

UNIVERSIDAD ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA REVISTA DERROTERO

ISSN 2027-0658 - ISSN-E 2590-4701

Vol. 12, Enero - Diciembre 2018



UNIVERSIDAD ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA REVISTA DERROTERO

ISSN 2027-0658 - ISSN-E 2590-4701

Vol. 12, Enero - Diciembre 2018

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

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, Ph.D.
Universidad Austral de Chile

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

Felix Moronta Barrios, Ph.D.
International Centre for Genetic
Engineering and Biotechnology. Italia

DIAGRAMACIÓN Y REVISIÓN DE ESTILO

JCP IMPRESORES S.A.S

Version digital

Open Journal System – OJS

Especificaciones Técnicas

Volumen N°12 enero – diciembre 2018
(pp. 1 a 272)

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: Stempel Garamond.

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.escuelanaval.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

La modularidad y su aplicación en buques de guerra 9 - 26

Luis Andres Piñeros Bello - Camilo Ernesto Segovia Forero - Lewis Germán Julio Arango.

Análisis de relajación iónica y estructural del sistema vitreo $x\text{AgI} - (1-x) \text{NH}_4\text{I} + \text{KI}$ 29 - 47

R. D. Maza - A. García.

Estudio de evacuación en buques con Infantería de Marina 49 - 64

José María Riola Rodríguez - Heitor Martínez Grueira.

Optimización hidrodinámica de boya subsuperficial con aletas orientables: análisis CFD 67 - 82

Daniel José Coronil Huertas - Juan Manuel Vidal Pérez - José Juan Alonso del Rosario.

Estudio de maniobrabilidad de un UUV 85 - 94

José María Riola - Francisco Jesús Velasco - Elías Revestido.

Oceanografía

Análisis geomorfológico de la Isla Cayo de Bajo Nuevo con base en imágenes de sensores remotos 97 - 107

Juan Ricardo Ortegón Vega.

Modelación numérica de la marea meteorológica en el Pacífico colombiano 109 - 130

Marco Cruz Bedoya - Jahir Andrés Robledo Leal.

Administración

Diseño operacional sistémico como herramienta de seguridad en la región de Centroamérica y el Caribe 133 - 140

Jorge Alberto Cabrera Botero.

Relación de la industria 4.0 con la competitividad industrial 143 - 174
Diego Edison Cabuya Padilla.

Propuesta de un modelo logístico aplicado a la cadena de valor en un régimen franco para un astillero naval 177 - 203
Ricardo Ortiz Vergara.

Ciencias Básicas

Correlación canónica entre variables fisicoquímicas y microbiológicas en humedales costeros 205 - 219
Juan Carlos Valdelamar-Villegas.

Derecho

Regulación del territorio marino-costero en Colombia desde las iniciativas legislativas del Congreso de la República entre 1998–2016 221 - 237
Camilo M. Botero - Liliana Marin.

Reflexiones en torno a la capacidad de resiliencia de la comunidad de los Montes de María 239 - 254
María Antonia Alfonzo - Camilo Andrés Castiblanco.

Seguridad Marítima

Consideraciones para la defensa química, biológica y radiológica de buques de guerra en Latinoamérica 257 - 270
Tomás R. Pérez Romero - Gabriela G. Salas Berrocal - José M. Gómez Torres.

EDITORIAL

Durante los últimos dos lustros, la Revista Científica *Derrotero* se ha ido constituyendo en un referente de divulgación del conocimiento científico orientada a las Ciencias del Mar, la Ingeniería Naval y la logística aplicable al sector marítimo, fluvial y portuario. En ese sentido, nuestra Revista *Derrotero* ha estado influenciada por las responsabilidades que por ley asignan a la Armada Nacional la protección del medio marino y fluvial. Esta responsabilidad nacional demanda la generación de conocimiento e implementación de tecnología para desarrollo sostenible del Mar Caribe, el Océano Pacífico, costas, ríos y arterias fluviales vitales para del país.

Este vasto escenario geográfico y reto tecnológico, exige resultados veraces que puedan servir de evidencia científica para la toma de decisiones bien informada por parte del Estado colombiano y de conocimiento con valor agregado para la comunidad científica en general. Con gran decisión, entusiasmo y voluntad, nos hemos fijado entregar el volumen número 12 con un matiz de innovación en nuestros procesos editoriales que han permitido elevar el nivel y calidad de las publicaciones soportadas con alto rigor científico. Debo notar que al día de hoy contamos con un Comité Editorial y Científico integrado por científicos de reconocida trayectoria académica e investigativa. Igualmente, hemos afinado algunos aspectos editoriales, tomando atenta nota de los criterios nacionales e internacionales sobre publicaciones científicas. Este esfuerzo se ha visto reflejado en una mayor visibilidad e impacto, especialmente en los Sistemas de Indexación y Reconocimiento (SIRes), como lo son DOAJ, OJS, Periódica, REDIB, Actualidad Iberoamericana, Google académico, MIAR y Journal TOCs. Logro que al día de hoy ha permitido posicionar a la Revista



Derrotero como un baluarte del conocimiento y promotor de la conciencia de un país marítimo por excelencia.

En esta oportunidad, han depositado su confianza investigadores internacionales que han visto en la Revista Derrotero una oportunidad para compartir sus resultados de investigación, reconociendo una sólida exigencia en los procesos arbitrales con pares ciegos quienes han contribuido de manera sobresaliente a garantizar la calidad de las publicaciones. De la misma forma, y en sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se vinculan artículos de Universidades y Corporaciones de Ciencia y Tecnología que están enlazadas con la protección de los océanos, mares, recursos marinos y su aprovechamiento. Temáticas relacionadas con ingeniería naval, oceanografía y administración, también fueron igualmente tenidas en cuenta por investigadores externos como parte del proceso de visibilidad que surte la Revista Derrotero.

Con matiz transformador y evolutivo, también hemos trascendido a difundir resultados de investigación sobre el conflicto interno como una contribución a la Memoria Histórica del país. Esto como forma de valorar con respeto el pasado valiente de nuestras mujeres, hombres y víctimas. Finalmente, se presenta oficialmente esta revista científica a la comunidad académica como un aporte promovido por la Universidad 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 a la Espada como reconocimiento al Don de Mando, principios y valores del Oficial Naval.



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

LA MODULARIDAD Y SU APLICACIÓN EN BUQUES DE GUERRA

Modularity and its application in warships

Luis Andres Piñeros Bello¹
Camilo Ernesto Segovia Forero²
Lewis German Julio Arango³

Recibido: 19/07/2018

Aceptado: 10/09/2018

Resumen

El presente documento realiza una aproximación conceptual de modularidad en los integrantes de la Armada Nacional cuyo énfasis profesional no radica en el área de diseño e ingeniería naval, así mismo busca dar inicio a una serie de discusiones que permitan la convergencia de conceptos entre los más conocedores del tema al interior de la institución. De esta manera generar una comprensión general de la modularidad en aplicaciones de ingeniería, para finalmente llegar a su necesidad en arquitectura naval, como un método práctico y eficiente de optimización de tiempos y recursos en la construcción de buques, así como comprender la relevancia que tienen los módulos de misión con configuraciones para las capacidades requeridas, llegando de esta manera a declarar estas capacidades

a través de la adaptabilidad de sus buques de guerra.

Palabras clave: modularidad, estandarización, adaptación, flexibilidad, buques de guerra.

Abstract

This document represents a conceptual approach of modularity for the members of the Colombian Navy whose professional emphasis does not lie in the area of naval design and engineering, also seeks to initiate a series of discussions that allow the convergence of concepts among the most knowledgeable of the subject within the institution. In this way it is intended to generate a general understanding of modularity in engineering applications, to finally reach its need in naval architecture, as a practical and

¹Asesor de armas y sensores de la Dirección de Programas Estratégicos Armada Nacional, Master en Radar, Equipos, tecnologías y desarrollo de sistemas – luis.pineros@armada.mil.co

²Gerente Programa Plataforma Estratégica de Superficie Armada Nacional – camilo.segovia@armada.mil.co

³Especialista en Gerencia de Proyectos de Construcción - Diseñador División de Equipos y Habilitación Cotecmar – ljulio@cotecmar.com

efficient method of optimization of time and resources in shipbuilding, as well as understand the relevance that the modules of mission have with configurations for the capabilities required, and in this way

to be able to declare these capabilities through the adaptability of their warships.

Keywords: modularity, standardization, adaptation, flexibility, warship.

Introducción

En el campo ingenieril, el concepto de modularidad visto como una estrategia para el mejoramiento de los procesos de construcción en diferentes tipos de industria, ha atraído la atención de diseñadores, constructores, armadores, gerentes e investigadores asociados a la industria marítima; igualmente la adaptación al entorno de la arquitectura naval, situada en el ámbito de la construcción de buques de alta complejidad y diseñados para escenarios de alta intensidad, permite centrar el valor de este estudio, que busca explorar las diferentes aplicaciones prácticas que ha tenido para la optimización del empleo productivo en la construcción de buques de guerra, así como el futuro determinante que tiene la modularidad en este campo.

Como antecedentes es posible declarar que desde la década del 60 se inició la adaptación como un concepto transversal a diferentes campos de la industria, estableciéndolo como un sistema jerárquico que consta de subsistemas independientes y desde la década del 70 la modularidad ha tomado relevancia en el mundo marítimo. De esta manera, a dichos subsistemas se le adicionan conceptos complementarios como son la estandarización, adaptabilidad y flexibilidad para visualizar el esquema modular implantado en la industria.

Se puede entender la proyección de la industria hacia la implementación de la modularidad como base para lograr mejoras en la cadena productiva, optimizando considerablemente el tiempo de construcción y de configuración, permitiendo su adaptación a las diferentes misiones y tareas a desempeñar de manera rápida y eficiente, convirtiéndose en una tendencia creciente que las armadas del mundo están implementando.

Pero si bien el avance tecnológico y óptimo de procesos es de gran relevancia, debe contemplarse una realidad global avocada a la optimización de recursos. Estos deben realizarse, abordando un tema complementario que ha servido como soporte para la justificación y empleo de la modularidad como una necesidad, teniendo en cuenta el panorama que enfrentan las diferentes armadas en relación con presupuestos decrecientes y costos de producción cada vez mayores. Debe destacarse que, claramente los diferentes niveles políticos y económicos globales, que el entorno regional de cada nación, conduce en algunos casos a una base industrial con limitaciones de desarrollo dentro del entorno de la construcción naval a nivel global.

Evidentemente ese comportamiento económico bastante generalizado lleva a que cada armada deba esforzarse cada vez más para reducir los costos asociados con el diseño de las naves, así como la producción, adquisición, operación y modernización de sus buques.

Método

La investigación adelantada tiene como propósito generar interés real y entregar un conocimiento general acerca de la modularidad a través de su conceptualización como herramienta para precisar y facilitar su entendimiento y divulgación, e identificar su aplicabilidad en el área de la arquitectura naval de este término acuñado en diversos campos de la ingeniería.

Este artículo emplea una metodología exploratoria, indagando diversas fuentes, con el fin de realizar un análisis en las diferentes fases en que se puede aplicar este concepto, así como las diferentes configuraciones que se manejan, resaltando su importancia y aplicabilidad en una armada convencional.

Resultado

Concepto de adaptabilidad

Se hace necesario contextualizar el concepto de adaptabilidad y su relación activa con el tema principal de este estudio por tanto con miras a hacer más clara la posición en la que se haya la modularidad en el básico principio naval, antes de explorar diferentes entornos que conduzcan los esfuerzos lógicos a la comprensión de la temática en la ingeniería, por tanto debe describirse la capacidad de adaptación de un diseño proyectado a un futuro de desarrollo tecnológico y cambio sistemático de necesidades, del cual se desprenden a su vez dos conceptos como la Modularidad y Flexibilidad. En la Ilustración 1 se puede observar la relación establecida por RAND Corporation para los conceptos citados y la cual debe ser tomada en cuenta para la comprensión de esta investigación.

