas entre las cuales estaría los investigadores y el personal de planta que habrán de garantizar el funcionamiento de la estación, y dentro de la etapa IV, donde se proyecta el establecimiento y funcionamiento de la estación científica permanente, la CCO proyecta a largo plazo (15-20 años), albergar aproximadamente 20 personas entre el personal de planta y los investigadores (Comisión Colombiana del Océano, 2015, p. 22).

### **Análisis exploratorio**

Una vez hallados los coeficientes de correlación de Pearson de las variables de la Tabla 1, se tomaron valores de  $r$  mayores a 0.5 en valor absoluto y cuyo P-value sea menor a una significancia bilateral al menos de 0,05. Existen seis variables relacionadas linealmente entre sí, siendo los vínculos más fuertes los de las variables de área bajo techo (ABT) con número máximo de personal (NMP). Estos coeficientes de correlación permitieron ver la relación lineal existente entre otras variables tales como: NCV, NPV, SMD y AMD.

Posterior a este análisis, se procedió a aplicar el método de regresión lineal múltiple, utilizando todas las variables.

Se escogió la variable ABT como dependiente y desde la cual se representó la variable inicial del modelo realizado. Las demás variables con coeficientes de correlación mayores a 0.65 están en función (independientes).

Posterior a esto se aplicó la transformación de Box-Cox ( $\lambda = 0.5$ ) a la variable ABT aplicando el método de regresión lineal múltiple con todas las variables independientes: NPV, NCV, NMP, SMD, AMD, sin eliminación de variables; se verificaron los supuestos de normalidad homocedasticidad e independencia, cumpliéndolos en su totalidad.

A continuación, se muestra el análisis de regresión lineal múltiple realizado entre las variables A continuación, se muestra el análisis de regresión lineal múltiple realizado entre las variables que definen las bases antárticas. Los modelos lineales se ajustaron por mínimos cuadrados de forma que la variable de respuesta se encuentra explicada al máximo posible por un conjunto de variables independientes. El ajuste se evaluó mediante el coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, que se interpreta como la proporción de variación de la variable de dependiente explicada mediante el modelo de regresión lineal.

El proceso utilizó técnica de selección de variables por pasos conocido como hacia atrás (backward), el cual inició con un modelo que incluyó todos los términos, y paso a paso se le quitaron las variables que menos contribuyeron al ajuste.

### Modelo de regresión para la variable $ABT^{0.5}$

Se obtuvo el resultado de la regresión lineal utilizando la transformación de Box-Cox ( $\lambda = 0.5$ ) para la variable dependiente ABT. Se realizaron cuatro pasos con el método backward, se eliminaron tres observaciones atípicas, utilizando para la regresión 67 observaciones en cada variable. En la Ecuación 5 se muestra la ecuación resultante de la regresión múltiple. Las variables que no contribuyeron en la ecuación son: NPV, NCV, SMD.

Ecuación 5. Ecuación de regresión n.º 1 para variable transformada  $ABT^{0.5}$ . Fuente: Elaboración propia.

$$ABT^{0.5} = 11.86 + 0.4770 \text{ NMP} + 0.1708 \text{ AMD}$$

En la Tabla 2 se observa el análisis de varianza de la Ecuación 5, se observa que las variables significativas NMP y AMD tienen un P-value < 0.05, el cual representan in 81.95% de la variabilidad de  $ABT^{0.5}$  explicados en el modelo. Igualmente, R<sup>2</sup> ajustado del 81.39%.

**Tabla 2.**

*Análisis de varianza del paso 4 de la selección de variables. Variables significativas: NMP y AMD.*

Fuente	GL	SC Ajust.	Valor F	P-value
Regresión	2	28624	145.31	0.000
NMP	1	13065	132.64	0.000
AMD	1	2838	28.81	0.000
Error	64	6304		
Total	66	34928		

Fuente: Elaboración propia.

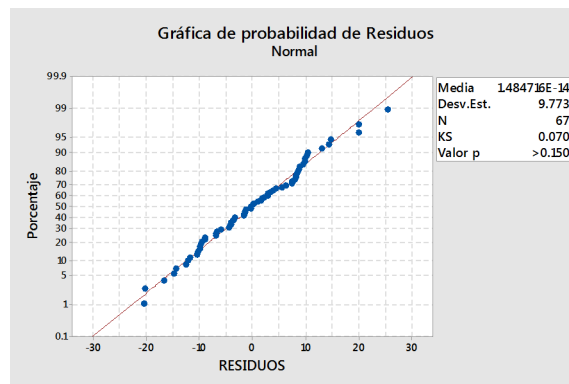
Utilizando los valores de la constante y de cada coeficiente, Tabla 3, se construyó la Ecuación 5.

**Tabla 3.**  
Coeficientes del modelo ajustado y variable transformada  $ABT^{0.5}$ .

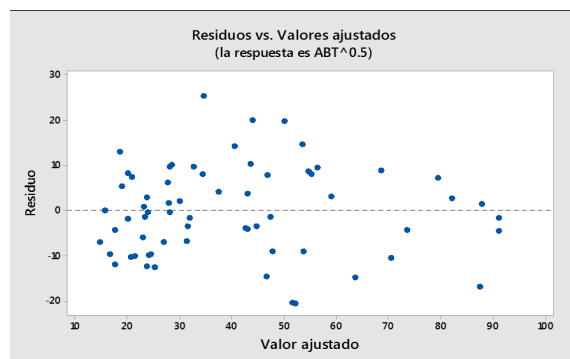
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	P-value
Constante	11.86	2.11	5.63	0.000
NMP	0.4770	0.0414	11.52	0.000
AMD	0.1708	0.0318	5.37	0.000

Fuente: Elaboración propia.

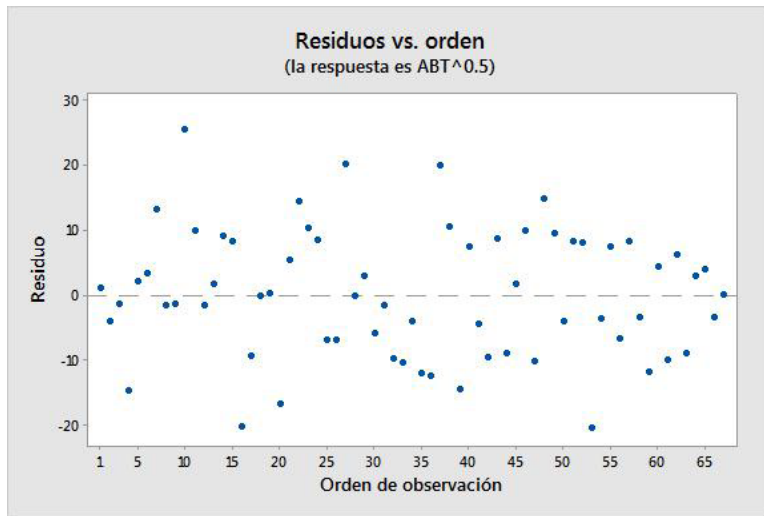
A continuación, se muestran las gráficas donde se cumplen los supuestos de normalidad (Figura 1), homocedasticidad (Figura 2) e independencia (Figura 3).



**Figura 1.** Gráfica de probabilidad de los residuos. Se cumple supuesto de normalidad. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2.** Gráfica de residuos vs. valores ajustados. Se cumple supuesto de homocedasticidad. Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.** Gráfica de residuos vs. orden de observación. Se cumple supuesto de independencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la prueba de Durbin-Watson, el software de análisis arrojó un valor estadístico de 2.08258. que al ser verificados con los límites inferior y superior de la tabla del Anexo B (Toro, 2019),  $dU = 1.664$  y  $dL = 1.544$  respectivamente, se encontró que  $d > dU$ , demostrando el cumplimiento del supuesto de independencia.

Como resultado de la Ecuación 5 se tienen que las variables NMP y AMD influyen positivamente en el resultado de la variable  $ABT^{0.5}$ , lo anterior se concluye porque los coeficientes de las variables significativas son positivos. De forma individual, a medida que cada variable de la Ecuación 5 aumenta la variable  $ABT^{0.5}$  aumenta.

Al cumplirse los supuestos, se concluye que la Ecuación 5 se ajusta un 81.39% para las predicciones que deban realizarse.

### Predicción de las variables dependientes

Recordemos que se halló la Ecuación 5 en el que su variable dependiente con transformada fue  $ABT^{0.5}$  en función de sus respectivas variables independientes. A continuación, se muestra el cálculo de las variables dependientes bajo un caso hipotético. Se muestran nuevamente las ecuaciones antes mencionadas.

$$ABT^{0.5} = 11.86 + 0.4770 \text{ NMP} + 0.1708 \text{ AMD} \quad (5)$$

En la Ecuación 5, se utilizó valor de 10 para NMP, el cual corresponde a la cantidad de personas definidas por la CCO en el PAC para la futura base antártica temporaria colombiana. Para la variable AMD se estableció un área mínima de atención médica de 10 m<sup>2</sup> de acuerdo a parámetros tomados del Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de consulta externa de la Secretaria de Salud de Bogotá, (Secretaria de Salud D.C., 2010). Reemplazando las variables y calculando su valor, se obtuvo el siguiente resultado

$$\begin{aligned} ABT^{0.5} &= 11.86 + 0.4770 NMP + 0.1708 AMD = 11.86 + 0.4770*(10) + 0.1708*(10) \\ ABT &= 336.2822 \text{ m}^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Lo anterior permite calcular cuál sería el área construida bajo techo de una estación temporaria en la que 10 personas de una expedición puedan trabajar en diferentes proyectos de investigación y en labores de sostenimiento de las instalaciones físicas. A su vez, se tendrá un área médica de 10 m<sup>2</sup> para las diferentes atenciones que deban realizarse.

Como complemento a la validación de la Ecuación 7, se tomó el 10% de las observaciones del Anexo A, se utilizó para calcular la variable ABT mediante la Ecuación 7 y así compararlos con los valores de ABT del Anexo A.

La Tabla 4 muestra el valor de ABT calculado, se observa un alto porcentaje de aproximación, lo que explica el valor de R<sup>2</sup> ajustado de la ecuación utilizada, en el que su variable dependiente está representada en 81.39% en sus variables independientes. Es estos casos el porcentaje de aproximación son altos, permitiendo corroborar la funcionabilidad de la ecuación calculada.

**Tabla 4.**

Calculo de la variable ABT usando observaciones definidas en el COMNAP.

Variable	Código	Unidad de medida
Área bajo techo	ABT	m <sup>2</sup>
Número de personal en la estación, verano.	NPV	Núm. de personas
Número de científicos en la estación, verano.	NCV	Núm. de personas
Número máximo de personas al tiempo.	NMP	Núm. de personas
Staff con entrenamiento medico básico o doctor, verano.	SMD	Núm. de Personas
Área instalaciones médicas.	AMD	m <sup>2</sup>



## Conclusiones

En esta investigación se diseñó un modelo de análisis estadístico de estaciones antárticas, para la selección de una base temporaria colombiana mediante el uso de variables dependientes. Este modelo de análisis estadístico permitió determinar el área bajo techo (ABT) en función de las variables independientes, tales como el número máximo de personal y el área médica (AMD).

Para el cálculo de las ecuaciones se utilizó la información de las bases antárticas permanentes y las bases antárticas temporarias. Lo anterior es debido a que el funcionamiento de cada una de ellas es el mismo, la única diferencia radica en los meses en los que se llevan a cabo las investigaciones; las bases temporarias operan en el verano austral desde noviembre hasta abril, mientras que las bases permanentes operan todo el año.

Los informes de las expediciones antárticas II y III, permitieron orientar en gran medida la forma en cómo se desarrolló el presente trabajo de grado. Estos informes brindaron una orientación general de cómo debe estar configurada la próxima estación antártica, aunque no son parte de los objetivos del presente trabajo, si fueron importantes en el momento de determinar las variables a utilizar. Igualmente, los informes de las expediciones abordan el problema desde lo práctico, permitiendo visualizar cómo funcionan las dos bases antárticas visitadas, logrando proyectar un organigrama general. Éstas manejan relaciones militares y civiles, dejando ver que su composición jerárquica obedece a la organización militar que las administra. En cuanto a la distribución de las áreas, describen la funcionalidad de cada área, y como se interrelacionan entre sí para el funcionamiento de la base y el correcto desarrollo de las diferentes expediciones e investigaciones llevadas a cabo. Cabe destacar que dentro de los organigramas relacionados en los informes de los proyectos de investigación de las expediciones II y III, la dirección y administración están a cargo de las diferentes fuerzas militares ordenadas por sus gobiernos respectivos. La Fuerza Aérea Argentina en la base Marambio y la base Comandante Ferraz bajo la dirección de la Marina de Brasil.