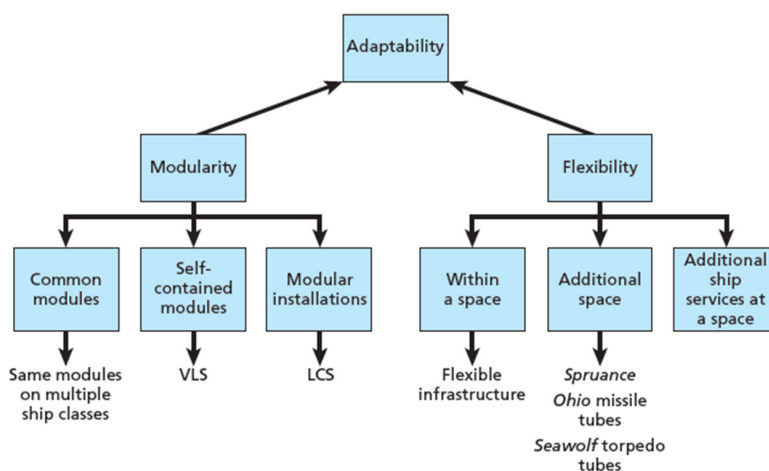


Figura 1. Adaptabilidad y su relación con la modularidad y flexibilidad

Fuente: Nato Naval Group 6, 2004

El término modularidad generalmente se usa de tres maneras diferentes. En el diseño complejo de sistemas de ingeniería con aplicación naval, el término se utiliza con respecto a las unidades intercambiables para el mismo espacio o módulos de estación. Así, en lo relacionado a la construcción y la modularidad de la arquitectura se refiere al desarrollo de sistemas por componentes estandarizados. En la fabricación, la modularidad tiene que ver con uso de unidades intercambiables para crear variantes de productos (Largiader, 2001).

En el entorno de arquitectura naval se dice que un producto complejo es “modular”, por tanto este se divide en varios componentes y luego éstos se asignan a módulos en una arquitectura o plan específico. La modularidad en una perspectiva de ingeniería se utiliza generalmente para tres propósitos principales (Baldwin & Clark, 2004):

1. Para hacer manejable la complejidad.
2. Para habilitar el trabajo en paralelo.
3. Para adaptarse a las incertidumbres futuras.

Los anteriores propósitos son utilizados en el nivel conceptual de modularidad y aplican a las funcionalidades requeridas en la industria astillera.

Por tanto como referente de aplicación se encuentran cuatro casos que permiten entender la aplicación conceptual a cada escenario de los buques navales como sería el concepto de MEKO generado por el astillero Blohm & Voss shipyards en Alemania, Stand flex de la Marina Danesa, el Litoral Combat Ship (LCS) de Estados Unidos y el GCS “Global Combat Ship” de la Royal Navy.

La modularización en el diseño y la construcción de buques de superficie también ha sido estudiado en Japón y Corea, según Hyundai Heavy Industries (HHI), los astilleros han implementado con éxito esta metodología (Largiader, 2001).

MEKO (Multi-Purpose Combination)

Se refiere a una familia de buques que mediante el diseño y construcción de módulos de armamento, eléctricos y sistemas que tienen interfaces y conexiones estandarizadas, permiten intercambiar o instalar nuevas capacidades. La MEKO se ha convertido en referente de este concepto en la industria astillera, debido a que ha sido aplicada a diferentes tipos de embarcaciones, así como se ha usado en más de 43 fragatas y corbetas, de manera parcial o completa para construcción naval.

Cabe anotar que el concepto desarrollado por Blohm & Voss Shipyards ha sido adoptado e implementado por Damen Group con la serie de buques conocida como clase

SIGMA, que actualmente se encuentra en funcionamiento en las Armadas de Indonesia y Marruecos en las diferentes variantes de Corbetas y Fragatas.



Figura 2. Concepto Blohm + Voss MEKO
Fuente: Nato Naval Group 6, 2004

Blohm&Voss ha declarado que los mayores beneficios obtenidos al implementar desarrollos modulares en la fase de construcción son (Largiader, 2001):

1. Reducción del tiempo de diseño mediante la reutilización de módulos / componentes comunes.
2. Flexibilidad de diseño.
3. Ahorro de tiempo y costos durante el proceso de producción.
4. Clara división de responsabilidades entre el astillero como contratista principal y el fabricante de armas, sistemas electrónicos y maquinaria.

El concepto principal de la modularidad, por configuración, consiste en que el casco, la maquinaria y cierto número de elementos instalados a bordo pueden tener mayor tiempo de servicio que otros. Este es el caso de los equipamientos electrónicos y armamento que si se aplican de forma modular, se puede reducir la obsolescencia a un costo relativamente menor, puesto que, son fácilmente intercambiables y actualizables. Lo anterior puede lograrse si en etapas tempranas del diseño del buque se determinan los parámetros necesarios por medio de los márgenes de crecimiento de las capacidades de incorporar, modernizar y reemplazar los elementos y componentes que sean contemplados en la construcción.

Modularidad de Misión

“Standard Flex”

A principios de la década de los 80', la armada danesa se enfrentaba a una flota de superficie envejecida y cada vez más obsoleta, así como un presupuesto de defensa limitado, por tanto, tomaron la decisión de introducir el concepto de “Standard Flexibility”. Por tal razón, se implementa el concepto de módulos de misión, y así, se estandariza el diseño y se aplica la flexibilidad con la finalidad de suplir específicamente las necesidades operacionales, pero con el requisito de mantener el número existente de buques. De esta manera, se proyecta un realista y distante relevo de los buques, debido a las restricciones presupuestales ya indicadas. Como resultado a esta necesidad, se genera el concepto de diseñar un casco estándar con propulsión estándar que pudiera reconfigurarse para tomar una variedad de payload en contenedores y de esta manera adaptarse a diferentes roles operativos.

Los contenedores estandarizados y las interfaces asociadas, permitirían entonces, que el papel del buque pueda ser adaptado en un tiempo muy corto y poder así cumplir con las operaciones planeadas, optimizando la especialización de tareas a desempeñar y así, reducir los costos de mantenimiento en gran medida.

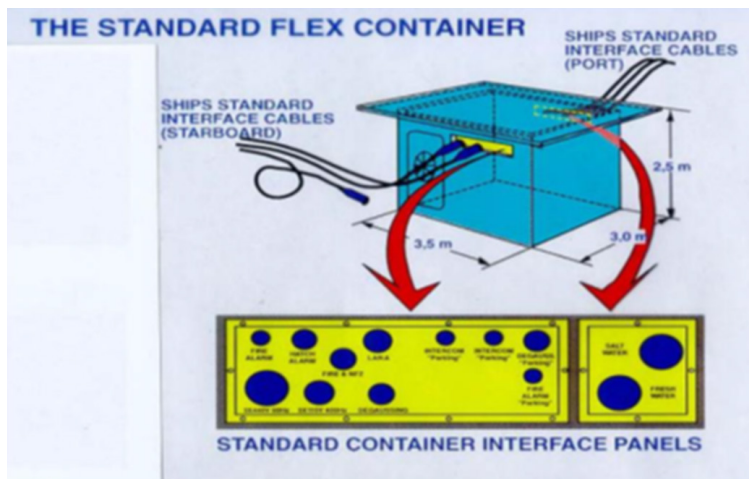


Figura 3. Panel de interface estándar para el módulo “Standardflex”
Fuente: Nato Naval Group 6, 2004

Los estudios de viabilidad indicaron que 16 buques STANFLEX 300 serían suficientes para reemplazar los 22 buques existentes especializados en tres tipos diferentes y que serían retirados del servicio. Como resultado, se reducirían los costos iniciales, costos de mantenimiento y del ciclo de vida. Además, los módulos no embarcados podrían

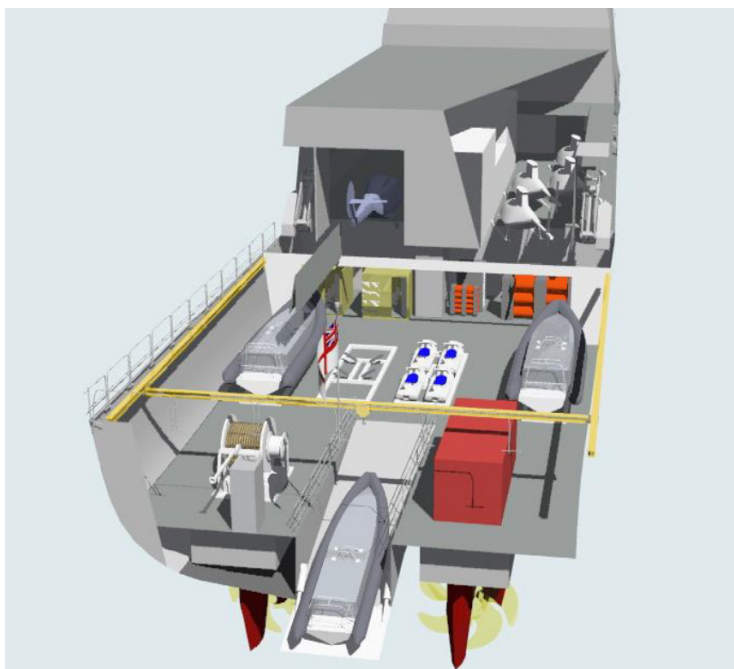


Figura 5. Bahía de misión Fragata tipo 26 (Global Combat Ship)

Fuente: www.defenseindustrydaily.com

El concepto “Flex” para la RN es tenido en cuenta con el fin de adaptar el diseño para aumentar el ciclo de vida, para no caer en la obsolescencia. De esta manera, teniendo en cuenta que, a pesar que, para el diseño clase 23 se realizó un mayor esfuerzo para poder evolucionar y mejorar la plataforma y sistemas de combate, fue inevitable encontrarse con que éste llegó a los límites en su margen de crecimiento por diseño. Así, se genera el impulso para que el Ministerio de Defensa y a la Marina desarrolle un proyecto flexible y modular, que permitiera un alto nivel de reconfiguración y adaptabilidad.

Littoral Combatant Ship (LCS)

La Marina de los Estados Unidos ha utilizado la modularidad en sus nuevos buques como el LCS y en el programa Deepwater de Guardacostas. Esta situación, ha permitido la ampliación del concepto de modularidad, enfatizando, en este caso, en los sistemas externos tripulados y no tripulados. Asimismo, sensores y armas conforman lo que denominaron paquetes de misión con una excepcional explotación de la flexibilidad, logrando que el casco pueda separarse de la capacidad hasta el punto en el que los buques llegan a ser configurados en un tiempo de 48 horas de una misión a otra.



Figura 6. Littoral Combatant Ship U.S Navy (SLC 1&2)
Fuente: defense-update.com

Como concepto complementario, pero de especial consideración, se encuentra la aplicación de la modularidad de misión para buques de menor desplazamiento. Dicho concepto, hace que sea necesario tomar con mayor importancia la posibilidad de contar con buques más versátiles, que puedan reconfigurarse y que consideren la modularidad de misión, desde el aspecto de la flexibilidad operativa, durante la misión, incluido el tiempo y la logística necesarios para el empleo del buque en la misión. De este modo, en general, los grandes buques como fragatas, destructores y cruceros, están diseñados para misiones múltiples y en escenarios de amenaza media o alta, volviéndose altamente sofisticados y por lo tanto extremadamente costosos para el apoyo y ejecución de operaciones de paz. Estas, además, son tareas predominantes en el entorno actual de las Armadas y en el que, el uso de tales buques puede ser ineficiente, pero si se puede considerar el empleo de embarcaciones más pequeñas, que aunque tengan limitaciones pueden ser más específicas en sus capacidades, esta podría ser una solución más rentable a la problemática presupuestal latente.