Un aspecto negativo de los informes antes mencionados, es el hecho de no presentaron información puntual sobre dimensiones físicas, capacidad de personal, capacidad de espacios logísticos, entre otros, los cuales hubieran permitido contrastar la información detallada por el COMNAP en su manual de estaciones antárticas.

El COMNAP presentó en el 2017, el catálogo de bases antárticas, convirtiéndose en el único documento que permitió extraer toda la información de las variables independientes y dependientes utilizadas para las regresiones lineales múltiples realizadas en el presente trabajo de grado. Este documento presenta de forma clara información tal como: condiciones meteorológicas, capacidades logísticas, capacidades en equipos y áreas de investigación. Aunque tiene una gran limitante, y es el hecho de que muchas de las bases no exponen toda la información requerida dentro del formato que maneja el libro, siendo un factor decisivo para la exclusión de muchas de las variables.

Cabe aclarar que el modelo estadístico empleado, no tuvo en cuenta los diferentes estándares en diseño en ingeniería civil aplicados en el diseño y construcción de instalaciones civiles en regiones polares. Se basa únicamente en la información disponible. Tampoco se proyectó utilizar el resultado obtenido como parámetro irrestricto y único para el dimensionamiento de una base colombiana. Más bien sirve como orientación inicial para las necesidades que se plantee la CCO a futuro.

Para el cálculo de la Ecuación 7, se tuvieron en cuenta inicialmente todas las bases antárticas con información completa disponible, en total 70 observaciones por cada variable. Dentro del desarrollo de cada ecuación éstas observaciones disminuyen de acuerdo a la cantidad de valores atípicos que se hayan presentado durante el cálculo realizado, lo cual permitió poder ajustar los coeficientes para cada ecuación.

Es posible ampliar el análisis estadístico utilizando las variables con observaciones incompletas o para variables cualitativas tales como tener acceso a helipuerto, acceso marítimo, acceso a una pista para aterrizaje de aviones, entre otras. Estos requerirán métodos diferentes de análisis y cálculo con el fin de ajustar el análisis estadístico a estas variables.

### Referencias

- Anderson, D. (2012). *Estadística para negocios y economía (Onceava ed.)*. Mexico D.F., México: Cengage Learning.
- Comisión Colombiana del Océano. (2014). *Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035* (Primera ed.). Bogotá D.C.: Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos.
- Comisión Colombiana del Océano. (2015). *Programa Antártico Colombiano*. Bogotá D.C.: Comisión Colombiana del Océano.
- Council of Manager of National Antarctic Program. (2017). *Antarctic Station Catalogue* (Primera ed.). Christchurch, Nueva Zelanda: COMNAP.
- Gomez, A., & Melo, D. C. (2014). *El Tratado Antártico, un escenario diplomático para la construcción de la cooperación Colombo-Chilena*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- Gutierrez, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda ed.). Mexico D.F., Mexico: McGraw Hill.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Mexico D.F.: McGRAW-HILL.

- Hurtado, J. (2010). *Metodología a de la Investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia* (Cuarta ed.). Caracas: Quirón Ediciones.
- Ochoa, D. F. (2015). *Impacto Estratégico Nacional en la Ejecución de Expediciones Científicas a la Antártida*. Bogotá D.C.
- Rojas, S. P. (19 de Agosto de 2007). El estado del arte como estrategia de formación en la investigación. *Studiositas*, 2(3), 5-10. Recuperado el 6 de Marzo de 2019, de <http://hdl.handle.net/10983/504>
- Secretaria de Salud D.C. (2010). *Manual guia para el diseño arquitectónico servicio de consulta externa*. Bogotá D.C.: Secretaria de Salud D.C.
- Toro, R. (2019). *Diseño de un modelo estadístico de estaciones antárticas para la selección de una base temporaria colombiana*. Trabajo de grado, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Bolívar, Cartagena.
- Uribe, D. (2003). *LA Era de la Antártida* (Primera ed.). Bogotá D.C.: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Obtenido de [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf\\_la\\_era\\_de\\_la\\_antartida\\_-\\_pag\\_web-10-15.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf_la_era_de_la_antartida_-_pag_web-10-15.pdf)

## LA SUPREMACÍA AÉREA: OBJETIVO Y FACTOR DECISIVO EN LOS CONFLICTOS MULTIDIMENSIONALES DEL SIGLO XXI Y EL CONCEPTO DE CLÚSTER\*

### Air Supremacy: Aim And Decisive Factor In Multidimensional Conflicts Of The 21St Century, And The Concept Of Cluster

Teniente Coronel (RA) FAC. Javier Hernando Conde Mesa<sup>1</sup>

Recibido: 11 /12/2018

Aceptado: 14/10/2019

#### Resumen

En el presente artículo se realiza un acercamiento al concepto de supremacía aérea, dada su connotación de objetivo ideal en el marco del desarrollo de los poderes aéreo y aeroespacial para los Estados, siendo además el factor decisivo para la aplicación eficiente del poder militar en los conflictos multidimensionales del siglo XXI, de cara a los principios de seguridad nacional y defensa nacional, pero esencialmente soportados en la industria aeronáutica y aeroespacial. Para alcanzar el objetivo propuesto, se realizó una revisión documental que nos permitió incursionar en la apasionante teoría conceptual de la supremacía aérea, de cara a los componentes esenciales de la industria aeronáutica y aeroespacial, estableciendo las características conceptuales y enfoques de algunos Estados de amplia trascendencia global, con los planteamientos realizados en el seno de sus Fuerzas Aéreas y Fuerzas

Aeroespaciales; determinando las ventajas y capacidades adquiridas en búsqueda de sus intereses y objetivos nacionales, a partir del concepto de clústeres tanto aeronáuticos como aeroespaciales. determinando las ventajas y capacidades adquiridas en búsqueda de sus intereses y objetivos nacionales, a partir del concepto de clústeres tanto aeronáuticos como aeroespaciales.

**Palabras clave:** Supremacía aérea, superioridad aérea, poder aéreo, poder aeroespacial, conflicto multidimensional, seguridad nacional, defensa nacional, industria aeronáutica, industria aeroespacial, clúster aeronáutico, clúster aeroespacial.

**Abstract:** In the present article an approach is made to the concept of Air Supremacy, given its connotation of ideal objective in the framework of the development of the air and aerospace powers for the States, being also the decisive factor for the efficient application of military power

\*Artículo derivado del Proyecto de Investigación “Supremacía Aérea: Una comprensión amplia del enfoque nacional”, desarrollado en el año 2018 en el Departamento Fuerza Aérea Colombiana de la Escuela Superior de Guerra “General RAFAEL REYES PRIETO”

<sup>1</sup>Oficial de la Reserva Activa de la Fuerza Aérea Colombiana. Docente e Investigador de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”. [jhcondem65@gmail.com](mailto:jhcondem65@gmail.com)

in conflicts multidimensional of the 21st century, facing the principles of national security and national defense, but essentially supported in the aeronautical and aerospace industry. To achieve the proposed objective, a documentary review is made that will allow us to venture into the exciting conceptual theory of Air Supremacy, facing the essential components of the aeronautical and aerospace industry, establishing the conceptual characteristics and approaches of some States of great importance global,

with the proposals made within its Air Forces and Aerospace Forces; determining the advantages and capabilities acquired in pursuit of their national interests and objectives, based on the concept of both aeronautical and aerospace clusters..

**Keywords:** Air supremacy, air superiority, air power, aerospace power, multidimensional conflict, national security, national defense, aeronautics industry, aerospace industry, aeronautical cluster, aerospace cluster.

## Introducción

Es de suma importancia para un Estado, garantizar la consecución de sus intereses y objetivos nacionales en concordancia con la evolución sostenida de los diferentes campos del poder y específicamente del poder militar, condición que hace necesario el desarrollo de su poder aéreo y su poder aeroespacial que se materializarán inicialmente con el desarrollo pleno de la superioridad aérea como factor esencial tanto en los Teatros de Operaciones (TO) como en el Teatro de la Guerra (TG), condición que posteriormente permitirá alcanzar la supremacía aérea, como objetivo ideal y factor decisivo en los conflictos multidimensionales del siglo XXI: tierra, mar, aire, espacio y ciberespacio.

A lo largo del presente artículo se adelanta un proceso de revisión documental que permitió establecer claramente los factores, aspectos, capacidades y elementos que constituyen y soportan el concepto de superioridad aérea, como factor determinante para el desarrollo del poder aéreo integral para un Estado del siglo XXI y factor decisivo a la vez en los conflictos armados contemporáneos y futuros en el marco de la seguridad nacional y la defensa nacional.

Inicialmente se estableció el fundamento conceptual de la superioridad aérea, así como su relación con los intereses nacionales, las industrias aeronáutica y aeroespacial, culminando con la incursión al concepto académico y doctrinario de clúster.

De manera seguida, se contemplaron diferentes modelos de clústeres tanto aeronáuticos como aeroespaciales, analizando los enfoques y características de los más representativos a nivel global: Francia, Alemania, India, Italia, Canadá, China, Rusia, Reino Unido, Estados Unidos y Australia; países poseedores de sólidas Fuerzas Aéreas y Fuerzas Aeroespaciales.

Posteriormente, se realizó un análisis de los clústeres emergentes y de América Latina: Costa Rica, Brasil y México, rescatando sus fortalezas y capacidades más relevantes de cara al desarrollo tecnológico, aeronáutico y aeroespacial de la región.

Por último y a manera de cierre, se dedica un aparte del presente documento al renglón aeronáutico y aeroespacial colombiano, rescatando los avances más representativos a lo largo de la última década; aspectos, capacidades y potencial que vislumbra la fusión de la triple hélice [renglón económico privado, (I + D) y el sector público - Estado], con miras a la consolidación del poder aéreo, superioridad aérea y por qué no, de la tan anhelada supremacía aérea.

## **Método**

El estudio realizado, se soportó esencialmente en el paradigma hermenéutico interpretativo, cuya postura epistemológica es la teoría fundamentada, con enfoque cualitativo, según fuente y contexto de diseños fundamentales, con temporalidad contemporánea. El foco aborda las variables de poder aéreo, poder aeroespacial, superioridad aérea, supremacía aérea, industria aeronáutica e industria aeroespacial. El nivel abordado es de tipo exploratorio, descriptivo y comparativo, en donde los criterios de inclusión hacen alusión a documentación de tipo doctrinario, normativo, así como procedimental aplicable a las variables de estudio en el ámbito global, regional y nacional.

Adicionalmente, el muestreo utilizado es de tipo no probabilístico, de autoselección, acorde al objeto de estudio en donde la técnica de medición es la revisión documental.

## **Desarrollo y Discusión**

Los resultados obtenidos, así como la información presentada, evidencian la importancia que representa para un Estado, poseer suficientes capacidades y fortalezas que le permitan soportar su poder militar y desarrollar las campañas militares con un amplio protagonismo del poder aéreo, devenido en poder aeroespacial; teniendo la posibilidad de garantizar la superioridad aérea en el marco del desarrollo de sus operaciones militares aéreas y haciendo tránsito al concepto de la supremacía aérea.

Éste concepto de idealismo en el desarrollo de las operaciones militares aéreas, sin duda está acompañado de una sólida e innovadora industria aeronáutica e industria aeroespacial, que de la mano de los conceptos de clúster aeronáutico y cluster aeroespacial, redundará en el desarrollo de la industria aeroespacial y por su conducto en las capacidades del *Poder Nacional*.

## **Recorrido conceptual y fundamento conceptual de la Superioridad Aérea.**

Es importante considerar el concepto emitido por algunos autores y estudiosos del poder aéreo, sobre la importancia que reviste la superioridad aérea, principalmente en el desarrollo de las confrontaciones bélicas. En su escrito “El mito de la supremacía aérea como aspecto fundamental en la guerra” Nievas (2016, p.8) establece,

Pese a la constatación histórica, muchos militares y sobre todo estrategas siguen suponiendo que el dominio aéreo es decisivo para cualquier campaña. Nadie duda que este dominio constituye un elemento de poder innegable; pero los casos que hemos presentado demuestran palmariamente que por sí misma es insuficiente para la resolución de una contienda bélica.



Desde la perspectiva económica, promoción a la innovación, creación de fuentes de empleo, seguridad, defensa y estrategia productiva para una nación, se encuentra la industria aeroespacial, escenario que permite la promoción e interacción entre agentes públicos y privados a fin de avanzar en un sector que pueda generar la integración en procesos de creación de valor conjunto, dicha dinámica propicia un escenario de cambio que lo convierte en un promotor de crecimiento y desarrollo para un país.

Las diferentes dinámicas globales, los avances tecnológicos, las estrategias de seguridad y defensa de las naciones, generan cambios en la industria aeroespacial, lo que plantea evaluar y realizar un análisis crítico sobre su pertinencia como eje central de una política estatal que permita la participación de dos frentes de trabajo (actores públicos y privados), que conjuntamente se involucren en la promoción del sector y a la vez genere dinámicas comerciales y de beneficio conjunto, para así establecer estrategias que permitan su desarrollo en el mediano y largo plazo, por lo que resulta necesario evaluar su rumbo y perspectivas futuras y a la vez participar en los desafíos que se plantean desde una visión industrial y de gasto público.

Esta disyuntiva plantea grandes inversiones en tecnología, investigación y desarrollo tanto en lo público como en lo privado, puesto que no sólo se plantea el relacionamiento de trabajo conjunto y participativo entre los actores involucrados, sino que, a la vez, logre trazar una ruta que permita la especialización de empresas con acceso y desarrollo tecnológico que promueva la productividad y la competitividad en el sector.

Es preciso analizar hacia donde se dirige la industria aeroespacial a fin de adaptar buenas prácticas que generen encadenamientos productivos o clústeres que conjuntamente apoyen el desarrollo del poder aéreo y que a la vez vincule a la defensa nacional. Lo que plantea la necesidad de establecer el modelo de industria orientada a este sector a nivel nacional, para avanzar en la consolidación e integración de compañías del ámbito aeronáutico.

Al analizar qué están haciendo los países en la industria aeroespacial y la identificación de actores y conglomerados productivos se logra identificar y reconocer su desempeño y posicionamiento, buenas prácticas y generación de valor al proveer productos y servicios derivados de la integración con los diferentes actores que participen en el campo de análisis y a la vez propender por la creación de alianzas y determinar el éxito de las mejores prácticas a nivel global.

El concepto de clúster lo define Michael Porter (1990) como: “un grupo geográficamente próximo de empresas interconectadas e instituciones asociadas en un campo particular, unidas por puntos en común y complementariedades”. El agrupamiento empresarial genera innovación y desarrollo socioeconómico dentro de un territorio definido al unir una amplia gama de diferentes actores (en términos de naturaleza, intereses y roles).

Igualmente, el concepto de clúster también lo vincula Alfred Marshall, mediante la observación de la creación de Distritos Industriales (F. Pyke, 1992). La importancia del clúster está enfocada en promover y generar condiciones de desarrollo en el contexto empresarial, por tal razón la Organización para la Cooperación y en Desarrollo Económico (OCDE) plantea las ventajas en el sector empresarial en el que operan en el mismo mercado los productos finales pertenecientes al mismo grupo Industrial (OCDE, 1999).

Porter complementa su visión del clúster, mediante el modelo denominado “Diamante de Porter”, su accionar es visible en la reducción de costos, facilitación en la transmisión de tecnología, propiciando un mejor acceso a los insumos, una salida más fácil de productos al mercado y generando condiciones de competitividad (Delgado, 2011). La metodología que aplica Porter, la clasifica en cuatro grupos: contar con una demanda sofisticada, acceso a factores productivos avanzados, calidad de los productos y un entorno competitivo, estos factores generan ventajas competitivas y determinan las condiciones básicas para la conformación de clústeres.

La demanda sofisticada implica realizar acciones colectivas que apunten a innovar en procesos productivos y productos, para ello la inversión en tecnología es clave con la especialización de los procesos (Ricciardi, 2004). Determinar las necesidades de los consumidores, acceso a factores productivos avanzados es decir las condiciones de los factores como infraestructura, capital humano, ciencia y tecnología por medio de la inversión en investigación y tecnología generando calidad y competitividad en el producto.

Es importante conocer los elementos que mueven la competencia del sector, cuáles son los productos sustitutos y complementarios, la presión que ejercen estos productos en el mercado, adicionalmente el poder de negociación que tengan los compradores y proveedores y así entender la industria para poder hacer un frente común (Porter, 1990). Identificar la entrada de nuevas firmas o empresas es fundamental, comprender su funcionamiento y características, identificar si cuentan con economías a escala que generen disminución de costos, diferenciación en producto, si existe necesidades de capital, si los costos están vinculados a los cambios externos e internos y las políticas de los gobiernos.

Lo anterior puede llevar a realizar acciones colectivas, como estrategias que pueden traducirse en beneficios en el cual las empresas puedan mejorar sus vínculos y puedan generar relaciones de colaboración que se traduzca en el refuerzo de la competitividad que está dentro de los beneficios de los clústeres (Ricciardi, 2004).

El clúster aeroespacial es una entidad económica regional, cuya orientación no restringe la extensión de la actividad económica a una estrecha dimensión local. Sus características específicas, como la escala global de los beneficios derivados del proceso de innovación, o la producción intensiva en capital y en procesos, para así involucrar a una amplia gama de jugadores dentro del sector (Paone, 2016).

El clúster aeroespacial generalmente se basa en fuertes conexiones internacionales, tanto en términos de intercambio y transferencia de conocimiento. La industria aeroespacial se ha hecho más dinámica por cuenta del proceso de globalización, considerando que muchas entidades han transferido segmentos productivos de la cadena de valor de los EE. UU. y de Europa hacia los países en desarrollo, en la medida en que la subcontratación se ha convertido en el principal canal de flujos de conocimiento (Niosi, Multinational Corporations Value Chains and Knowledge Spillovers in the Global Aircraft Industry, 2010).

Los pronósticos de la Industria aeroespacial en el mundo son crecientes, las perspectivas del sector para los próximos 20 años, indican que el tráfico de pasajeros crecerá 4.7% promedio anual tal como fue planteado en el Salón Aeronáutico Le Bourguet, realizado a finales de junio de 2018 en Francia, esto quiere decir que la industria tendrá que ser más exigente y competitiva, por tal razón es importante poner en marcha las políticas de desarrollo generadoras de competitividad.

### **Modelos de clústeres aeronáuticos y aeroespaciales más relevantes a nivel global**

A continuación, se presenta una descripción general de las características de algunos tipos de clúster (aeronáuticos y aeroespaciales) en diferentes países, a fin de identificar sus propias características y elementos comunes en sus prácticas, toda vez que se identifiquen sus factores de rendimiento, competitividad y el potencial de innovación en el escenario de la industria aeroespacial en un contexto global

#### **Francia**

La industria aeroespacial francesa representa el 14% de sus ingresos y el 8% del empleo a tiempo completo (OCDE, 2014). En Francia es una de las principales fuentes de desarrollo de este país, y se ha caracterizado por una excelente capacidad de recuperación frente a factores externos, así lo establece la Asociación Francesa de Industrias Aeroespaciales (Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales, GIFAS), con una facturación de € 58.3 mil millones (U\$ 64.7 mil millones, + 8.5% en comparación con 2014). GIFAS señala que Francia es el principal exportador mundial de productos y servicios aeroespaciales, y sus principales socios comerciales son Alemania, Estados Unidos y China.

En Francia el sector aeroespacial es una organización industrial agrupada. Este país alberga tres grandes clústeres regionales aeroespaciales: “The Aerospace Valley”, el Valle Aeroespacial, con sede en Toulouse, el “ASTech” Clúster en París y el “Provence-based Pégase cluster” (OCDE, 2014). Además de la reciente implementación del clúster aeroespacial y de defensa Aero IEF en la región francesa de Bretaña (Paone, 2016).

Entre los factores clave que han dado forma al desarrollo de la industria aeroespacial francesa, se destacan los siguientes:

- La participación de GIFAS como eje articulador y coordinador de los actores involucrados del sector, donde se aprecia la cooperación entre los agentes económicos, particularmente con respecto a las actividades de Investigación y Desarrollo (I + D), profundizado por estrategias concertadas para el desarrollo conjunto del sector.
- Escenarios de colaboración entre contratistas y proveedores, promoviendo a su vez fuertes relaciones entre empresas de varios niveles y que a la vez promueven la innovación del sector
- La combinación de subsidios e incentivos fiscales para fomentar I + D y la promoción de nuevas empresas innovadoras. Esto incluye un esquema de créditos a tasas preferenciales, acceso a un régimen fiscal favorable y exención total del impuesto de sociedades para nuevas empresas que tengan como propósito la investigación y el desarrollo. Además de incentivarse con un esquema de sueldos llamativos al personal de investigación (último año doctorado y posdoctoral). Promoviendo más la I + D en Francia. De acuerdo a lo indicadores del Banco Mundial en 2015, Francia destinó una proporción correspondiente al 2,23% de su PIB para I + D (Banco Mundial, 2015).

El Valle Aeroespacial: Creado en 2005, el Valle Aeroespacial francés es el grupo aeroespacial europeo más importante, en términos de empleo, también denominado como el “pôle de compétitivité” involucra los campos de la aeronáutica, el espacio y los sistemas integrados, cuenta con más de 859 miembros de la industria y la academia. Este clúster fue creado como parte de una nueva política industrial francesa, este tipo de organización de clústeres facilita la inversión pública y una política fiscal particular para un determinado grupo de actividades. Su objetivo final es hacer que la economía sea más competitiva, crear nuevos puestos de trabajo, acercar el sector público y el privado y desarrollar determinadas regiones (Aerospac Valley, 2018).

Con oficina central en Toulouse y también en Burdeos, el grupo de innovación cubre las dos, el grupo de innovación cubre las dos regiones geográficamente adyacentes del suroeste de Francia, Occitania y Nouvelle Aquitaine; con 124.000 empleados industriales. El Valle Aeroespacial representa alrededor de un tercio de la fuerza laboral aeroespacial francesa. Del mismo modo, 8.500 investigadores y científicos están activos en el territorio del Valle Aeroespacial, lo que representa el 45% del potencial nacional de I+ D de Francia (Aerospac Valley, 2018).

ASTech Clúster de París región, denominado el clúster de competitividad aeroespacial de Francia, se encuentra en Île-de-France, (la principal área de captación de empleo de Francia en los campos de sistemas aeroespaciales y de a bordo). Involucra a más de 100.000 personas e incluye la mayoría de las publicaciones de I + D francesas.

El objetivo del clúster de competitividad de AS'Tech Paris Región, es hacer crecer las posiciones de los líderes del mercado industrial europeo en los sectores de lanzamiento aeroespacial, aviación comercial, propulsión y equipamiento en innovación en el sector al proporcionar un nuevo impulso a la investigación, a través de su papel de proporcionar apoyo a las industrias aeroespaciales, proporcionando a las PYMES nuevas oportunidades de innovación y preparándose para futuros avances tecnológicos en asociación con las PYME, las organizaciones de investigación y los establecimientos de educación superior (As'Tech Paris Region, 2018).

El grupo Pegase es una red de jugadores importantes en la industria aeronáutica y espacial de la región de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Fue acreditado como un clúster de competitividad y grupo regional de innovación y apoyo económico mutuo en 2007. Reúne a 200 actores involucrados en el desarrollo de una nueva generación de aeronaves, globos aerostáticos, aviones estratosféricos destinados y llevados a cabo para misiones. Este clúster involucra empresas industriales, organizaciones de investigación y capacitación y clientes que buscan aeronaves, servicios aéreos y espaciales (Pegase Cluster, 2018).