La guerra asimétrica en un ambiente litoral también está siendo considerada, y esto, abre el camino para que las buques menores de combate litoral (SLC) Small Littoral Combatant, por sus siglas en inglés, lleguen a desempeñar un papel clave como nodos

en un más amplio y especializado concepto de la guerra. (NATO NAVAL GROUP 6, 2004).

Programa F110

En los años 70 y 80 Navantia (entonces Bazán) construyó dos clases de fragatas para la Armada, las Clase Baleares (F-70) y la Clase Santa María (F-80) ambas con diseño y tecnología estadounidense derivado de las DE Clase Knox y FFG clase Oliver Hazard Perry respectivamente, adaptados por Navantia a los requisitos de la armada Española. Posteriormente, a comienzo de los 90' Navantia participó junto con otros 8 países en el programa de cooperación europeo NFR90 que sirvió como base para el diseño de una nueva fragata: la F-100 Clase Álvaro de Bazán para la Armada Española.

Estos programas fueron bases para el programa de la futura fragata F 110, la cual incorporará conceptos de modularidad de misión, con la idea de trabajar en un espacio multimisión en su costado alojando el bote (RHIB rigid-hulled inflatable boat por su sigla en inglés) de 11 m, VDS, módulos contenedores estandarizados y vehículos no tripulados (USV y UUV).

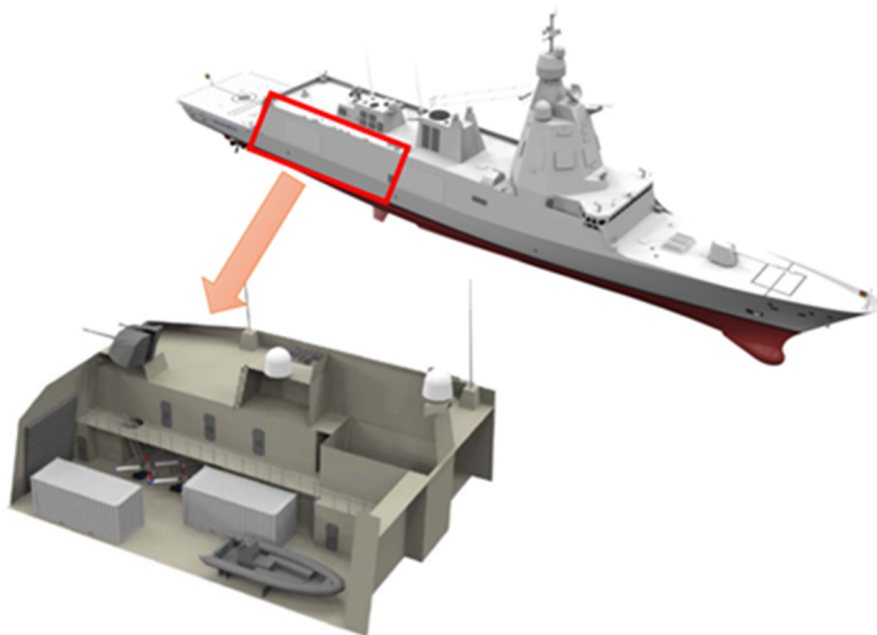


Figura 7. Modularidad Programa F 110
Fuente:: Elaboración Riola Rodríguez José M

Consideraciones para la Implementación de la Modularidad

Después de la exploración conceptual y conociendo los diferentes casos reales de aplicación, se abordan las características de diseño y las posibilidades que provee el adoptar este tipo de metodología.

Como primer argumento debe considerarse que para la aplicación de los módulos de misión en un buque, este debe contar con sistemas compatibles a cada elemento configurable, puesto que debe ser fácilmente adaptable y con la capacidad de ágil integración para la navegación y operación segura de los módulos durante el cumplimiento de la misión que deba realizar, por lo cual debe contar con un sistema de integración que sea capaz de comunicarse con estos módulos y en caso de ser ya buques con mayores requisitos tecnológicos debe poder ser integrado al sistema de combate con el que cuente o en términos más prácticos (C4I) el cual debe ser muy abierto y flexible para su adaptación tanto en hardware como software de manera robusta y confiable.

Adicionalmente los módulos deben estar diseñados de manera que no interfieran en ningún caso con las funciones básicas del buque, teniendo en cuenta sus requisitos de conexión, potencia, refrigeración, estabilidad y demás, de acuerdo con el tipo de misión definido durante el diseño conceptual. En la Ilustración 8, se observa como puede ser configurado un buque menor incrementando las capacidades requeridas para la misión por medio del diseño modular requerido.

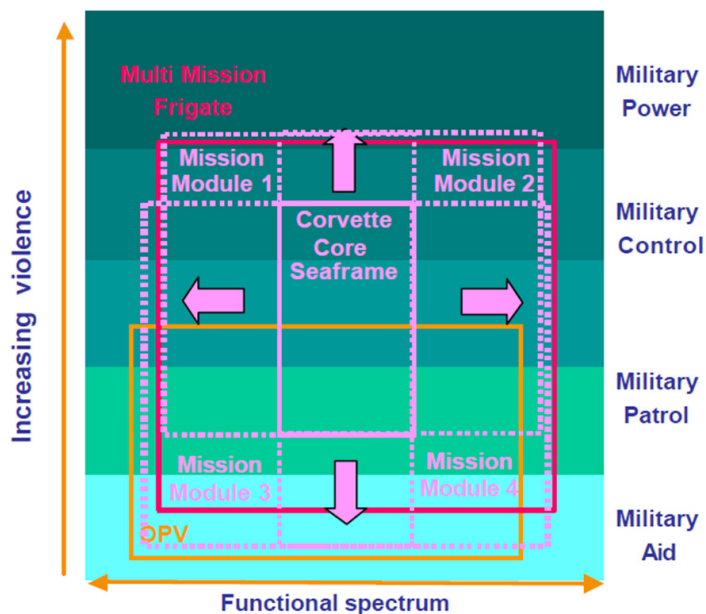


Figura 8. Tareas de una fragata multimisión y una OPV ejecutadas por una corbeta usando la modularidad de misión.

Fuente: Nato Naval Group 6, 2004

Ahora bien, es de notar cómo por medio de la modularidad de misión se puede abordar el dilema de suplir necesidades y requisitos institucionales con buques de menor complejidad. Sin embargo, la necesidad es la de alcanzar la totalidad de las capacidades requeridas por una nación para el defensa de su soberanía y la proyección de sus intereses marítimos con un presupuesto reducido y con la posibilidad de proporcionar a estos buques multimisión una configuración que haga más robustos los buques pero también más específicas en cada misión.

De este modo, se debe tener en cuenta que los países con Armadas intermedias no solo debe considerarse la dotación de cierto buques menores que solo tengan capacidad para realizar tareas complementarias. Por el contrario, se debe propender por la optimización de recursos con respecto a las unidades mayores o buques estratégicos. Es en este específico caso en el que debe ser considerada la posibilidad de implementar la metodología de modularidad en el directo ejercicio de la construcción de buques, en el cual es claro que la modularidad es la medida preponderante para la optimización de recursos y tiempo, y con la que se da un decisivo impulso a la industria astillera.

También debe sopesar en este evento la posibilidad del diseño de este tipo de buques de alta complejidad, con módulos de misión que los hagan más versátiles y que puedan en caso dado contener las capacidades apropiadas para afrontar las necesidades estratégicas. Asimismo, no debe olvidarse que no es posible dotar a una fuerza completa de estos países, con proyección regional de los equipos necesarios para cumplir con las tareas asignadas.

De esta manera y para tener una referencia de la óptima aplicación en buques de alta intensidad y de decisivo impacto es como aparece el programa de diseño DDG-51 que es una iniciativa de aplicación del concepto de modularidad y flexibilidad a los destructores clase Arleigh Burke de la Armada de Estados Unidos. Este programa a su vez se subdivide en el programa SSES el cual explora el concepto para buques multimisión y el Aegis Combat System (Schank, 2016).

Ahora bien, es necesario entender qué sigue y cuál es la proyección que se debe alcanzar y, en este caso, es inevitable mencionar cuál es el futuro de las Armadas referentes al área tecnológica, en su impacto económico y geopolítico, que lleva a una nación a requerir el mantenimiento de una posición de suficiencia soberana o utilizando un término de amplia difusión en el ámbito naval “una estatura Estratégica”. De esta manera, se observa una inequívoca tendencia a requerir la habilidad de adaptarse a los cambios en las condiciones en tiempo de paz y la planeación, especialmente en tiempo de guerra para potencializar las capacidades armadas de la Flota.

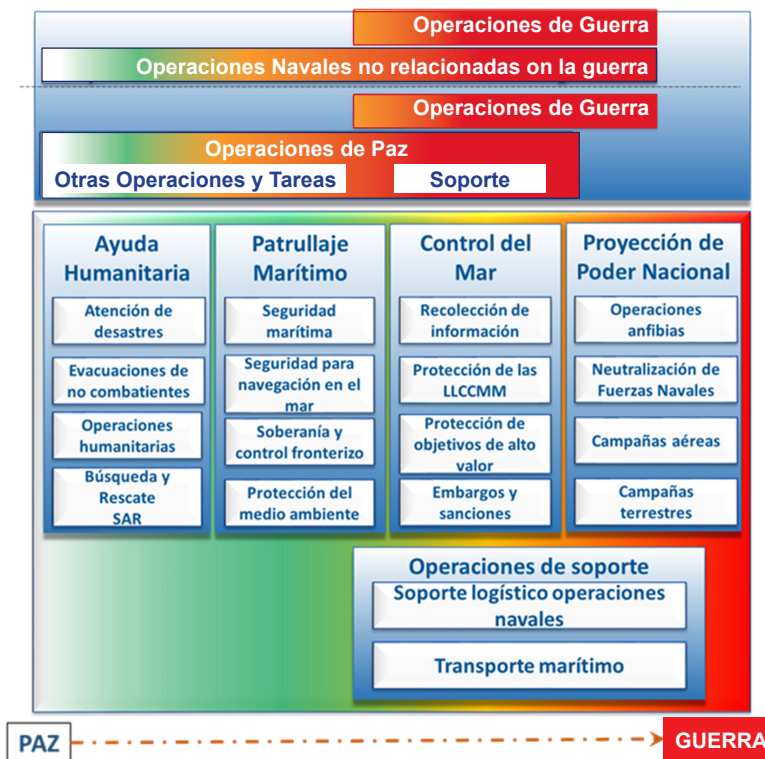


Figura 9. Operaciones de y tareas de la Armada Nacional *Fuente:* Elaboración propia programa PES, a partir de la Directiva 003/09 (Nato Naval Group 6, 2004)

Diseñar características modulares y adaptables en respuesta a las cambiantes e impredecibles necesidades de seguridad nacional, que puede permitir a las Armadas evitar las dos alternativas poco atractivas de corta vida útil o modernización extremadamente costosa. Sin embargo, hay un problema: debe existir un compromiso entre estas características de diseño, en las que se cumplan las necesidades con el uso más eficiente del presupuesto asignado (Doerry & Koeing, 2017):

1. Mayor esfuerzo de diseño inicial.
2. Reducción de la libertad de diseño (posiblemente retardando el progreso tecnológico).
3. Por lo general mayor desplazamiento.
4. Usualmente mayor espacio requerido.

De acuerdo con estas premisas se puede establecer que el verdadero inconveniente es el de establecer qué tipo de características de modularidad incorporar en el diseño de un buque de guerra, para permitir que siga siendo operacionalmente relevante durante la vida útil, teniendo en cuenta la premisa de las operaciones y tareas que desempeñará de acuerdo con el concepto operacional para el que fue diseñado.