## **Alemania**

El sector aeroespacial alemán es uno de los desatacados a nivel mundial. Su accionar como conglomerado industrial y de organizaciones gubernamentales lo integran. El Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (Centro Aeroespacial Alemán, DLR), que es la agencia aeroespacial nacional, creada en 1997 como resultado de una fusión entre diferentes instituciones: Aerodynamische Versuchsanstalt (Laboratorio Aerodinámico, AVA), el Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (Laboratorio Alemán de Aviación, DVL), el Deutsche Forschungsanstalt für Luftfahrt (Instituto Alemán de Investigación para la Aviación, DFL) y el Gesellschaft für Weltraumforschung (Sociedad para la Investigación Espacial, GfW) entidades que se integran con el Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (Agencia Alemana para Asuntos de Vuelo Espacial, DARA). Las políticas nacionales tienen varias asociaciones tanto dentro de Europa y con varios jugadores antiguos y nuevos, entre estos China, Kazajstán, México (Paone, 2016).

Asimismo en 2017 la industria aeroespacial alemana mostró las siguientes cifras (GTAI, 2017):

40.000 millones de euros en facturación 2017. Más del 7% de crecimiento anual promedio desde mediados de la década de 1990, un total de 109.500 empleados de la industria, de los cuales más del 50% son ingenieros o profesionales altamente calificados, así como 220 empresas e instituciones relacionadas. El 10% (4.000 millones de euros) de los ingresos anuales se destinaron a I + D, lo que convierte a la industria aeroespacial en una de las industrias más innovadoras de Alemania

Alemania, alberga algunos de los clústeres aeroespaciales más importantes en la Asociación de Clúster Aeroespacial (EACP, Aerospace Cluster Partnership). Su accionar se enfoca en dos jugadores en particular, el grupo aeroespacial BavAIRia y el LR BW (Luft und Raumfahrt Baden Württemberg), también se destaca el clúster aeroespacial de la aeronáutica de Hamburgo, ya que alberga un lugar importante de producción de Airbus y tiene una cooperación continua con el Valle Aeroespacial de Toulouse (Roman Belotserkovskiy, 2009).

La región alemana de Baviera ha sido uno de los principales centros aeroespaciales internacionales, sus orígenes se remontan a inicios de la década de los sesenta, cuando se establece el Industrieanlagen - Betriebsgesellschaft, centro de investigación industrial en el sector aeroespacial, en las proximidades de sus plantas de producción en Múnich (Trischler, 2002).

La inversión del gobierno alemán ha contribuido a dar forma al clúster aeroespacial BavAIRia, el grupo está dirigido por la asociación BavAIRia Eingetragener Verein (cuyo establecimiento fue encargado por el Ministerio de Asuntos Económicos y Medios del Estado de Baviera, Energía y Tecnología), éste a su vez, representa el conjunto de miembros y partes interesadas del panorama industrial y de investigación. La misión de BavAIRia es identificar competencias centrales bávaras en aplicaciones espaciales y aeroespaciales, para fortalecer los vínculos clave y así aumentar la competitividad de estas industrias (Invest in Bavaria, 2015).

El gobierno del Estado bávaro, en colaboración con la industria y las instituciones de investigación del Cluster Aerospace, ha definido los puntos focales estratégicos y los campos de acción correspondientes. La estrategia aeroespacial de Baviera abre el camino para un crecimiento sostenible del sector aeroespacial en Baviera. La misión es llevada a través de la transferencia de tecnología, marketing, gestión de la cadena de suministro, capacitación, consultoría e internacionalización. El esquema de financiación del clúster depende en gran medida del gobierno que contribuye mediante fondos públicos a casi el 60% del presupuesto total, mientras que el 40% restante proviene principalmente de las tarifas de membresía, consultoría, financiación de proyectos y recursos provenientes de los países miembros de la Unión Europea (40%) (EACP, 2018).

El Clúster Luft-und Raumfahrt Baden-Württemberg (LR-BW), se constituye en la región de Baden-Württemberg y junto con Baviera, determinan el núcleo de la industria espacial alemana, su desarrollo se hizo de la mano del sector aeroespacial nacional y en los últimos años ha experimentado un crecimiento significativo gracias a la abundancia de capital humano altamente calificado. El factor determinante para el desarrollo del sector espacial en la región, es la presencia de instituciones académicas de alta calidad, tanto universidades como centros de investigación, cuyo principal destacado es la Universidad de Stuttgart, esta posee la Facultad

Aeroespacial más grande de Europa y forma aproximadamente al 80% de los ingenieros aeroespaciales del país (Paone, 2016).

La ciudad de Stuttgart constituye el centro del clúster LR-BW, fundado en 2005, y es considerada un centro especializado al albergar al 25% de las empresas aeroespaciales de la región y al 80% de las instituciones académicas relacionadas en cumplimiento a la voluntad de las empresas aeroespaciales que operan en el área.

El ímpetu inicial del sector privado ha sido canalizado por el gobierno en la creación del Foro Aeroespacial Baden-Württemberg, una asociación que tiene como objetivo avanzar en la industria aeroespacial local en el ámbito competitivo internacional. Su financiamiento principalmente lo gestiona a través de cuotas de sus miembros y servicios externos, como promoción, marketing, gestión de contratos y análisis de mercado, por lo que el clúster es auto sostenible e independiente del apoyo financiero del gobierno.

Las actividades del Foro se organiza en diferentes áreas de operación: grupo de trabajo de defensa y seguridad, grupo de trabajo en cadena de abastecimiento, ferias, consejo de la Industria Aeroespacial de Baden-Württemberg, participación en organismos nacionales, participación en la Federación del Foro Regional Aeroespacial Alemán, Participación en el

Clúster Aeroespacial Europeo Asociación y participación la red de regiones europeas activas en el espacio (Paone, 2016).

## **India**

A inicios de la década de los sesenta, la India promueve la creación de un programa espacial y genera las bases para la conformación de la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO) en 1969. La ISRO se convierte en parte de una estrategia aeroespacial más amplia, convirtiendo a la India en un polo de clase mundial de la innovación a través del crecimiento interno del conocimiento y las capacidades, y evidentemente la industria aeroespacial india hace parte de la dinámica económica de la Nación. En el momento de su fundación, la Agencia Espacial Nacional no tenía infraestructuras ni capacidades; sin embargo, diseñó, fabricó y lanzó con éxito su primer satélite “Aryabhata” en 1975 (Paone, 2016).

El desarrollo del sector involucra a la industria aeroespacial india en tres pilares

- Papel activo del gobierno de la India: El ISRO es la única agencia espacial para desarrollar, diseñar y ensamblar sus propios vectores a través de grandes procedimientos de contratación pública para la promoción de PYMES en el sector. Además, en 1992 la Agencia Espacial estableció su propia rama comercial “Antrix Corporation”, con el objetivo de vender innovaciones derivadas del espacio (tecnologías y servicios) en los mercados internacionales. El Gobierno también tiene una fuerte presencia en



el segmento de defensa con el “Hindustan Aeronautics Limited” (HAL), que ahora es un importante jugador en la fabricación aeroespacial global

- Gran uso de Acuerdos de Compensación: Siguiendo una práctica común en la industria aeroespacial, India ha hecho un amplio uso de los acuerdos de compensación con el propósito de fortalecer los vínculos entre compradores y proveedores. Esta costumbre ha dado lugar a redes comerciales profundas (tanto en una nivel nacional e internacional) que produjo una gran acumulación de conocimiento y experiencia, y finalmente condujo al desarrollo del sector.
- Ventaja competitiva en el costo laboral: India ha sido tradicionalmente conocida por su capacidad para proporcionar mano de obra a bajo costo, siendo esta su principal fuente de ventaja competitiva. En el proceso de crecimiento económico del país ha sido capaz de extender esta característica incluso a expertos en mano de obra: los salarios son aproximadamente un 60% más bajos que los países desarrollados. Esta característica contribuye a preservar la competitividad (A.T. Kerney, 2009).

La industria de la India se ve impulsada tanto por la demanda creciente de servicios relacionados con el espacio como por un gran ambiente de política de apoyo, para la construcción y puesta en órbita de satélites y el desarrollo de cohetes para la defensa nacional. La Industria Aeroespacial India se extiende a todo el país, pero su núcleo está constituido por la región de Karnataka y por su capital Bangalore. Conocido como el Silicon Valley Indio, debido a su floreciente sector de la tecnología.

Bangalore, es la ciudad india con la mayor presencia de instituciones relacionadas con el programa espacial indio, cuenta con un número creciente de empresas concentradas tal como se evidencia en un informe elaborado por Sunil Mani en 2010, donde se plantea que India es uno de los pocos países en desarrollo que ha buscado establecer una industria aeroespacial y a la vez expone el clúster en la ciudad del sur de la India de Bangalore. El documento identifica los tres bloques de construcción del clúster: actores principales, conocimiento o tecnología, dominio y la demanda, y también profundiza en los instrumentos de política que se requieren para establecer a la industria en una segura ruta de vuelo (Mani, 2010).

El clúster aeroespacial de Bangalore al ser el epicentro de tecnología de la India, ha generado procesos de innovación capaces de atraer a líderes corporativos globales como Airbus y Boeing. Hoy en día el clúster es responsable de la mayoría absoluta de la economía aeroespacial nacional: su cuota de exportación representa el 65% del total de la participación de la producción. El impulsor fundamental de este proceso evolutivo fue el crecimiento de Las instituciones de I + D, tanto públicas como privadas, atrayendo así un volumen creciente de conocimientos que integró las capacidades desarrolladas internamente a través del desarrollo académico del área (Paone, 2016).

Desde 2001, el clúster aeroespacial de Bangalore ha experimentado un crecimiento significativo en la naturaleza y número de sus jugadores, con un aumento en la demanda extranjera y en el número de empresas extranjeras. Su eje principal de desarrollo está constituido por los cuatro jugadores públicos Hindustan Aeronautics Limited (HAL), National Aerospace Laboratories (NAL), Indian Space Research Organisation, ISRO (junto con su rama comercial Antrix) y el Instituto Indio de Ciencia. Además, de las esferas académica y gubernamental establecen una participación creciente de jugadores extranjeros (Mani, 2010).

Por su parte, las empresas manufactureras domésticas están compuestas, entre otras, por Hindustan Aeronautics Limited (HAL), la Taneja Aerospace and Aviation Limited, y Dynamic Aerospace, mientras que las compañías extranjeras incluyen EADS / Airbus (con su Airbus Engineering Center India, AECI), Bell y Boeing.

La dinámica creciente en tecnología desarrollada en Bangalore ha permitido el crecimiento y consolidación del clúster aeroespacial, lo que resulta en una mejor integración entre estos dos sectores, ya que vincula las empresas de software (tales como Infosys, WIPRO y QUEST), así como las empresas del sector de la automoción, que han ingresado a la cadena de valor aeroespacial como fabricantes y proveedores de componentes, empresas como Tata Motors han aprovechado su experiencia en el suministro de piezas a bajo precio, al tiempo que se garantizan altos estándares de calidad en materiales e Ingeniería.

## **Italia**

Italia ha jugado un papel primordial en la carrera europea por el espacio, el país fue fundador de la Agencia Espacial Europea (establecida en Bruselas el 15 de abril de 1975), y es el tercer mayor contribuyente con alrededor de € 350 millones (cerca de US \$ 390 millones, 13% del total) (Paone, 2016). La participación ininterrumpida de la industria aeroespacial del presente país comenzó en los años setenta con la participación del Space Lab del programa de la NASA.

Italia se encuentra entre los países más avanzados del sector aeroespacial. De hecho, la industria aeroespacial italiana ocupa el cuarto lugar en Europa y la séptima en el mundo. De los 13.000 millones de euros en ingresos al año, más de la mitad (7.000 millones de euros) provienen de las exportaciones. La facturación anual es de alrededor de diez mil millones de euros y la facturación de todo el sector equivale al 1% del producto interno bruto. Las industrias aeroespaciales emplean entre 50.000 y 60.000 empleados (de los cuales alrededor de 20.000 son ingenieros en investigación y productividad) e involucran a PYMES y empresas medianas (Paone, 2016).