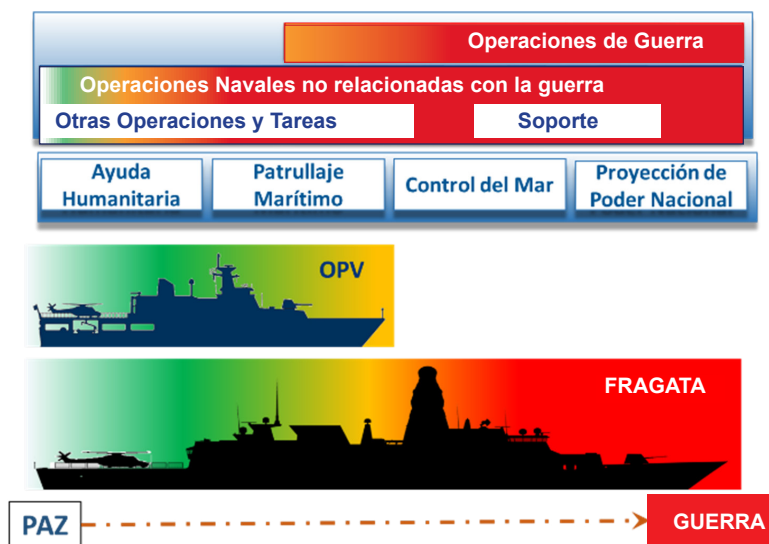


Figura 10. Operaciones Navales ARC y la proyección de Buque requerido
Fuente: Elaboración propia programa PES, a partir de la Directiva 003/09 (Nato Naval Group 6, 2004)

Por tanto la modularidad para una armada mediana con proyección regional como la Colombiana podría indicar unos puntos específicos de mayor aplicabilidad (Doerry & Koeing, 2017):

a) Prestaciones de vida útil; consiste en un método tradicional para instalar una capacidad distribuida en el sistema. Por lo cual, elementos como componentes eléctricos, cableado y accesorios, son fácilmente intercambiados, maximizando la vida útil en componentes básicos del buque.

b) Rutas de acceso planificadas; debe contemplar en el diseño rutas de acceso y tránsito suficientes y de dimensiones adecuadas con la finalidad de prever instalaciones posteriores a la construcción del buque.

c) Paquetes de misión; como se ha tratado a lo largo del texto este es el elemento preponderante en el diseño del (LCS) en el que se contemplan módulos principales o

paquetes de misión como son el de guerra antisubmarina, guerra de minas, guerra de superficie (principalmente en contra de blancos pequeños). Estos módulos se albergan en contenedores estándar siguiendo el principio de arquitectura abierta de fácil configuración.

d) Interfaces estándar; básicamente es un principio adelantado en el documento como prioritario para la fácil instalación y configuración de los módulos.

e) Módulos de armas; con la referencia de tener una capacidad altamente configurable para las misiones propuestas y las características específicas de la amenaza, como ejemplo el Vertical Launch System (VLS) instalado en las DDG 51.

f) Compatibilidad electromagnética (EMC); este es un desafío para el diseño de cualquier buque de guerra y más comprendiendo la cantidad de sistemas que interactúan durante la operación y explotación de los sistemas de comunicación y RF de abordó. Por tanto, debe ser considerado en las posibles actualizaciones de los sistemas durante la vida útil del buque y su fácil reemplazo, instalación, integración y mitigando las interferencias electromagnéticas (EMI).

g) Vehículos fuera de borda; en todo buque de guerra o defensa es necesario un bote que cumpla con las especificaciones necesarias para garantizar la seguridad propia o en caso determinado servir como despliegue de operaciones. Por tal motivo, al tener la posibilidad de reconfigurar los botes a través de la modularidad al más apropiado para la misión es una capacidad suficientemente considerable.

h) Infraestructura flexible; consistente en la reconfiguración rápida y económica de los buques, contemplando componentes básicos de fácil acceso y reemplazo, en los que se puede mencionar una estructura abierta, alimentación y potencia de fácil acceso y conexión, HVAC abierto, interconexión para transferencia de datos compatible, sistema de iluminación compatible y capacidad de equipamiento.

Conclusiones

La modularidad en la industria astillera es una tendencia creciente, que se ha implementado con éxito desde fases tempranas del diseño. A lo largo de esta investigación se ha podido puntualizar el concepto de modularidad, entendida de manera transversal a la flexibilidad; esto es posible al derivar a su vez de la adaptabilidad, tema para el cual es determinante establecer los requisitos de desempeño, las restricciones al diseño y los márgenes de crecimiento adecuados desde la fase inicial de cada proyecto buque.

Cada uno de los diferentes tipos de modularidad aporta atributos diferenciadores tanto en el diseño y construcción naval, como en el desempeño operacional de cada plataforma. Es así como el primer tipo, asociado al concepto de módulos constructivos en astillero, optimiza los tiempos y recursos en la construcción, puesto que permite

desarrollar diferentes módulos en paralelo para llegar a una integración final de la estructura completa del buque; el segundo tipo asociado al desempeño operacional a través del concepto de módulos de misión, que si bien debe ser interpretado y aplicado desde la misma fase de diseño, incorpora un factor adicional que habilita la posibilidad de una configuración dinámica de los buques, para poder suplir las necesidades de una Armada con diversos ámbitos de operación y sus consecuentes tareas asignadas. Sin embargo, que debe ser versátil, optimizando a su vez los limitados recursos con los que cuenta y determinando una rapidez en la reconfiguración que hace de este concepto un factor diferenciador en el desempeño operacional de los buques.

Estos dos conceptos son una tendencia altamente complementaria, debido a que con ellos, se optimiza el tiempo y recurso en la construcción, y a su vez se cuenta con unidades configurables que suplen los desafíos de defensa modernos. Ahora bien, es relevante concluir los parámetros y atributos comunes que hacen que la modularidad sea posible de implementar. Como es el caso del diseño, en el que debe contemplarse el flujo de los módulos constructivos o estrategia constructiva y sus tareas en paralelo y predecesoras para optimizar el tiempo de construcción y reducir los costos en esta fase. También, en la estandarización en los componentes que se usarán tanto en módulos constructivos como en módulos de misión, puesto que deben cumplir con los requisitos de conexión, conectividad, potencia, refrigeración necesaria para su implementación, bien sea en el momento de la integración como en los cambios de configuración y posteriormente en el mantenimiento durante el ciclo de vida de los buques. Nuevamente se aborda el tema de márgenes de crecimiento que deben ser declarados desde la fase conceptual y fases futuras, en los cuales se debe considerar el espacio disponible para la configuración, así como el que se deba contemplar para futuras adaptaciones en tres importantes aristas las que serían incorporación, modernización o el remplazo de sistemas, elementos o componentes nuevos o ya existentes sin afectar las características de los buques. Estos atributos en la industria se ha convertido en un lineamiento transversal para mejorar las condiciones y, de esta manera, potencializar la productividad, no siendo la excepción Cotecmar en un concepto de amplia aplicación, que bien ha demostrado su influencia en el entorno nacional y regional y que abre el camino para abordar los demás conceptos de modularidad.

Por último, en el específico concepto de la modularidad de misión que puede mejorar las capacidades de una Armada con proyección de crecimiento tecnológico como la Colombiana y que a su vez se enfrenta a desafíos propios y regionales que exigen el mantenimiento de capacidades estratégicas, las cuales son precisamente un punto de inflexión y que se viene considerando en el programa PES, igualmente debe ser tomada en cuenta esta posibilidad dentro de las iniciativas para la adquisición de las unidades de la armada nacional, propendiendo por el posicionamiento de las capacidades institucionales en un nivel tecnológico favorable dentro del entorno regional, a un costo completamente alcanzable y de esta forma garantizar la efectividad de la defensa soberana y el mandato constitucional.

Referencias

- Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (2004). *Modularity in the Design of Complex Engineering Systems*.
- Doerry, N., & Koeing, P. (2017). *Doerry Home Page*. Obtenido de <http://www.doerry.org/norbert/papers/20171010%20Doerry-Koenig%20Modularity%20distro%20A.pdf>.
- Hurtado de Barrera, J. (2000). *Metodología de Investigación Holística*. Caracas: SYPAL.
- Largiadier, C. A. (2001). *Modular Platform Based Surface Ship Design*. Cambridge MA : MIT Libraries Document services.
- Majchrzak, L. B. (2017). *Real Options Valuation in the desing of future surface combatants*. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL. Monterrey, california: Dudley Knox Library.
- NATO NAVAL GROUP 6. (2004). *NATO/PfP WORKING PAPER ON SMALL SHIP DESIGN*.
- Schank, J. F., Savitz, S., Munson, K., Perkinson, B., McGee, J., & Sollinger, J. M. (2016). *Desing Adaptable Ships*. Santa Monica, California : RAND Corporation.



Instrucción y entrenamiento de maniobras navales abordo del simulador de Puente Full Mission.



Imposición del distintivo a la excelencia física.

ANÁLISIS DE RELAJACIÓN IÓNICA Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA VITREO $x\text{AgI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}+\text{KI}$

Analysis of ionic and structural relaxation of the vitreo system $x\text{AgI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}+\text{KI}$

R. D. Maza¹A. Garcia²

Recibido: 06/11/2017

Aceptado: 02/08/2018

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de los procesos de relajación eléctrica en los sistemas ternarios $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ en variadas concentraciones, mostraron relajación estructural, característica de sistemas vítreos. Su estudio sistemático ha permitido establecer una metodología para estudios térmicos, la interpretación y determinación de las temperaturas de transición, dados los procesos de relajación entálpica presentes, los cuales según se observa son dependientes de la concentración del ion amonio (NH_4I). De aquí la importancia de considerar historia térmica de los sistemas. Es por esto que, se utilizó el formalismo de la conductividad, en el dominio de la frecuencia, y del módulo eléctrico, en el dominio del tiempo, para estudiar la dinámica del transporte iónico en estos materiales cuyas especies iónicas mayoritarias son cationes de plata. Los datos experimentales

conducen con los modelos teóricos propuestos. Los esfuerzos se dirigieron a efectuar mediciones de espectroscopia de impedancias a bajas temperaturas, para análisis de relajación iónica, en el rango de frecuencias de 40 Hz a 1 MHz. Se observó una dependencia potencial de la conductividad σ con la frecuencia, la cual se interpreta como una característica de los efectos de la interacción ión-ión durante el proceso de salto. El análisis de la dependencia en frecuencia del módulo eléctrico para los sistemas en diferentes concentraciones de Ag, muestran que la función de decaimiento en el tiempo para la relajación del campo eléctrico está bien descrita por una función exponencial “estirada” de la forma $\exp[-(t/\tau)^\beta]$. Para el $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ se observa que las correlaciones entre los iones dependen de la concentración de la fase dopante.

Palabras clave: relajacion estructural, fase dopante.

¹Docente Universidad de Cartagena - rubend81481@hotmail.com

² Universidad de Cartagena - Profesor, Director del Grupo de Investigación GICIS, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - alvaro_garcia137@yahoo.com

Abstract

Through this work we present a study of the electrical relaxation processes in the ternary systems $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ in varied concentrations, the systems showed structural relaxation, characteristic of vitreous systems, its systematic study has allowed to establish a methodology for thermal studies, in addition the interpretation and determination of the transition temperatures, given the processes of enthalpic relaxation present which according to is observed are dependent on the concentration of the ammonium ion (NH_4I) of here the importance to consider thermal history of the systems. The formalism of conductivity, in the frequency dominium, and of the electrical module, in the time domain, was used to study the dynamics of ionic transport in these materials whose main ionic species are silver cations. The experimental data

agree with the proposed theoretical models. Efforts were directed to perform impedance spectroscopy measurements at low temperatures, for ionic relaxation analysis, in the frequency range from 40 Hz to 1 MHz. A potential dependence of ac conductivity on frequency was observed, which is interpreted as a characteristic of the effects of ion-ion interaction during the hopping process. The analysis of the frequency dependence of the electrical module for systems at different concentrations of Ag shows that the decay function in time for relaxation of the electric field is well described by a "stretched" exponential function of the form $\exp[-(t/\tau)^\beta]$. For $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ it is observed that the correlations between ions depend on the concentration of the doping phase.

Keywords: structural relaxation, dopant phase.

Introducción

El yoduro de plata (AgI) ha sido el conductor iónico sólido más estudiado gracias a su alta conductividad iónica por encima de 420 K y continúa siendo actualmente el sistema cristalino patrón en la investigación del transporte iónico en estado sólido (Agrawal & Gupta, 1999), (Gupta, 2010), (Tomaev, Tveryanovich & Bal'makov, 2014).

El AgI en su fase- α con simetría cristalina cúbica ($T > 420$ K) es el prototipo de los denominados materiales superiónicos o conductor iónico rápido, con conductividades iónicas DC del orden de 0.1 Scm^{-1} , que es comparable a un buen electrolito líquido o sal fundida (Cochrane & Fletcher, 1971) (Vonnegut, Chessin & Passarelli, s.f) El interés tecnológico en electroquímica de estado sólido es disponer de materiales superiónicos cercanos a la temperatura ambiente, por lo que ingentes esfuerzos se hacen en el mundo para lograr estos niveles de conducción en fases sólidas con amplia ventana electroquímica y suficientemente estables tanto mecánica como térmicamente (Tomaev, Tveryanovich, & Bal'makov, 2012).

Por otro lado, muchos trabajos experimentales y estudios teóricos se han dedicado a dilucidar la dinámica de red de los haluros de amonio, debido a la gran variedad de posibles configuraciones de los iones tetraédricos en la red cristalina de los compuestos correspondientes. Estos cristales iónicos presentan numerosas transiciones de fases especialmente cuando son llevados a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente. Estas transiciones son fácilmente inhibidas al sustituir los iones, por iones más isotrópicos como el K^+ y el Ag^+ (García & Vargas, 1993).

Recientemente se presta mucha atención al sistema compuesto por los yoduros de amonio y potasio, pues, después de ser mezclados en solución acuosa y cristalizados, forman una solución sólida para todas las concentraciones (Mata, 2002).

El objetivo principal de este trabajo, es caracterizar térmica, eléctrica y estructuralmente, cristales de AgI dopados con yoduro de amonio NH_4I crecidos bajo el método de evaporación lenta, usando como solvente una solución de acetonitrilo y KI en relación molar $\text{Ag}:\text{K}$ 1:1, obteniéndose un sistema vítreo ternario $x\text{AgI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}+\text{KI}$ con diferentes concentraciones de NH_4I , donde el amonio es el responsable del carácter vítreo. Para la caracterización térmica de los parámetros termodinámicos se utilizó la técnica de calorimetría diferencial de barrido modulado (MDSC). Para el análisis de cambios de fase, se aplicó el método de relajación estructural o envejecimiento físico.

Para la caracterización de los parámetros eléctricos como función de la temperatura y la frecuencia del campo eléctrico aplicado se utilizó espectroscopia de impedancia (IS). En el estudio de relajación de la conductividad iónica, se aplicó el método de Kolrausch-William-Watts (KWW), y el modelo propuesto por K. L. Ngai (1993) en el dominio del tiempo, con una función de distribución del tipo KWW. Al usar la representación de la parte real de la conductividad, $\sigma'(\omega)$, donde ω es la frecuencia

angular del campo eléctrico aplicado, se observa un comportamiento asociado con la ley universal de potencia, ωn , a altas frecuencias (Jonscher, A.K., León, C.J., Santamaría, k., 1998), como consecuencia de las correlaciones de los portadores de carga (n es un exponente que varía entre 0 y 1 que indica el grado de correlación a medida que su valor disminuye).

Los resultados en las medidas de las propiedades térmicas, eléctricas y estructurales del sistema se interpretan con base al estado vítreo inducido por el desorden posicional del ión amonio.

Método

Experimental y preparación de las muestras

Para preparar el sistema ternario $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ libre de solvente por el método de disolución, se utilizaron los reactivos NH_4I , KI , y AgI con una pureza del 99.9% distribuido por la firma Alfa Products. Los compuestos se sintetizaron utilizando una solución de 40 ml de acetonitrilo y KI en la relación $\text{Ag}:\text{K}$ de 1:1, para aumentar la polaridad del solvente y poder así disolver el AgI , a la disolución se le agrega NH_4I , en diferentes porcentajes molares en peso de AgI respecto de NH_4I , posteriormente se agitan durante dos horas y luego se extrae el solvente en un desecador con sílica gel durante cuatro días, después de los cuales se encuentran cristallitos que se seleccionan manualmente, limpian y almacenan en el desecador. El $\text{AgI}+\text{KI}$ se preparó en un porcentaje de 70.68%.

Técnicas empleadas para la caracterización de los compuestos

Para el análisis de los diferentes sistemas cristalizados se usaron tres técnicas experimentales que permitieron caracterizar térmica y eléctricamente los cristales. Se estudia la relajación estructural desde un punto de vista calorimétrico la técnica de análisis térmico más importante para el estudio del envejecimiento físico es la calorimetría diferencial de barrido con modulación de temperatura (MTDSC). Y la caracterización eléctrica por medio de Espectroscopia de Impedancia Compleja.

Resultados y discusión

Mediante la técnica de análisis térmico de Calorimetría Diferencial de Barrido Modulado, MTDSC, y la aplicación del método de envejecimiento físico al compuesto ternario $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$, libre de solvente, para diferentes concentraciones de

amonio, NH_4 , se observa el fenómeno de envejecimiento Físico, en las transiciones asociadas a cambios estructurales de la fase β a la α del pentayoduro de plata y amonio ($\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$) y de la fase β a la α del pentayoduro de plata y potasio ($\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$).

La hipótesis de que se presente el fenómeno de relajación estructural o envejecimiento Físico, propio de sistemas vítreos y amorfos, en este sistema es la introducción de desorden orientacional del ión amonio (Mata, 2002).

Por otro lado mediante la técnica de análisis térmico de Espectroscopia de impedancias compleja y la aplicación del método de KWW se analizan los procesos de relajación en el dominio del tiempo, con el método de Jonscher se analizan los procesos de relajación iónica en la conducta dispersiva de la conductividad en función de la frecuencia, encontrando concordancia entre el comportamiento eléctrico y las observaciones térmicas.

Se tomó como base conductor iónico $\text{Ag}+\text{KI}$ en la relación molar $\text{Ag}:\text{K}$ 1:1 correspondiente a un porcentaje molar en peso de 70.68%. Las curvas de análisis térmico de MDSC realizadas a este compuesto binario mostraron tres temperaturas de transición estructural, la primera a 412 K correspondiente a la transición $\beta \rightarrow \alpha\text{-AgI}$ de la fase AgI no reaccionante, la segunda a $T=483$ K de la fase $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$, una tercera de la fase $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ a $T=508$ K y por último la fusión de la fase KAg_4I_5 a $T=784$ K.

Los resultados están de acuerdo con los obtenidos por Topol and Owens en 1968 y referenciados en la tabla 2.7 de la página 73 del libro de S. Chandra [16], donde se reporta un punto eutéctico a la misma temperatura de la transición estructural β a α del compuesto KAg_4I_5 a $T=512$ K ($T=239^\circ\text{C}$) para una concentración del 70% de AgI .

Las curvas de análisis térmico realizadas al compuesto ternario $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$, de flujo de calor reversible MTDSC de la figura 1, indican la presencia de las fases β y $\alpha\text{-AgI}$, β y $\alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$, β y $\alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ relacionadas con las endotermas a temperaturas $T=419$ K, $T=483$ K y $T=510$ K respectivamente para la relación 60%, los valores de estas transiciones dependen de la concentración molar relativa de amonio del sistema.

Este resultado se encontró consistente con los obtenidos por Vargas, a partir de la masa enfriada súbitamente (Srirama Balaya y Sunandana, 1994), (Vargas, 1997) sintetizados a partir de soluciones saturadas basadas en KI , donde se reporta para el sistema $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ la temperatura de transición a $T=507$ K.

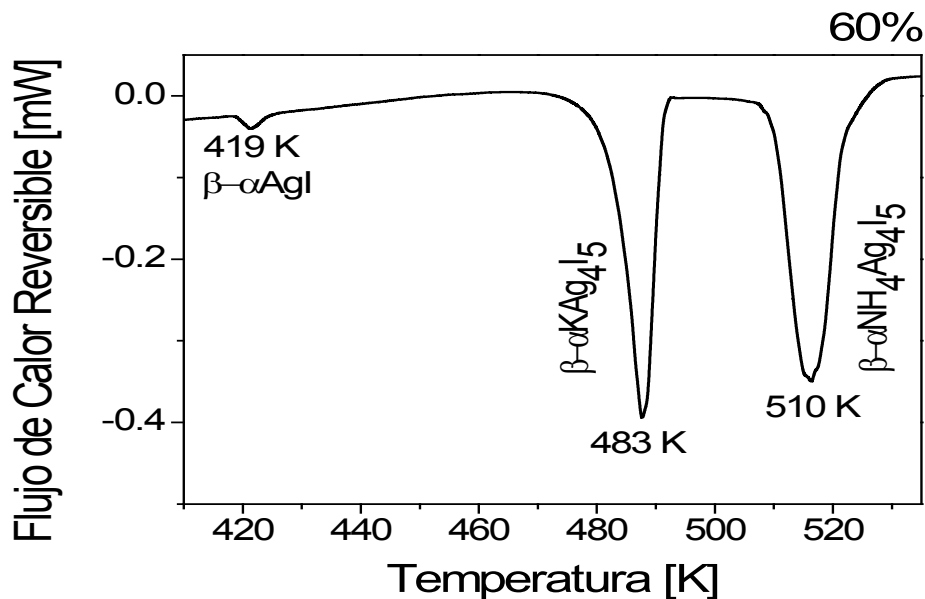


Figura 1. Curva de análisis térmico de flujo de calor reversible, donde se observan las transiciones del $\beta \rightarrow \alpha$ -AgI a temperatura $T=419$ K, $\beta \rightarrow \alpha$ -KAg₄I₅ a $T=483$ K y $\beta \rightarrow \alpha$ -NH₄Ag₄I₅ $T=510$ K con tiempo de templado $t_a = 2$ h para la concentración 60% de AgI.