El estandarte insigne del sector está representado por Thales Alenia Space Italia, una empresa conjunta controlada en un 67% por la multinacional francesa de electrónica avanzada Thales y un 33% por Finmeccanica. Estas dos empresas ocupan una posición central en el

campo de las principales tecnologías satelitales de alto rendimiento tanto en el sector civil como en el de defensa, Thales Alenia Space logró una facturación de 2.000 millones de euros y los 11 emplazamientos industriales distribuidos en Europa emplean aproximadamente a 7.500 empleados en 2013 (T-mag, 2018).

En nombre de la Agencia Espacial Italiana y el Ministerio de Defensa, Thales Alenia Space ha desarrollado el sistema COSMO Sky-Med. Es un sistema satelital avanzado para la observación de la tierra y para la gestión de riesgos ambientales, de defensa y de seguridad. El lanzamiento de los primeros cuatro satélites fue exitoso (el primero se lanzó en junio de 2007, el segundo en diciembre de 2007, el tercero en octubre de 2008 y el cuarto en noviembre de 2010). Los problemas surgieron con la implementación del programa Cosmo Sky-Med de segunda generación, que prevé el lanzamiento de dos satélites más avanzados para garantizar encuestas aún más precisas y, por lo tanto, más funcionales.

Por otra parte, se encuentra el Grupo Aeroespacial Lombardia de Varese, clúster establecido en 2009 como una asociación reconocida constituida por el Comitato Promotore del Distretto Aerospaziale Lombardo (Distrito Aeroespacial de Lombardía Comité Organizador).

Su estructura de financiación es extremadamente simple, los fondos disponibles provienen de las cuotas de membresía, pero el grupo tiene la intención de diversificar sus fuentes, atraer donaciones, inversión de fondos públicos a nivel regional, nacional y comunitario, capital de riesgo y financiación de proyectos.

Actualmente posee 81 miembros activos (74 jugadores industriales, 4 universidades y 2 centros de investigación y una organización profesional) como parte de una red más amplia que abarca casi 220 empresas, y unos 40 institutos públicos de investigación. De acuerdo con los datos de 2016, el clúster emplea a 16.00 personas y genera alrededor de 6 mil millones de facturación anual y una exportación de alrededor de 1.3 mil millones. A nivel práctico, Lombardia Aerospace Cluster se divide en 5 áreas de acción: la Junta Técnico-Científica, que desarrolla una visión estratégica a largo plazo de I + D, y 4 grupos de trabajo: cadena de suministro, marketing e internacionalización, educación y entrenamiento y crédito y finanzas, que activan programas y caminos específicos dedicados al crecimiento de las PYMES (Lombardia Aerospace Cluster, 2018).

### **Canadá**

La Industria Aeroespacial de Canadá es una de las principales a nivel Internacional, su industria es competitiva, en la producción de aviones civiles como Bombardier CRJ 100/200 (CRJ), Bombardier Q400 (DH4), Bombardier Dash 8-300 (DH3), Bombardier Dash 8 -100 (DH1). (Industria Aeroespacial, 2009). Las Políticas Fiscales favorecen el sector generando mayor competitividad en los mercados internacionales como nacionales, por lo tanto, el sector ha venido creciendo en los últimos años hasta el punto de posicionarse en uno de los mejores en la fabricación con niveles y tendencias mundiales generando un 80% de sus exportaciones

del sector a todo el mundo. Según los programas de investigación y desarrollo de la Industria Aeroespacial, cuenta con una iniciativa aeroespacial y de defensa. Ejemplo: Bombardier Aerospace.

## **China**

La industria Aeroespacial China es especialista en la producción de satélites, posee ventajas en el mercado debido a la reducción de costos generados por el exceso de mano de obra. La inversión en investigación tiene una gran participación en el presupuesto de la nación; adicionalmente el peso de las patentes en alta tecnología representa el 11% (Oficina Europea de Patentes). Las proyecciones de Asia-Pacífico en la industria aeronáutica crecerá en los próximos 25 años, de igual manera se estima que el tráfico aéreo pasará por esta región en más de un 50%, contando con dos estaciones espaciales “Tiangong-1 y Tiangong – 2” las cuales la segunda Estación de Agencia CNSA que está en China.

La proyección que tiene China es el desarrollo de una estación espacial propia, cuyo primer módulo será puesto en órbita en el año 2019, para este proyecto realizó con éxito en el 2017 el lanzamiento de la nave no tripulada “Tianzhou 1”, cohete de larga marcha 7Y2 de su principal centro “Wenchang”, en la isla Suroriental de Hainan. (Mundo, 2017).

## **Rusia**

Cuenta con la Agencia Aeroespacial RKA (Roskosmos) o Agencia Espacial de Rusia (también llamada RSA) que se formó el 25 de febrero de 1992 después de la separación de la Unión Soviética. La RKA utiliza la tecnología y las instalaciones que pertenecieron a su agencia predecesora y ha centralizado el control del programa espacial civil de Rusia, es uno de los sectores donde el gobierno genera mayor inversión en el desarrollo de cohetes (Angara) y naves espaciales (PPTS). Un factor fundamental en el sector espacial de Rusia es la inversión en investigación y desarrollo, motivo por el cual posee uno de los centros de Investigación más grandes del mundo (Industria Aeroespacial 2009).

Adicionalmente los rusos han realizado sus lanzamientos desde el Baikonur en Kazajistán, siendo este el principal centro de lanzamiento de cohetes, satélites rusos y del mundo. Rusia y Kazajistán acordaron el alquiler de la base y sus alrededores a Moscú hasta 2050. (Base Espacial Baikonur , 2017).

## **Reino Unido**

En la primera mitad del siglo XX, el crecimiento del sector aeroespacial británico fue impulsado principalmente por la aeronáutica, a través de la contratación pública masiva operada por el Ministerio Británico del Aire y la División Militar, con el fin de proporcionar a la Real Fuerza Aérea equipos de última generación. Su logro más evidente, fue

el desarrollo del Supermarine Spitfire (MK-24), el avión de combate utilizado por los países aliados que resultó ser crucial para el resultado de la Segunda Guerra Mundial. La victoria de esta confrontación armamentista, le permitiría al Reino Unido a acceder a la tecnología revolucionaria de cohetes alemanes, convirtiendo al país en uno de los pioneros en el sector espacial.

El Reino Unido ha implementado una serie de políticas aeroespaciales destinadas a apoyar el crecimiento de la industria relacionada con el espacio desde una perspectiva comercial, lo que le ha permitido el desarrollo de una amplia gama de campos tales como aviones, sistemas de propulsión (con compañías como Rolls-Royce y Reaction Engines), comunicaciones, aplicaciones científicas y satélites, entre otros (Paone, 2016).

La política aeroespacial pública del Reino Unido está dirigida a proporcionar infraestructura en comunicaciones y equipos cruciales en defensa que estimulan y potencian el desarrollo de empresas privadas y espacios para la promoción en ciencia y tecnología, además de financiar la investigación con el fin de fomentar la innovación en el campo y promover el sector en lo económico, productivo y comercial, haciendo que este país sea uno de los principales actores aeroespaciales de Europa y del mundo (Royal Aeronautical Society, 2014)

El “UK Space Gateway” Desarrollado a través de inversiones públicas específicas en el sector de investigación, ha sido durante mucho tiempo representante de uno de los principales polos de innovación del Reino Unido, estando a la vanguardia en los campos tales como la medicina, la energía atómica y tecnología de la información desde la primera mitad del siglo

XX. En particular, el comienzo de su historia como un distrito científico coincide con el inicio de la local industria aeroespacial en 1937, cuando la Royal Air Force Station Harwell se construyó en la zona para albergar varios escuadrones de bombarderos RAF durante la Segunda Guerra Mundial. Desde entonces, Harwell se convierte en el hogar de una serie de instalaciones de vanguardia en una amplia gama de instalaciones científicas, que incluyen (Paone, 2016):

- Un acelerador de partículas (similar al gran colisionador de hadrones del CERN) que se utiliza para estudiar soluciones innovadoras de ingeniería aeroespacial.
- Central Laser Facility (CLF): laboratorio láser capaz de recrear las condiciones ambientales en el núcleo de las estrellas.
- RAL Space, una compañía propiedad del Departamento de Ciencia y Tecnología, involucrada en cerca de 200 programas espaciales internacionales, como el sistema europeo de navegación por satélite “Galileo”, el orbitador “Venus Express”, el sistema de observación de la Tierra “TopSat”, la misión “Rosetta”, el observatorio espacial “Herschel” y el telescopio espacial “Planck”.

- The Satellite Applications Catapult Center: centro de innovación con el objetivo de conducir crecimiento económico a través de la comercialización de investigación y aplicaciones satelitales.

El clúster de Harwell constituye un ejemplo único tanto en el panorama nacional como internacional, ya que establece un enfoque industrial en los segmentos superiores de la cadena de valor del sector aeroespacial, dedicando grandes esfuerzos en el desarrollo de la industria satelital, además, el alto grado de integración con el sector de la investigación que da potencialidad a la innovación generando así externalidades positivas, atracción de inversión extranjera directa (IED) y el desarrollo socioeconómico. El campus de Harwell ha tenido tanto éxito que está jugando un papel fundamental en el logro del objetivo a largo plazo del gobierno de aumentar el valor total del sector espacial británico a £ 40 mil millones para 2030. Como se indica en el Plan Espacial Nacional del gobierno británico que está comprometido en llevarlo a cabo y lo ha denominado “Efecto Harwell” (Paone, 2016).

### **Estados Unidos**

Los Estados Unidos de América han promovido desde la segunda mitad del siglo XX, la conquista del espacio y ha proporcionado un tremendo empuje al sector espacial, por medio de políticas, alianzas y rivalidades, capaces de elevar constantemente el estándar en términos de conocimiento y tecnología. Junto con la antigua Unión Soviética, Estados Unidos constituyó la fuerza motriz estandarte de la Comunidad Europea, principalmente gracias al peso político que se le dio a este desafío en el marco de la Guerra Fría.

Desde el principio del siglo XX, los Estados Unidos de América. han sido los líderes mundiales en el sector de la aviación de clase mundial, con empresas significativas tales como Boeing, Grumman, Lockheed y Northrop. Además, el establecimiento del primer organismo gubernamental dedicado a la aviación cuyo origen data en 1915, cuando se estableció la agencia federal NACA (Comité Asesor Nacional de Aeronáutica). El liderazgo en la aviación y el primer promotor de la carrera por el espacio provocó el nacimiento del sector aeroespacial moderno.

La escalada de la tensión y la rivalidad con la Unión Soviética y la nueva aplicación militar de la industria aeroespacial llevó al gobierno americano a diseñar el desarrollo estratégico del sector aeroespacial nacional. Como consecuencia, la Ley Nacional de Aeronáutica y Espacio de 1958 disolvió la NACA y transfirió sus activos y personal a la recientemente establecida Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA - National Aeronautics and Space Administration).

Los Estados Unidos de América, abanderaron el proyecto (Apollo), que resultó en el primer hombre que puso un pie en la superficie de la luna en 1969. Como resultado de la distensión de las relaciones políticas entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, en los años siguientes se produjo un cambio de paradigma de la competencia a la cooperación entre las dos superpotencias,

que llevó a la articulación del desarrollo de la Estación Espacial Internacional (ISS). Los Estados Unidos de América. Siempre han estado a la vanguardia de la innovación aeroespacial, con logros trascendentales como el primer sistema mundial de navegación por satélite (GNSS por sus siglas en inglés) y el transbordador espacial, que introdujo el concepto de reutilización en el campo de la exploración espacial (Paone, 2016).

Tal actitud innovadora siempre ha sido respaldada por la implementación de un gran programa espacial nacional, y a partir de 2014, con US \$ 42.956 billones, Estados Unidos ocupó el primer lugar en todo el mundo en términos de presupuesto del gobierno dedicado al espacio. Esta cantidad constituyó el 13% de la actividad espacial mundial para el mismo año con US \$17.646 mil millones, la NASA absorbió el 41% del presupuesto espacial nacional, y la cantidad de fondos disponibles se mantuvo sustancialmente estable en 2015 y 2016 (NASA, 2015).