Condiciones para el método de relajación estructural MTDSC

La figura 2 muestra en los gráficos de flujo de calor reversible contra temperatura. La primera curva, indicada con las letras HT, corresponde al primer barrido que borra la historia térmica de los compuestos. Los corrimientos en los picos de las transiciones estructurales (Pascheto, 1994), para compuestos con concentraciones de a) 60% y b) 65%, asociados a los cambios de fase $\beta \rightarrow \alpha$ -AgI, $\beta \rightarrow \alpha$ -KAg₄I₅ y $\beta \rightarrow \alpha$ -NH₄Ag₄I₅, dependen del tiempo de templado. Se aprecia como la entalpía de formación del proceso para la primera endoterma disminuye con el tiempo de templado posiblemente como consecuencia del la liberación de un yodo en la molécula de amonio donde la molécula

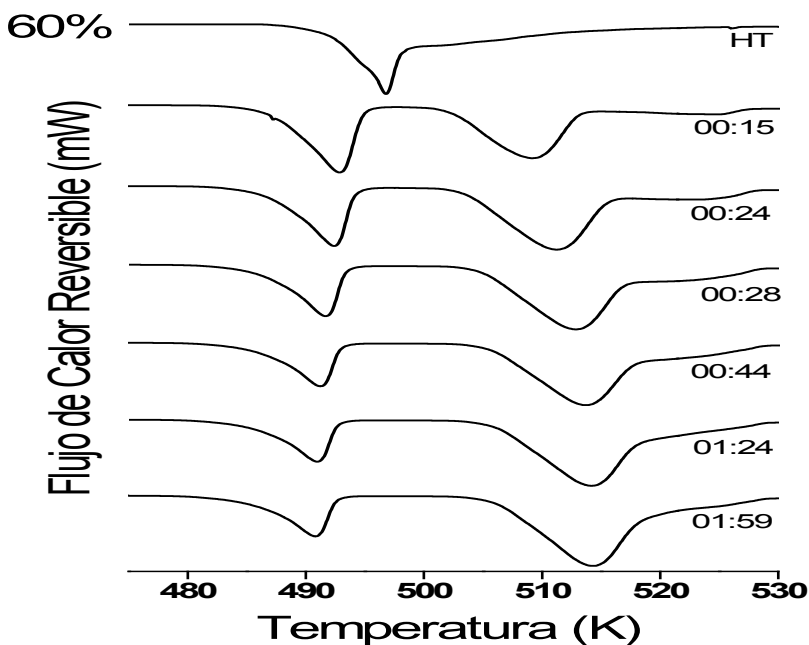


Figura 2. Curvas de análisis térmico de flujo de calor reversible contra temperatura para el sistema con 60% de AgI para diferentes tiempos de templado.

de amoníaco resultante puede salir del sistema reduciendo la fase $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$.

Para todas las muestras y cada concentración, x , se hicieron barridos con tiempos de templado, t_a , de 0, 10, 20, 30, 60, 120 min y un primer barrido para borrar la historia térmica de los sistemas.

Las componentes de flujo de calor reversible, realizadas en el rango de temperatura de $T=475\text{ K}$ a $T=530\text{ K}$ para las diferentes concentraciones molares de AgI: 50%, 60%, 65%, 70%, 80%, 90%, 95%, con temperatura de templado $t_a = 0\text{ h}$ a y $t_a = 2\text{ h}$. Se muestran en la figura 4.3 b, donde se observa para las relaciones con mayor concentración de amonio 50%, 60%, 65%, 70%, dos endotermas relacionadas con las transiciones de fase $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$ y $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ la fase asociada a AgI no se muestra en la figura por la relación de escala.

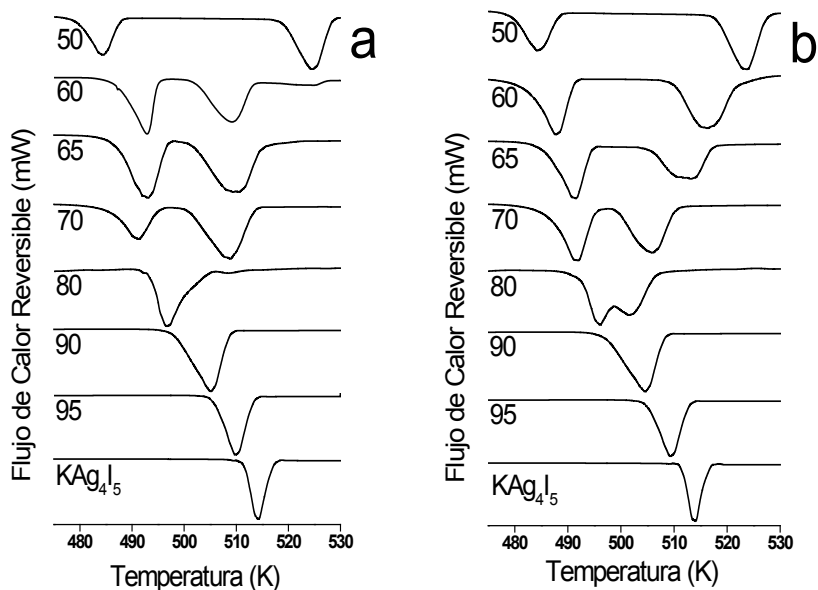


Figura 3. Curvas de análisis térmico de flujo de calor reversible MDSC con temperatura de templado $t_a = 0$ h a) y $t_a = 2$ h b) de arriba hacia abajo disminuye el contenido de NH_4I , las endotermias asociadas a las transiciones $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$ y $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ se presentan con mayor diferencia de temperatura a medida que aumenta el contenido de amonio y por último se presenta la curva del KAg_4I_5 .

A partir de la relación $x=0.75$ se empiezan a solapar las endotermas, mostrando el inicio de una región de coexistencia de fases (KAg_4I_5 y $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$), de forma gradual con la disminución de NH_4I . Este efecto de solapamiento se acentúa en las relaciones 90%, 95% mostrando una ancha endoterma y corrimiento de los picos de las transiciones hacia mayores temperaturas, y por último se presenta una curva con la endoterma del cambio de fase $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$. Las fases presentes en los sistemas preparados muestran procesos de relajación estructural que se manifiesta con un corrimiento de las transiciones, (figura 3) asociadas a los cambios de fase estructurales $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$ y $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$, para los diferentes tiempos de templado, obedeciendo a estados de no equilibrio termodinámico, con entalpía residual característico de sistemas vítreos, inducido por el enfriamiento rápido de $20^\circ\text{C}/\text{min}$, con consecuente liberación espontánea de energía entálpica residual a una temperatura de templado $T_a=308$ K.

La fase $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ induce el fenómeno de relajación estructural, debido al desorden orientacional de los iones NH_4I , con tendencias dependientes de su

concentración, a mayor contenido de amonio mayor amplitud en la relajación, como un indicativo del aumento de la fase vítrea.

Este trabajo permite establecer un método de especial interés en el estudio del envejecimiento físico de materiales amorfos o parcialmente amorfos, los cuales al ser almacenados, evolucionan espontáneamente hacia un estado de equilibrio, experimentando lo que se conoce como relajación entálpica. En este caso inducido por el NH_4I , se provocan cambios reversibles (mediante tratamiento térmico) en distintas propiedades del sistema vítreo $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ y en su estructura. Su efecto puede ser complejo y con un impacto claro en el diseño, procesado y posterior comportamiento en servicio del material.

Las propiedades térmicas también se ven afectadas por la relajación estructural, además para la correcta interpretación de las medidas térmicas que se realicen debe tenerse en cuenta dos aspectos relevantes; primero borrar la historia térmica del sistema con un primer barrido y segundo la no linealidad de la relajación estructural (Hanaya, 1994). Por tanto se reporta el diagrama de fases de la figura 4 con base en la componente de flujo reversible de MDSC con tiempo de templado $t_a = 2$ h, tiempo para el cual los sistemas en estudio alcanzan su estado de equilibrio térmico.

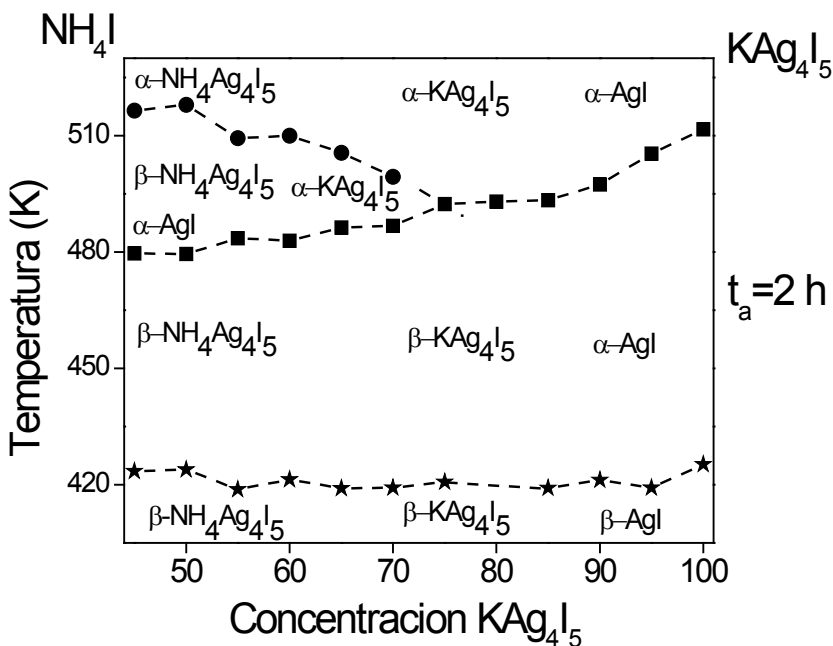


Figura 4. Diagrama de fase $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ para las relaciones de $\text{Ag}:\text{NH}_4$.

Es importante anotar que la transición reportada por V. Srirama Swaminathan 1994, corresponde a un primer barrido, o lo que es igual, sin borrar previamente la historia térmica del material, (ver figuras 4.2 a, b). Adicionalmente solo reporta relajación para dos temperaturas de templado y no realiza un tratamiento sistemático como se presenta en este trabajo. Lo que no le permite reconocer la presencia de las dos fases $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ y KAg_4I_5 y considera, erróneamente, que en la solución saturada de KI el potasio es inerte a la reacción (Bradley, 1967) .

Análisis de impedancia

En las curvas de análisis térmico del sistema $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$, con concentración de 45% de Ag de la figura 5, muestra transiciones anchas, características de una muestra policristalina, donde se alcanza a apreciar diferentes picos, asociadas a la transición de fase estructural $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ a $T=220\text{ K}$. La técnica de crecimiento de cristales por evaporación de metanol, empleada aquí, no permite crecer mono cristales lo suficientemente grandes para realizar medidas de impedancia en una muestra mono cristalina, por cuanto se deben hacer pastillas prensando las muestras a presiones de 103 Kg/cm^2 (presiones que no inducen cambios en el sistema).

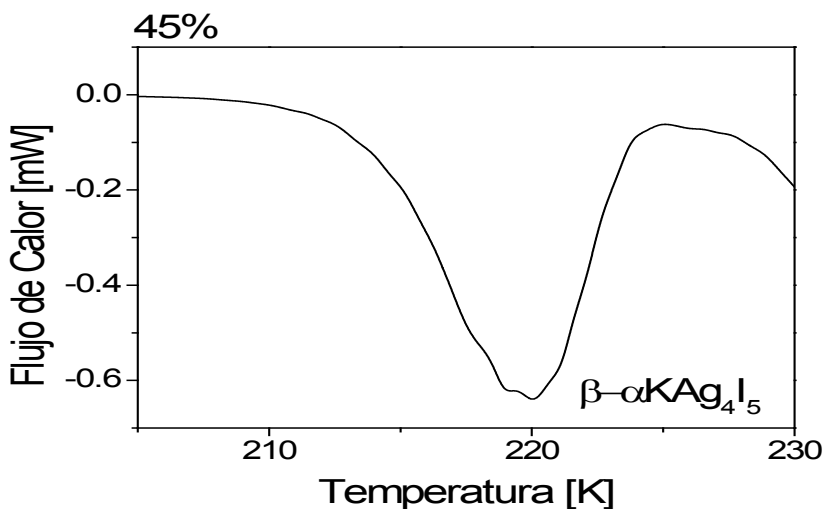


Figura 5. Curvas de análisis térmico del sistema $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ para la concentración de 45% de Ag donde se observa la transición de fase estructural de una muestra policristalina asociada $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$.

Se realizaron medidas de impedancia compleja por arriba de la temperatura ambiente en el laboratorio Física de Materiales la universidad del Atlántico y por debajo de la temperatura ambiente en el laboratorio de materiales Magnéticos y Nanoestructurados de la Universidad del Quindío.

Las muestras fueron preparadas en pastillas y colocadas en electrodos de oro a una diferencia de potencial de 100 mV en un rango de frecuencia de 40 Hz a 1 MHz. La conductividad iónica DC, se calculó del valor de la resistencia del volumen del electrolito, R , encontrada en el diagrama de impedancia compleja, relacionada con conductividad de acuerdo a la ecuación $\sigma = d/RA$. Donde d es el espesor, aproximadamente 0.10 cm, A el área superficial del electrolito, 0.65 cm². (Melander; Powles, 1993), se obtiene del corte con el eje real del semicírculo, Gráfico de Nyquist, cuando el voltaje aplicado y la corriente respuesta están en fase.

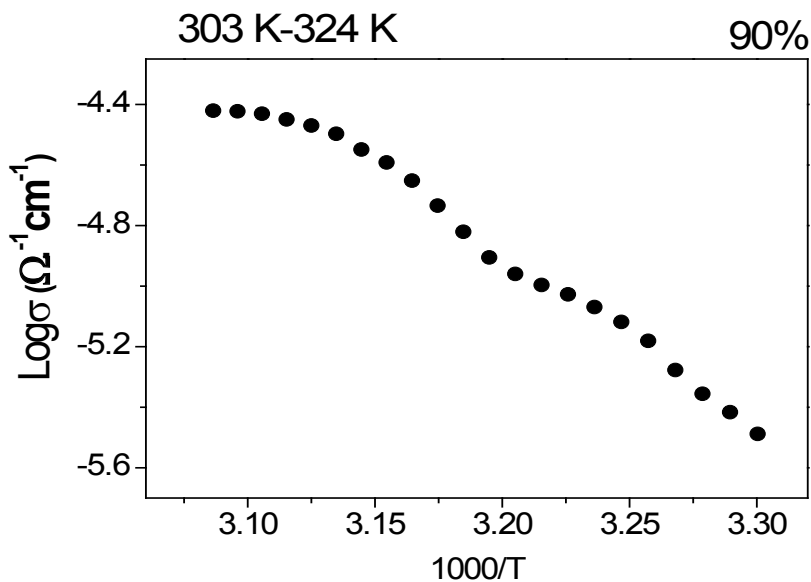


Figura 6. Logaritmo de la conductividad dc vs $1000/T$ para el sistema con relación 90%, se observa un comportamiento de la conductividad tipo VTF característico de sistemas vítreos.

La representación del logaritmo de la conductividad vs $103/T$ para el sistema $x = 90\%$ en el rango de temperatura de $T=303\text{ K}$ a $T=324\text{ K}$, donde se observa dos regímenes de comportamiento de la conductividad tipo VTF, a pesar del bajo contenido de amonio, el compuesto muestra características de un sistema vítreo.

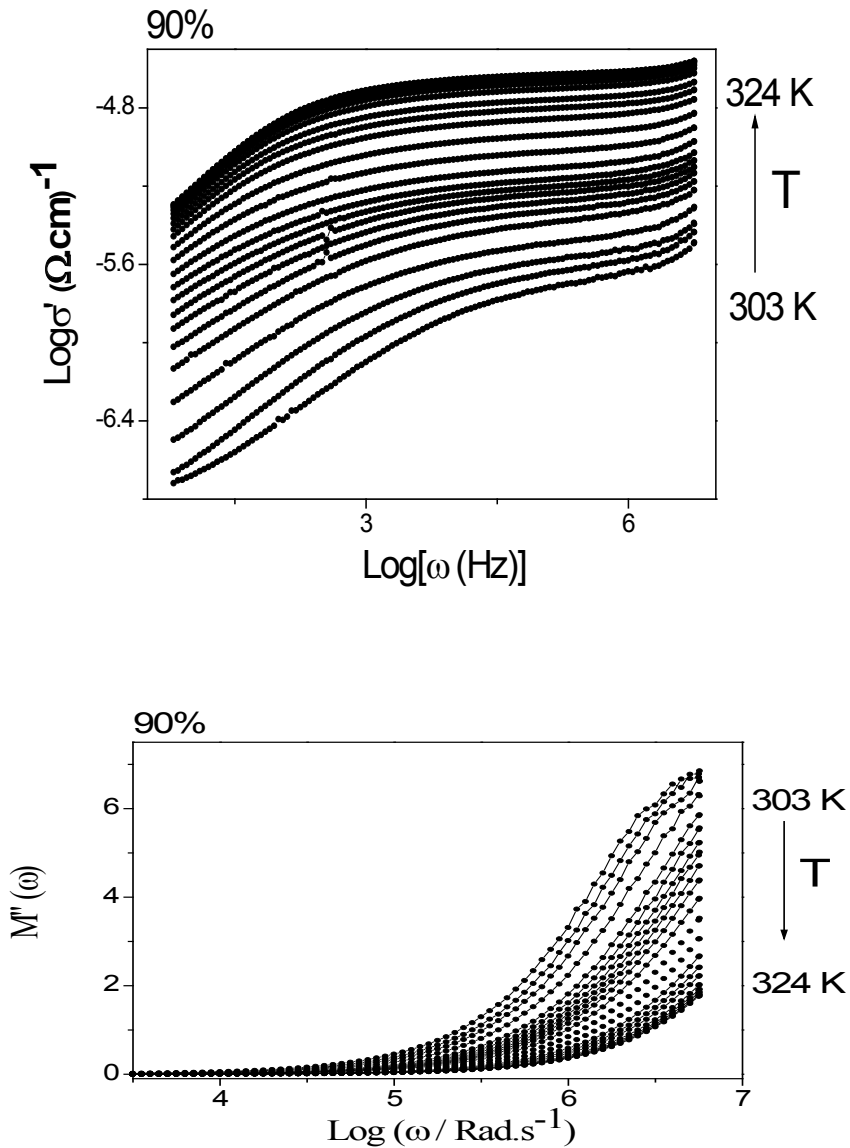


Figura 7. a, b, c. Diagramas de Nyquist de Logaritmo de la conductividad (a), componente imaginaria del modulo eléctrico (b) y la permitividad (c) en la región de temperatura de 303 K – 324 K.

La figura 7 muestran diagramas de Nyquist isotermas del Logaritmo de la conductividad (a), componente imaginaria del módulo eléctrico (b) y la permitividad (c) en la región de temperatura de $T=303\text{ K} - T=324\text{ K}$. En la curva logaritmo de la componente real de la conductividad y la componente imaginaria del módulo contra frecuencia, para $T=303\text{ K}$ se aprecia como el sistema apenas entra en una región dispersiva, para frecuencias del orden de 10^6 Hz , lo cual es insuficiente para análisis de relajación. Por tanto, se necesitan frecuencias mayores (fuera de nuestra ventana experimental) o temperaturas más bajas. A bajas frecuencias, en las curvas logaritmo de la componente real de la conductividad y la componente imaginaria de la permitividad, se observa un fuerte efecto de bloqueo de iones y tamaño de grano en la Interfase electrodo electrolito debido a la alta conductividad del sistema.

Se realizaron medidas con la técnica espectroscopia de impedancias compleja a los compuestos vítreos $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$, por debajo de la temperatura ambiente, para el análisis de sus propiedades eléctricas. Los sistemas mostraron comportamiento tipo Arrhenius para el $\text{Log}0$ contra $103/T$ (figura 8) con energías de activación $E_0 = 0.599\text{ eV}$ (55%) y $E_0 = 0.753\text{ eV}$ (80%) para temperaturas entre $T=120\text{ K}$ a $T=200\text{ K}$. Las líneas punteadas corresponden a la aproximación lineal con desviación cuadrática de 0.9982, 0.99952 para los sistemas 55% y 80% respectivamente. La limitación del análisis en este rango de temperaturas obedece: para temperaturas cercanas a $T=200\text{ K}$, a la limitante de la transición de fase orden desorden del $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$, que para el compuesto mono cristalino se encuentra a la temperatura $T_c=198.7\text{ K}$ y para temperaturas menores a $T=120\text{ K}$ no hay respuesta instrumental debido rango de frecuencia. El no tener en cuenta esta limitación conduce, equivocadamente, a un aparente comportamiento VTF como se observa en la figura 8 insertada con un rango de temperatura de $T=130\text{ K}$ a $T=300\text{ K}$.

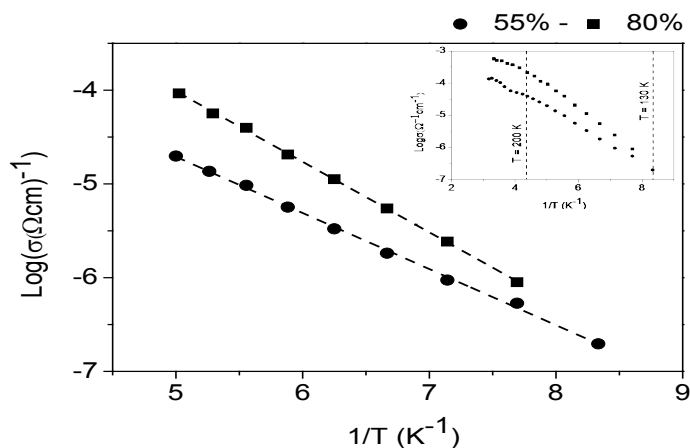


Figura 8. Comportamiento de Arrhenius de la conductividad para los sistemas con 55% y 80 % de AgI en el rango de temperatura de $T=120\text{ K}$ a $T=200\text{ K}$, las líneas punteadas corresponden a las aproximaciones.

Los compuestos con baja concentración de AgI (45% y 55% de AgI) presentan los valores más bajos de conductividad (figura 8), puesto que al catión le resulta más difícil, energéticamente, moverse a través de la estructura cristalina del NH_4I , que para estas concentraciones vendría a ser la matriz. Pues la cantidad de defectos Frenkel es muy inferior a la del AgI, ya que tanto el anión como el catión NH_4^+ permanecen prácticamente inmóviles en la estructura. Pero cuando la concentración Ag^+ es alta (concentraciones mayores del 70%) la presencia del NH_4 , en la matriz de AgI, incrementa el número de defectos en la estructura, debido al desorden orientacional del amonio, permitiendo al Ag^+ no solo moverse por posiciones intersticiales de la subred aniónica sino también a través de las fronteras de grano.

Considerando una función, $\Phi(t)$, del campo eléctrico dentro del material a un vector de desplazamiento constante. Relacionada con la dependencia de la frecuencia del módulo eléctrico por la transformada de Fourier de la siguiente expresión.

$$M^*(\omega) = \frac{1}{\varepsilon^*(\omega)} = \frac{1}{\varepsilon_\infty} \left[1 - \int_0^\infty \left(-\frac{d\Phi}{dt} \right) \exp^{-j\omega t} dt \right] \quad (1)$$

Utilizando la expresión tipo Kohlrausch-Williams-Watts [27] KWW. $\Phi(t) = \exp\left(-(t/\tau)^\beta\right)$ Donde las líneas sólidas de la figura 9 corresponden a ajustes de los datos experimentales (puntos) de las isoterma en el rango de $T=200\text{ K}$ a $T=140\text{ K}$ para la concentración de $x = 0.55$. Esta concentración muestra máximos asimétricos, en cuyos picos se encuentra la frecuencia de corte, ω_p , señalados en las figuras 9 con círculos llenos. A partir de los cuales se observa un aumento sistemático de la pendiente del ramal de alta frecuencia, cuando la temperatura disminuye de acuerdo con la ecuación 1.