El principal cliente de la industria espacial de los Estados Unidos. Es el sector nacional de defensa, seguido de programas espaciales civiles implementados por el gobierno; en los últimos tiempos, el sector espacial privado nacional ha ganado un mercado cada vez más grande al compartir un espacio de los servicios de lanzamiento y transporte espacial, así como ser pionero en el sector de los Vuelos espaciales civiles, destacándose entre las compañías a la vanguardia: Benson Space Company, Bigelow Sistemas Aeroespaciales, Interorbitales, Sistemas Espaciales Masten, Orbital Science Corporation, Space Adventures, Space X y Virgin Galactic (Paone, 2016).

El sector aeroespacial de los Estados Unidos., es una de las principales fuerzas impulsoras de la economía de dicha nación, en conjunto representa US \$ 144 mil millones en exportaciones de los Estados Unidos, que atrajo flujos de inversión Extranjera Directa (IED) por US \$ 22.7 mil millones en 2013. El atractivo internacional de la industria aeroespacial estadounidense se deriva del tamaño del mercado y que posee características espaciales, mano de obra calificada, infraestructura de punta y las políticas altamente favorables puestas en marcha tanto para desarrollar lo público y lo privado. El empleo directo en el sector asciende a unas 500.000 personas, y en lo aeroespacial proporciona alrededor de 700.000 empleos en industrias relacionadas y de apoyo (AIA, 2015).

La industria aeroespacial de los Estados Unidos, y el sector espacial en particular, se estructuran siguiendo una estructura de clúster: por ejemplo, el más importante es el Grupo Aeroespacial de Seattle, que es reconocido por ser el primer y más grande clúster aeroespacial del mundo. La industria está extendida en todo el territorio nacional, y cerca de 15 Estados que albergan clústeres aeroespaciales con una presencia más pronunciada de actividades relacionadas con el espacio (OCDE, 2014).

El clúster aeroespacial de Colorado. La industria aeroespacial de Colorado ha estado desempeñando un papel estratégico primordial en la economía y economía de los Estados Unidos, marco político desde los años 50. En la actualidad, el Grupo Aeroespacial de Colorado "A Mile Closer to Space", es el campeón nacional en términos de empleo aeroespacial privado sobre el empleo total: las 170 empresas aeroespaciales (78% de los cuales se encuentran en las áreas de Metro Denver



y Northern Colorado) y sus 400 proveedores proporcionar empleo directo a 25.110 trabajadores del sector privado y 27.740 militares. El clúster exhibe fuertes interconexiones con industrias relacionadas y de apoyo, proporcionando empleos para otras 109.350 unidades y, por lo tanto, elevar el empleo total directo e indirecto a 162.210 personas (Colorado Space Coalition, 2018).

El Colorado Aerospace Cluster se destaca como un organismo extremadamente sofisticado que abarca una fuerza de trabajo altamente educada, empresas de clase mundial y una excelente red de instituciones en investigación, todas unidas a través de una profunda red de sinergias entre los diferentes actores (Colorado Space Coalition, 2018):

- Los jugadores industriales incluyen los siguientes contratistas principales: Bell Aerospace & Technologies Corp., Boeing, Harris Corporation (que opera en los segmentos de Redes Críticas, Espacio y Sistemas de Inteligencia y Soluciones de Información Visual), Lockheed Martin, Northrop Grumman, Raytheon Company, Sierra Nevada Corporation (con Space Systems Group y Grupo de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento) y el Atlas Lockheed Martin y Boeing Delta joint venture United Launch Alliance, cuya división de Servicios de Lanzamiento Humano trabaja en estrecha cooperación con la NASA..
- Los jugadores gubernamentales consisten principalmente en la Fuerza Aérea de los EE. UU., y el Departamento de Defensa, que tiene la mayor parte de los intereses y actividades en el clúster. El área es el hogar de las siguientes instalaciones militares principales: las Bases de la Fuerza Aérea de Buckley, Paterson, Cheyenne y Schriever
- Los jugadores académicos incluyen la Academia de la Fuerza Aérea de los EE. UU y programas de ingeniería aeroespacial
- El desempeño del clúster aeroespacial de Colorado se ve reforzado por la coordinación y actividad de promoción llevada por “The Colorado Space Coalition” (CSC) quien reúne a las principales partes interesadas de la industria aeroespacial (empresas, militares líderes, organizaciones académicas y grupos de desarrollo económico) con el objetivo de garantizar expansión continua de la industria aeroespacial local a través de la promoción, provisión de apoyo servicios a sus miembros y mediante el establecimiento de una red capaz de fomentar la colaboración entre las partes interesadas del clúster. CSC es una filial industrial del Metro Denver Economic Development Corporation, una entidad institucional que reúne una serie de grupos de desarrollo en el área con el propósito de fomentar el crecimiento socioeconómico territorial (Paone, 2016).

El aspecto más notable sobre el Grupo Aeroespacial de Colorado es probablemente el hecho de que es el rendimiento económico sobresaliente y el potencial para la innovación

son impulsados significativamente por el gran compartir el sector espacial dentro de la actividad más amplia de la industria aeroespacial en general.

Las proyecciones para los Estados Unidos en Materia espacial son ambiciosas según el Vicepresidente sobre la fuerza Espacial de los Estados Unidos. “El ambiente espacial ha cambiado fundamentalmente en la última generación. Lo que una vez era pacífico ahora está repleto y hostil. Hoy en día otras naciones buscan socavar los sistemas espaciales y desafiar nuestra supremacía en el espacio como nunca” (laborde, 2018). La geoestrategia políticas de los países desarrollados encabeza de los Estados Unidos se ampliará hacia la conquista del espacio, demostrando su poderío tecnológico y militar.

### **Australia**

Australia ha experimentado un crecimiento socioeconómico sostenido, convirtiéndose progresivamente en un centro de innovación, dando lugar a la promoción de sectores como el aeroespacial. El sur de Australia está preparado para aprovechar esta tendencia y exhibir capacidades significativas en una amplia gama de segmentos. Además, el sector se promueve por un ecosistema complejo y vibrante que abarca empresas innovadoras, universidades e instituciones de investigación.

En la región sur de Australia se involucran al menos 60 jugadores que participan en la academia, el gobierno y la industria, relacionados con el espacio experiencia y el potencial de aplicar dicha experiencia al sector espacial. Las empresas privadas en el área incluyen importantes contratistas como Airbus Defence & Space, BAE Systems, Boeing, Lockheed Martin, Raytheon y Northrop Grumman Australia (Paone, 2016).

La presencia de estos operadores ha atraído gradualmente a los pequeños y medianos empresas que ahora participan en la cadena de suministro proporcionando productos y servicios en un amplio conjunto de subsegmentos. En este sentido, Australia del Sur es también el hogar de las empresas que se sometieron sorprendente desarrollo en la última década: el proveedor de servicios profesionales Nova Systems, se ha convertido en una empresa reconocida en el paisaje internacional, con más de 400 empleados y oficinas en todo el mundo. También vale la pena mencionando la presencia relevante en el área de la Asociación de la Industria Espacial de Australia, que ha llevado a cabo una notable actividad de defensa. La asociación promueve el espacio nacional sector fomentando el intercambio de conocimientos entre sus miembros y ayudándolos a llevar a cabo sus operaciones, así como expresar sus intereses a nivel institucional (Paone, 2016).

Australia tiene una larga historia en aviación que puede verse registrada por medio de su aerolínea más grande, Qantas que es además la segunda más antigua del mundo, clasificada como la mejor por la web [AirlineRatings](#). De igual modo, Australia

cuenta con un entorno normativo de aviación de clase mundial, y muchos países en desarrollo buscan su marco de normas y gobernanza, con el reconocimiento de organismos reguladores internacionales como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). La industria aeroespacial australiana está bien establecida, con 830 empresas que emplean a 14.000 personas. Su volumen de negocios anual de la industria supera los U\$4 mil millones, de los cuales el 25 por ciento se exporta a nivel mundial. Los proveedores del sector aeroespacial australiano están integrados en las cadenas de suministro mundiales en Europa, Estados Unidos, India, China y ASEAN (Australian Trade and Investment Commission, 2018).

Algunas de las características clave del Sector Aeroespacial de Australia incluyen (Australian Trade and Investment Commission, 2018):

- Base de proveedores con aprobaciones aeroespaciales
- Integración en la gestión de la cadena de suministro global y local existente
- Historial en la integración de tecnologías avanzadas y materiales avanzados
- Agilidad para responder a las necesidades cambiantes de los proveedores con colaboración y asociaciones
- Capaz de proporcionar soluciones a problemas complejos para los clientes
- Altos niveles de calidad del producto
- Recursos excepcionales de I + D
- Instalaciones de educación y entrenamiento de primera clase
- Fuerza de trabajo altamente educada y calificada
- Buena base de transporte e infraestructura
- Diseño aeroespacial rentable e infraestructura de TI

Tres universidades australianas han asumido el rol de formación e investigación para el sector (Universidad de Adelaida, Universidad del Sur de Australia y la Universidad de Flinders). Además, el “Programa de Estudios Espaciales” se celebra anualmente en Adelaida como resultado de la asociación entre la Universidad de Australia del Sur y la Universidad Internacional del Espacio. La academia australiana se ha enriquecido aún más por la presencia de instituciones de investigación de talla mundial como el Defense Science and Technology Group (DSTG), ésta agencia gubernamental lleva a cabo investigaciones de vanguardia y actividad de desarrollo en el campo de la innovación y la tecnología para la seguridad nacional.

## Clústeres emergentes y de América Latina

Los resultados positivos del desarrollo de la industria espacial, junto con las perspectivas de crecimiento futuro impulsadas por el aumento de las dinámicas comerciales y empresariales en lo público y lo privado en términos de oportunidades ofrecidos por el sector espacial, han llevado a muchos países fuera del círculo tradicional a embarcarse en el camino hacia la “Nueva Economía Espacial” (Paone, 2016).

La globalización de la cadena de valor aeroespacial ha representado una importante oportunidad para que los países desarrollados participen en la economía espacial internacional, y para los países en desarrollo accedan a tecnologías de punta mediante el aprovechamiento de sus propias ventajas en términos de trabajo de bajo costo. Como resultado, un número cada vez mayor de nuevos jugadores ingresan al escenario aeroespacial mundial, bien sea fortaleciendo su posición dentro de éste o participando desde una perspectiva de clúster.

El enorme potencial de creación de empleo y el acceso a la tecnología exige el desarrollo de políticas industriales adaptadas para activar y fomentar el crecimiento de la industria aeroespacial, cuya fuerza constituye una clave factor facilitador del progreso económico y permite a la vez acelerar el proceso de desarrollo económico de economías en transición productiva , a partir de ello se ilustran algunos de los fenómenos recientes más interesantes del mundo con el objetivo de destacando sus características distintivas, sus controladores y sus factores de éxito, para proporcionar orientación más actualizada para la posible implementación de un grupo aeroespacial más amplio.

### Costa Rica

En 2013 el Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica (COMEX), en nombre del Gobierno de Costa Rica, encargó al Centro de la Universidad de Duke sobre Globalización, Gobernabilidad y Competitividad (Duke CGGC), para redactar un informe destinado a proporcionar una visión general sobre el papel del país dentro de la competitividad global (Penny & Gary , 2013).

El informe destaca las características clave de la industria aeroespacial nacional en términos de composición, propiedad de las compañías, actividades principales, identificación de fabricantes locales de equipos originales, posibles fuentes de ventaja competitiva, factores facilitadores (infraestructura y capital) y posibles trayectorias para la actualización.

Según la Promotora del Comercio Exterior Costarricense (PROCOMER), en 2011 el número de empresas costarricenses que operan en el sector aeroespacial ascendió a 110, con más de 4.000 empleados. El informe de la Universidad de Duke aplicaba otros criterios de selección de las empresas del sector, por tanto, identificó 29 empresas (con unos 2.000 a

3.000 empleados) y, solo dos de ellos (Mechania Engineering y Ad Astra Rocket) eran hasta 2013 de origen costarricense.

Las empresas más maduras del sector operaban en MRO (Mantenimiento, Reparación y Overhaul), mientras que los nuevos participantes se enfocaron en servicios de mayor valor (software, diseño e ingeniería) que requieren una mano de obra con educación terciaria. Debido a la incapacidad del país para competir contra países con bajo costo de mano de obra, se desplazó hacia un marco de producción de alta calidad/bajo volumen. Esta elección trae la ventaja significativa de los productos altamente sofisticados, pero por otro lado hizo poco atrayente a la industria para los proveedores a gran escala (Penny & Gary, 2013).

Además, los autores identificaron algunos problemas críticos como potencialmente perjudiciales para el desarrollo de una industria aeroespacial nacional costarricense, entre ellos, la existencia de un evidente exceso de demanda de trabajadores calificados dentro del sector de ingeniería y de TI, mientras que las empresas multinacionales (MNC) tienden a retener el talento estableciendo programas de entrenamiento interno, la entrada de firmas locales se ve obstaculizada por la escasez de fuentes de financiación, desactualización de la infraestructura nacional, demanda interna insuficiente para sostener la producción nacional.

En cuanto al último punto crítico, el informe identificó a la compañía costarricense Ad Astra Rocket como potencial “Empresa ancla”: debido a que la compañía ha estado proporcionando servicios sofisticados a la aeronáutica industria desde 2005 y constituye la empresa aeroespacial más importante del país.

Esta declaración se ha identificado con más detalle en un documento de trabajo redactado por el Consejo Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), que proporcionó al Gobierno costarricense en 2014, una serie de recomendaciones para desarrollar una estrategia global que se estructura en torno a cinco pilares: académico, comercial, técnico y tecnológicos, legales, institucionales y financieros (CONIDA, 2014).

- Académico: con el fin de llenar el vacío entre la demanda y la oferta de mano de obra calificada, se sugiere que el gobierno invirtiera en universidades nacionales y cree programas especializados dentro del campo aeroespacial, al igual que atraer capital humano extranjero para mejorar la red de relaciones internacionales.
- Comercial: estas directrices involucran atraer IED y desarrollo de industria a través del logro de certificaciones internacionales, y mediante la elaboración de una estrategia tecnológica y comercial
- Técnica y tecnológica: destaca la relevancia de la Investigación y el Desarrollo en el campo de materiales aeroespaciales, equipos y vectores, eficiencia energética y fuentes renovables.

- Legal: el documento recomienda la suscripción de acuerdos internacionales y tratados relacionados con el espacio, para destacarse como un interlocutor relevante para la comunidad del sector
- Institucional y financiero: la participación de todos los participantes relevantes de una amplia variedad de sectores se considera vital para el desarrollo de la industria espacial nacional. Por lo tanto, es de suma importancia para construir interconexiones entre los elementos tradicionales de la modelo de triple hélice (Academia, gobierno e industria), así como la sociedad civil y el sistema financiero.

El grupo aeroespacial de Costa Rica, conocido como el Clúster Aeroespacial (CRAC) se puso en marcha oficialmente el 8 de marzo de 2016, creado con base al interés común de las compañías costarricenses para cooperar al crecimiento de la industria nacional, según PROCOMER, establece que existe un potencial en la industria aeroespacial, en electrónica, plástico y metal.

El clúster, implementado por PROCOMER con el apoyo del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) consta de 25 empresas que operan en diversos campos. Estas empresas se clasifican en tres categorías según su área de operaciones: Completamente enfocado en el sector aeroespacial: empresas como Ad Astra Rocket, Avionyx, Coopesa. Tiendas de máquinas en general: Artemisa Precisión, Diez Olrich, Olympic Precision, Techshop International. Fabricantes de componentes, tales como: Irazu Electronics, L3 Communications.

En cuanto a la academia, las principales entidades involucradas son el Instituto Nacional de Aprendizaje (Instituto Nacional de Aprendizaje, INA), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y la Universidad de Costa Rica (Universidad de Costa Rica, UCR).

## **Brasil**

El clúster de Brasil reúne a más de 90 empresas, se organizó en el año 2004, su mayor fortaleza está en la industria de fabricación en primer lugar, luego están los servicios y en último lugar el sector defensa. La propuesta a punta a 3 escenarios:

Sector Aeronáutico: con la fabricación de aviones comerciales, helicópteros, partes para motores, equipamiento de radio, sistemas de control aéreo, ofrece servicios de mantenimiento a motores, sistemas de equipamiento a bordo (Brazilian Aerospace Cluster,2015).

Sector Defensa: Fabricación de aviones protegidos para diferentes tipos de misiones, vehículos aéreos no tripulados, sistemas integrados y componentes de armamento de inteligencia (Brazilian Aerospace Cluster, 2015).

Sector Espacial: Fabricación de Satélites y estructuras, paneles solares, servicios para imágenes satelitales y consultoría para servicios especializados.

## México

Los mecanismos utilizados por México con el Clúster Querétaro han sido claves para una buena ejecución estratégica como es la habilidad técnica en aspectos claves para la gestión con la conformación de alianzas, la capacidad de formar equipos o coaliciones con el desarrollo de proveedores locales, inversión extranjera directa y las ventajas competitivas (Secretaría de Desarrollo Sustentable, Estado de Queretaro, 2010).

El clúster de Querétaro tiene un direccionamiento estratégico con perspectivas hacia el capital intelectual como los centros de innovación y desarrollo, red de innovación e investigación con líneas de interés en el sector aeronáutico, cuenta con una Universidad que capacita en los 4 componentes del sector aeronáutico, igualmente (perspectivas competitivas como el aseguramiento de la permanencia, crecimiento y rentabilidad por medio de la producción y procesos aeroespaciales manufacturados en el Estado) (Secretaría de Desarrollo Sustentable, Estado de Queretaro, 2010).

Sus perspectivas externas e internas hacen que se anticipen al entorno, a los cambios que trae la globalización, por tal motivo realizan alianzas estratégicas con la Industria de otros países como Francia. Sus estrategias están enfocadas a la educación basada en competencias, necesidades del sector productivo, modelo de incentivos, transferencia tecnológica y desarrollo tecnológico local.

## Renglón aeronáutica y aeroespacial en Colombia

Para Colombia el sector aeronáutico es una industria naciente que en la última década se ha desarrollado alrededor de clústeres en 4 regiones del país: Bogotá, Cali, Dosquebradas (Risaralda) y Rio negro (Antioquia), los cuales apuntan a el enfoque de competitividad en la gestión, innovación, tecnologías, asociación y políticas públicas del país.

En estos clústeres participan empresas de revisión, mantenimiento y reparación, así como la fabricación de piezas y partes aeronáuticas.

**Clúster Rionegro, Antioquia (CAESCOL):** Es una iniciativa estratégica para la transformación cultural, social y económica de Colombia liderada por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), desde su centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la defensa (CETAD), con el objetivo de generar desarrollo económico regional con la manufactura de partes aeroespaciales para sustituir las importaciones tanto del sector defensa como privado, desarrollo de centros de reparación y mantenimiento de pates y aeronaves con matrículas nacionales e internacionales, implementación de programas, proyectos de investigación para



la innovación tecnológica (CAESCOL, 2017). Su direccionamiento estratégico está enfocado a una perspectiva Competitiva, interna, externa con habilidades técnicas en aspectos claves para la gestión con la conformación de alianzas, convenios para lograr mayor competitividad como:

Firma de Convenios:

Convenio Marco FAC-CAESCOL, de Cooperación Clúster baja California, el Acuerdo de Cooperación Universidad Aeronáutica de Querétaro, el Acuerdo de Cooperación Universidad Tecnológica de Tijuana, el Acuerdo de Cooperación con el Centro de innovación y Manufactura avanzada del Instituto Tecnológico y de estudios superiores Monterey (CIMA).

Convenios de Cooperación con instituciones de Educación Superior en Colombia: Universidad de Antioquia UDEA, Universidad Pontificia Bolivariana UPB, Instituto Universitario Pascual Bravo, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Cooperativa de Colombia.

Convenios de Cooperación con la Cámara de Comercio del Valle de Aburrá, construcción y participación en mesas de trabajo con: Ministerio de Defensa Nacional, Departamento Nacional de Planeación, Consejo Interinstitucional Aeronáutico de Colombia (CIACO), Proyecto Airbus para Colombia. Asimismo, se ha iniciado el desarrollo de componentes y partes aeroespaciales.

**Clúster del Valle del Cauca:** Se creó en el 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana, a través del Centro de Investigaciones de Tecnologías Aeroespaciales (CITAE), el clúster no ha tenido el éxito esperado después de cuatro años de creación, por la falta de voluntad y confianza entre la mayoría de empresarios involucrados (Revista científica de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea de Colombia Vol. 12).

En estos clúster participan ya decenas de compañías de servicios de entrenamiento y mantenimiento, así como de fabricación de piezas y partes, han sido apoyados desde el gobierno, los gremios y las cámaras de comercio regionales, que ven en este sector un filón importante para la generación de nuevas divisas y creación de polos de desarrollo (Revista Dinero, 2017)

**Clúster Bogotá (ACOPAER):** El desarrollo en este sector en Colombia ha permitido generar alianzas estratégicas en las diferentes regiones del país. En el contexto de ACOPAER, en soluciones aeronáuticas tiene alianzas con 21 empresas (ingeniería, fabricación, suministros, mantenimiento y educación) (DNP, 2017). Los retos para el sector aeronáuticos es la consolidación de los clústeres, estos deben ser más organizados, encadenados. Es importante invertir en maquinaria de punta para aumentar la capacidad productiva, avanzar en la cadena productiva hacia bienes más sofisticados (DNP, 2017).

Una experiencia importante a nivel Nacionales con la Corporación de la Industria Aeronáutica de Colombia (CIAC), la cual tiene unas ventajas competitivas en el mantenimiento, reparación y construcción de aeronaves, cuenta con 17 capacidades de mantenimiento y reparación, 324 servicios para ofrecer al mercado civil, posee 101 servicios para el sector seguridad y defensa, igualmente tiene 6 tipos de talleres habilitados para el proceso de mantenimiento y reparación. La Corporación de la Aeronáutica Colombiana (CIAC) participa en el proyecto Aeronáutico

Pegaso con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana, con el objeto de preservar las capacidades técnicas, atender las necesidades del sector interno y externo y el desarrollo de la Industria Nacional (DNP, 2017).

**Clúster Dosquebradas (Risaralda):** Es uno de los clústeres más importantes en el país y está vinculado a la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ha logrado incluirse en la elite de productores de piezas y repuestos para aviones y helicópteros, especialmente Black Hawk y K-fir, un mercado tradicionalmente controlado por potencias europeas y americanas. Este clúster tiene una capacidad instalada una capacidad tecnológica de alta robustez que permite producir piezas para aeronaves. (Cámara de comercio Dosquebradas, 2018). Cifras de la Cámara indican que Colombia importa anualmente 4 billones de pesos (1.670 millones de dólares) en partes aeronáuticas, lo cual abre una oportunidad para impulsar la economía de Risaralda y del país.

Catorce compañías de la región identificaron necesidades y empezaron a desarrollar repuestos para helicópteros Black Hawk y aviones como el K-fir o el Cessna Caravan. El clúster aeronáutico ha recibido en los últimos tres años 3.500 millones de pesos (1,4 millones de dólares) de entidades como INNPULSA, el Fondo Nacional de Regalías, la Alcaldía Dosquebradas y la Gobernación Risaralda (Cámara y comercio de Dosquebradas, 2018).18).

## **Conclusiones y recomendaciones**

### **Conclusiones**

Esta es la parte donde el autor o autores dan las respuestas a las interrogantes del proyecto. No debe ser una repetición de los resultados sino hacer énfasis en lo más importante de acuerdo a los objetivos. En los trabajos descriptivos se debe indicar si se alcanzaron los objetivos propuestos. Cada conclusión debe contestar cuanto menos a un objetivo, es decir que cada conclusión es la respuesta a la pregunta planteada en el objetivo. No incluya opiniones, suposiciones ni hallazgos de la revisión bibliográfica. Señale si acepta o rechaza las hipótesis e incluya la significancia estadística, por ejemplo: “No se encontró diferencia significativa en la ganancia de peso entre el grupo suplementado y el control ( $p > 0.05$ ), “ Se encontró diferencia significativa en la ganancia en talla entre el grupo suplementado y el control ( $p < 0.01$ ) Las conclusiones no deben exceder los datos planteados, y deben tomar en cuenta los objetivos

y la (las) hipótesis. No generalizar, no concluir datos que no estén respaldados en el estudio. Formule sus conclusiones de la manera más clara posible. En los trabajos analíticos se debe indicar si se comprueban o rechazan las hipótesis propuestas. Las conclusiones deben, necesariamente, derivar de los resultados y de su análisis y discusión. No se deben incluir conjeturas, opiniones, ni hallazgos de la revisión bibliográfica y tampoco se pueden mencionar aspectos no investigados, aunque al autor le resulten obvios. También en este apartado el autor debe ejercitar su capacidad de síntesis y concluir únicamente en lo importante y trascendente.

### **Recomendaciones**

En esta sección se incluyen las propuestas del investigador para la solución del problema investigado o bien para su estudio más profundo. Las recomendaciones deben ser realistas, tomando en cuenta las características del lugar o institución donde se realizó la investigación, se deben hacer recomendaciones factibles de llevar a la práctica con los recursos disponibles. Cuando se recomienda tomar alguna acción, el autor debería indicar quién es, según su experiencia, la persona o institución más adecuada para la puesta en práctica de lo que se propone. Se debe evitar expresiones ambiguas como "hacer conciencia" y, en su lugar, utilizar expresiones que indiquen acciones concretas a realizar, así como el lugar tiempo para efectuarlos. En esta parte se puede incluir el plan de acción o protocolo.

### **Referencias**

- A.T. Kerney. (2009). *India Aerospace: Poised for Takeoff*. A.T. Kerney.
- Aerospace Valley. (2018). Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Aerospace Valley: <http://www.aerospace-valley.com/en/page/about-us-0>
- Aeronáutica Civil. (2018). *Plan estratégico aeronáutico 2030, foro sector Aéreo 2030 ¿Hacia dónde debe ir la aviación en Colombia?* Aeronáutica Civil.
- AIA. (2015). *Aerospace Industries Association AIA*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de [http://www.aia-aerospace.org/wp-content/uploads/2016/12/AIA\\_StateOfIndustryReport\\_2016\\_V8.pdf](http://www.aia-aerospace.org/wp-content/uploads/2016/12/AIA_StateOfIndustryReport_2016_V8.pdf)
- AsTech Paris Region. (2018). AsTech Paris Region. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de <https://www.pole-astech.org/web/site/index.php?section=astech/pole>
- Australian Trade and Investment Commission. (2018). *Industria Aeroespacial Australiana*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <https://www.austrade.gov.au/local-sites/singapore/contact-us/why-australia-australian-aerospace-industry>

- Banco Mundial. (2015). Datos Banco Mundial. Recuperado el 8 de septiembre de 2018, de <https://data.worldbank.org/indicador/GB.XPD.RSDV.D.ZS?end=2015&locations=FR&start=1996&view=chart>
- Base Espacial Baikonur . (2017).
- Brazilian Aerospace Cluster. (2015). Brazilian Aerospace Cluster. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <http://www.aerospacebrazil.com.br/pt/aerospace-cluster>
- Camara y comercio de Dosquebradas. (13 de Abril de 2018). Recuperado el 10 de Septiembre de 2018, de <http://colombia-inn.com.co/municipio-colombiano-entra-a-elite-de-fabricantes-de-repuestos-de-black-hawk/>
- Colorado Space Coalition. (2018). Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de <http://www.spacecolorado.org/>
- CONIDA. (2014). Consideraciones para la elaboración de una política pública que impulse el sector aeroespacial en Costa Rica. Consejo Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial CONIDA.
- Cuatrecasas, L. (2012). Logística Gestión de la Cadena de Suministros.
- Delgado, M. M. (2011). Cluster. Convergence, and Economic Performace.
- DNP. (2008). Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3527. , Departamento Nacional de Planeación.
- DNP. (2008). Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3547. Departamento Nacional de Planeación.
- DNP. (2009). Seguimiento Al Conpes 3547 Del 27 De Octubre De 2008: Política Nacional Logística . Departamento Nacional de Planeación.
- DNP. (2016). CONPES 3866, Política nacional de desarrollo productivo. Departamento Navional de Planeación.
- DNP. (2017). Desarrollo Productivo del Sector Aeronáutico. Departamento Nacional de Planeación.
- EACP. (2018). European Aerospace Cluster Partnership. Recuperado el 7 de Septiembre de 2018, de <http://www.eacp-aero.eu/about-us.html>

- Escalante Hernández, B. B. (2013). Sustentabilidad: logística empresarial y manejo de logística inversa”, en Observatorio de la Economía Latinoamericana, N°185, 2013. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/mx/2013/logistica.html>
- F. Pyke, O. B. (1992). Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy. Geneva, Suiza: International Institute for Labour Studies.
- FEDESARROLLO. (2015). Plan maestro de transporte intermodal (pmti) 2015- 2035, Infraestructura para el comercio exterior, el desarrollo regional y la integración del territorio. Fedesarrollo.
- GTAI. (2017). GTAI German Trade & Invest. Recuperado el 7 de Septiembre de 2018, de <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Mobility/aerospace,t=industry--market-numbers,did=247990.html>
- Invest in Bavaria. (2015). Recuperado el 8 de septiembre de 2018, de [https://www.invest-in-bavaria.com/index.php?id=70&L=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=511&cHash=dd17842ec0df3e3e77e9cd356feb2ebb](https://www.invest-in-bavaria.com/index.php?id=70&L=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=511&cHash=dd17842ec0df3e3e77e9cd356feb2ebb)
- Jorge Niosi, M. Z. (2010). Multinational Corporations Value Chains and Knowledge Spillovers in the Global Aircraft Industry.
- Laborde, A. (08 de 2018). Estados Unidos anuncia la creación de su Fuerza Espacial para el 2020. El país.
- Lombardia Aerospace Cluster. (2018). Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de <https://www.aerospacelombardia.it/en/about-us/>
- Mani, S. (2010). The flight from defence to civilian space: evolution of The sectoral system of innovation of india's aerospace industry. Obtenido de <http://www.cds.edu/wp-content/uploads/2012/09/wp428.pdf>
- Nievas, F. (2016). El mito de la supremacía aérea como aspecto fundamental en la guerra. IX Jornadas de Sociología de la UNLP, 5 al 7 de diciembre de 2016, Ensenada, Argentina. En Memoria Académica. Disponible en: [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.9014/ev.9014.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.9014/ev.9014.pdf)
- Mundo, E. (2017). China Lanza su Primer Carguro Espacial.

- NASA. (2015). National Aeronautics and Space Administration. Recuperado el 8 de Septiembre de 2018, de [https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/FY15\\_Summary\\_Brief.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/FY15_Summary_Brief.pdf)
- Niosi, J. (2010). Multinational Corporations Value Chains and Knowledge Spillovers in the Global Aircraft Industry.
- OCDE. (2014). The Space Economy at a Glance. Obtenido de OECD. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico: [https://read.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014\\_9789264217294-en#page2](https://read.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014_9789264217294-en#page2)
- OCDE, O. f. (1999). Managing National Innovation Systems. OCDE.
- P. B., & G. G. (2013). Costa Rica in the Aerospace Global Value Chain Opportunities for Entry & Upgrading. Duke Center on Global Governance & Competitiveness CGGC.
- Paone, M. (2016). AEROSPACE CLUSTERS World's Best Practice and Future Perspectives.
- Pegase Cluster. (2018). Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de <http://www.safecluster.com/>
- Porter, M. (1990). La Ventaja Competitiva de las Naciones.
- Revista Dinero. (2017). Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/negocio-de-industria-aeroespacial-en-colombia-2017/247231>
- Ricciardi, A. (2004). Le reti di imprese. Italia.
- Roman Belotserkovskiy, E. G. (2009). Hamburg Aviation Cluster. Paper, Harvard Business School.
- Royal Aeronautical Society. (Octubre de 2014). UK SPACE POLICY: A 'HIDDEN SUCCESS STORY'. Recuperado el 7 de Septiembre de 2018, de <https://www.aerosociety.com/Assets/Docs/Publications/DiscussionPapers/UKSpacePolic y.pdf>
- Secretaría de Desarrollo Sustentable, Estado de Queretaro. (2010). La Industria Aeroespacial en el Estado de Queretaro. Secretaría de Desarrollo Sustentable, Estado de Queretaro.
- T-mag. (2018). T-mag. Recuperado el 7 de Septiembre de 2018, de L'industria aerospaziale in Italia: <http://www.t-mag.it/2014/06/18/lindustria-aerospaziale-in-italia/>
- Trischler, H. (2002). German Space Activities in a European Perspective The “Triple Helix” of Space. European Space Agency.
- Vitasek, K. (2006). Supply Chain Visions. Obtenido de [http://www.dekti.com.ua/en/glossary\\_eng.pdf](http://www.dekti.com.ua/en/glossary_eng.pdf)

## EVALUADORES

Andrés Felipe Carvajal Díaz  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo  
Sostenible - Colombia.

Angel Nava Chirinos  
Universidad Nacional Experimental  
"Rafael María Baralt - Venezuela.

Bharat Verma  
Cotecmar - Colombia.

Boris Julian Batista Gomez Casseres,  
Unitecnar - Colombia.

Byron Teran Hurtado  
Armada de Ecuador

Clara Inés Orrego Correa  
Universidad de Antioquia - Colombia.

Dawin Jimenez Vargas  
Cotecmar - Colombia.

David Ignacio Fuentes  
Cotecmar - Colombia.

Diana Beatriz Andrade Gamboa  
Secretaria del Medio Ambiente  
Gobernación De Antioquia - Colombia.

Diana Marcela Ramírez  
Cotecmar - Colombia.

Diego Fernando Morante Granobles  
Escuela Militar de Aviación Marco Fidel  
Suarez - Colombia.

Francisco Javier Gonzalez Arias  
Bureau Veritas Iberia - Mpo España.

Fredy Zarate Patarroyo  
Cotecmar - Colombia.

German Herrera Vidal  
Fundación Universitaria Tecnológico  
Comfenalco - Colombia.

Ivan Darío Correa Arango  
Consultor Independiente - Colombia.

Jaime Pancorbo Crespo  
Escuela técnica Superior de Ingenieros  
Navales, Técnico Bureau Veritas - España  
y Portugal M&O.

Jairo Useche Vivero  
Universidad Tecnológica de Bolivar  
Colombia.

Jeison Roja Rua  
Escuela de Aviación Naval Colombia.

Jose Francisco Torres Hernandez  
Agencia de Desarrollo Rural Colombia.

Juan Carlos Galindo Orozco  
Cotecmar - Colombia.

Luis Alberto Saavedra Martinez  
Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea  
De Colombia.

Luis Alejandro Lora Jimenez  
Universidad Autónoma del Caribe  
Colombia.

Luis Guerrero Gómez  
Bureau Veritas - División Naval Española.



Mary Luz Cañon Paez  
Dirección General Marítima - Colombia.

Milton Enrique Buevas Mendoza  
Corporación Universitaria Rafael Nuñez.  
Colombia.

Natasha Isabel Madera Samper  
Universidad Autónoma de Caribe.

Nestor Caicedo Solano  
Universidad del Norte - Colombia.

Omaira Martínez Moreno  
Universidad Autónoma de Baja California  
México.

Oleg Gustavo Vásquez  
Arrieta Corporación Universitaria Rafael  
Núñez - Colombia.

Rafael Oyaga Martínez  
Corporación Universitaria Reformada  
Colombia.

Ricardo Esquivel Triana  
Escuela Superior de Guerra - Colombia.

Ruben Dario Maza Galofre  
Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla  
Colombia.

Yasser Daniel Romero Hernández  
Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena  
Colombia.

#### Canjes y Subscripciones:

Barrio el Bosque Sector Manzanillo - PBX (+575) 6724610 ext. 11332 - Cartagena de Indias D. T. y C., Bolívar, Colombia.  
Correo: [derrotero@enap.edu.co](mailto:derrotero@enap.edu.co) - [www.escolanaval.edu.co/](http://www.escolanaval.edu.co/) [derrotero@gmail.edu.co](mailto:derrotero@gmail.edu.co). Los conceptos, opiniones o ideas expuestas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y su publicación no significa el punto de vista ni el pensamiento de la Armada Nacional de Colombia o de la Universidad Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”.



*Zarpe del Buque Escuela ARC "Gloria" en crucero de entrenamiento de Cadetes.*

---