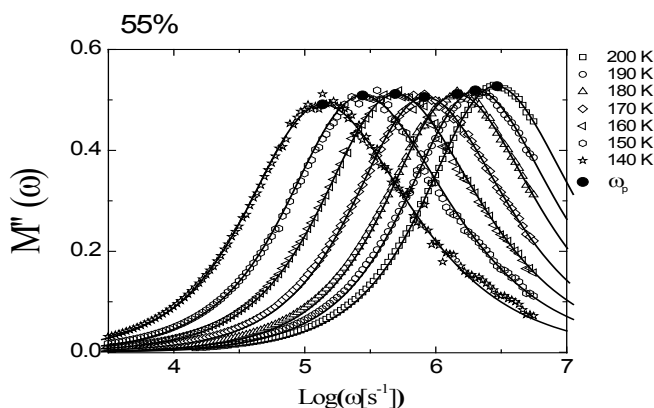


Figura 9. Parte imaginaria del módulo eléctrico del compuesto con 55% en función de la frecuencia para temperaturas entre $T=140\text{ K}$ y $T=200\text{ K}$. Las líneas sólidas representan ajustes de acuerdo a una función de correlación tipo KWW

El comportamiento del exponente β , para los sistemas con diferente concentración de iones de Ag es semejante, se comporta linealmente en la región (señalada con líneas punteadas en la figura 10) comprendida entre $T=130$ K, donde para temperaturas menores no se tiene respuesta, y 190 K cuando los sistemas se aproxima a la transición estructural de $T=198$ K. En la figura 10 se observa que cuando la temperatura tiende al valor de $T=190$ K, el valor la función de $\beta(T)$ tiende uno. La función $\beta(T)$ siendo el exponente de la función de relajación, de acuerdo con el modelo de K. Ngai, da cuenta del frenado del campo eléctrico en el proceso de movimiento correlacionado de los iones, cuando $\beta(T)\beta_1$, las correlaciones entre los iones se hacen muy débiles y el campo eléctrico decae rápidamente. El hecho que el parámetro de correlación varíe linealmente con la temperatura indica que el frenado del tiempo de relajación dependa más de la energía microscópica ($E_m = \beta E_\sigma$) que de la conductividad de largo alcance. El exponente n se obtiene del parámetro β del análisis del dominio del tiempo, mediante la expresión $n+\beta=1$ (Yebra, 1997).

$$\begin{aligned} E_m &= \beta E_\sigma \\ E_\sigma &= E_m + n E_\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

La energía microscópica (E_m) es aproximadamente la energía asociada a la barrera de potencial que el ion debe superar en cada salto. De este modo, la energía asociada a los efectos cooperativos es nE_σ . Cuando $n = 0$ indica ausencia de interacción entre los iones y la energía del proceso de relajación sería $E_\sigma = E_m$. Consecuentemente si se estabiliza (toma un valor constante) o se hace cero indica que los efectos de corto alcance se estabilizan o desaparecen, así la conductividad de largo alcance es relevante en el proceso de conducción.

Esta observación encaja con las características del parámetro de correlación en la transición estructural reportada en torno a $T=200$ K (ver figura 10), donde la explicación heurística de universalidad es la siguiente: en la región crítica, la longitud de correlación es muy grande, aproximándose a infinito. Donde sólo el comportamiento de gran escala es relevante.

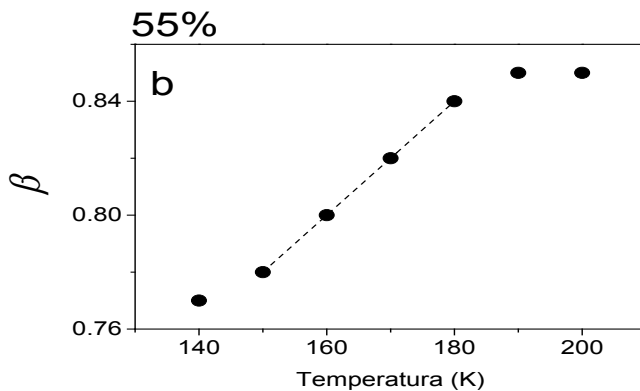


Figura 10. Parámetro de correlación β en función de la temperatura para los sistemas vítreos con $x = 55\%$ (a) y 80% (b), los cuales describen la relajación iónica exponencial estirada o no Debye, las líneas que unen los puntos son un ayuda visual indicando un comportamiento lineal en la región.

En la representación del componente real de la conductividad contra logaritmo de la frecuencia, para $x = 0.55$ con alta concentración de amonio (figura 11). Las líneas continuas son las aproximaciones al modelo de Jonscher (Yebera, 1997), con una excelente correspondencia excepto para bajas frecuencias donde la conductividad se reduce fuertemente y se sale de la tendencia de la aproximación. Este comportamiento es más notorio a bajas frecuencias para las temperaturas más altas ($T=180$ K, $T=190$ K y $T=200$ K) y se debe al bloqueo de los iones en las fronteras de grano e interface electrodo electrolito.

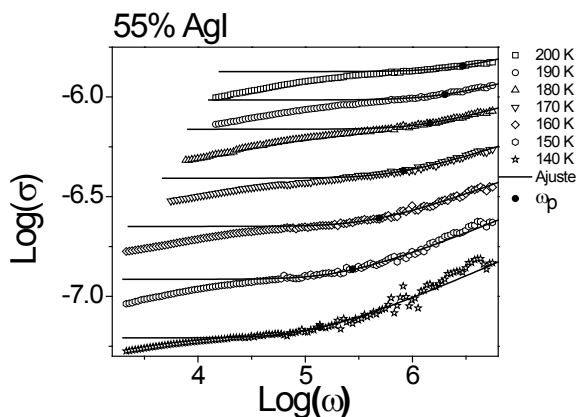


Figura 11. Partereal de la conductividad del sistema vítreo 0.55AgI+KI+0.45NH4I en función de la frecuencia para distintas temperaturas (desde arriba hacia abajo $T=200$ K, 190 K, 180 K, 170 K, 160 K, 150 K, 140 K y la línea sólida corresponde al ajuste del modelo). La disminución de la conductividad a baja frecuencia se debe al bloqueo de los iones en las fronteras de grano y electrodos.

En los sistemas se observan dos regímenes, con distinto comportamiento de la conductividad contra la frecuencia, separados por la frecuencia de corte, ω_p , señalados con círculos llenos. El primer régimen, a frecuencias menores que ω_p , para la cual la conductividad cambia muy poco con la frecuencia ($\sigma \propto \omega^p$), con p un exponente de valor cercano a cero $0 < p < 0.1$ correspondiente a la conductividad dc, y la segunda, para frecuencias mayores a ω_p , correspondiente a la conductividad ac donde la conductividad como se espera, es una función potencial de la frecuencia ($\sigma \propto \omega^n$), con n un exponente fraccional entre 0 y 1, que da cuenta de la dispersión de la conductividad ocasionada por la interacción entre los iones durante el proceso de salto, cuando $n \rightarrow 0$ la interacción decrece y el sistema tiene un comportamiento de Debye. Las líneas sólidas corresponden a ajustes de los datos experimentales de la componente real de la conductividad eléctrica $\text{Log}\sigma'(\omega)$ utilizando la expresión tipo KWW, donde n se calculó a partir de los valores de β del análisis en el dominio del tiempo. Los iones móviles en el rango de temperatura de nuestro estudio ($T=130\text{ K}$ a $T=200\text{ K}$) son los iones de potasio, puesto que la plata se mueve en la red únicamente a partir de $T=230\text{ K}$.

Conclusiones

Las fases presentes en los sistemas $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$ muestran procesos de relajación estructural, asociadas a los cambios de fase estructurales $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$ y $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$, para los diferentes tiempos de templado obedeciendo a estados de no equilibrio termodinámico, con entalpia residual característico de sistemas vítreos. En este caso inducido por el NH_4I , provocando cambios reversibles (mediante tratamiento térmico) en distintas propiedades del sistema y en su estructura.

De este modo, es posible mostrar que la transición reportada por V. Srirama Swami-nathan 1994, corresponde a un primer barrido, o lo que es igual, sin borrar previamente la historia térmica del material. Se muestra la presencia de las fases $\beta \rightarrow \alpha\text{-NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$ y $\beta \rightarrow \alpha\text{-KAg}_4\text{I}_5$ y se aclara, que en la solución saturada de KI el potasio no es inerte a la reacción.

También, se reporta que las transiciones de fase se desplazan, dependiendo del tiempo de templado, debido a la relajación estructural. Por tanto reportamos el diagrama de fases con base a la componente de flujo reversible de MDSC con tiempo de templado $t_a = 2\text{ h}$, tiempo para el cual los sistemas de este estudio alcanzan su estado de equilibrio térmico.

Asimismo, fue posible obtener sistemas vítreos, $x\text{AgI}+\text{KI}-(1-x)\text{NH}_4\text{I}$, con alta conductividad iónica a temperatura ambiente del orden de $10^{-3}\text{ }(\Omega\text{cm})^{-1}$ con comportamiento VTF y estables hasta $T=333\text{ K}$.

Se modelaron los datos experimentales en la representación del módulo eléctrico con el modelo de K. L. Ngai, con una función de distribución exponencial estirada

KWW, con la cual, para diferentes temperaturas se determinó el exponente β , que alcanza su valor máximo a $T=200$ K. Indicando para esta temperatura una débil correlación entre los iones móviles y su entorno, lo que explica los altos valores de conductividad del sistema a partir de esta temperatura.

Referencias

- Agrawal, R. C., R. K. Gupta. Journal of materials science 34 (1999) 1131-1162.
- Bradley, J.N. and P.D. Greene, Trans. Faraday Soc., 63 (1967) 424.
- Cochrane G., N. H. Fletcher. *J. Phys. Chem. Solids*, 32 (1971) 2557-2567.
- García, A. R. A. Vargas y M. A. Vargas. Rev. Col. Fis., 29 (1997) 279-282.
- Gupta, N. Solid State Ionics. 180 (2010) 1607–1612.
- Hanaya M., Nakayama M., Oguni M., Relaxations in Complex Systems Remarkable non-exponentiality of the enthalpy re-laxation in fast ion conducting glass (AgI)_{0.5}(AgPO₃)_{0.5} far from equilibrium, Journal of Non-Crystalline Solids, 172-74 (1994) 608-614.
- Handra, S. *Superionic Solids: Principles and Applications*. North Holland, Amsterdam (1981).
- Jonscher, A.K., Leon.C., Santamaria, K. *Dinamik Transport in ionic conductors*. Journal of materials science london. (1998)
- Kohlrausch F., Pogg. Ann. Phys., (1863) 119- 352.
- León, C. Yebra. Relajación de la Conductividad Eléctrica en Conductores Iónicos Cristalinos. Universidad Complutense de Madrid, Tesis Doctoral, Madrid (1997).
- Mata Ramírez Jorge Octavio. Caracterización de las Transiciones de Fase de las Cerámicas Ferroeléctricas del tipo Li (MM') (A,A'O₄)_{1-X}, on M = Na⁺, K⁺, NH₄⁺; A = S, , zzzUni-versidad de Barcelona, Tesis Doctoral, (2002).
- Mata, J. O. Universidad de Barcelona, Tesis Doctoral, (2002)
- Melander, B. E., I. Albiisson. Solid State ionics: New Devel-opments, 83-95.
- Ngai, K. L. Phys. Rev. B, 48, (1993) 13481.
- Pascheto, W., M.G. Parthun, A. Hallbrucker 1, G.P. Johari, Calorimetric studies of structural

- relaxation in AgI-AgPO 3 glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids* 171 (1994) 182-190.
- Powles, J. G.. *Journal of molecular liquids*, 56 (1993) 35-47.
- Srirama Swaminathan V., P. Balaya and C.S. Sunandana. Rap-id synthesis and characterization of NH_4AgI_5 . *Solid State Ionics*, North-Holland, 70/71 (1994) 163-166.
- Tomaev, V. V. Yu. S. Tveryanovich, and M. D. Bal'makov, *Glass Physics and Chemistry*, 2012, Vol. 38, No. 1, pp. 155–161.
- Tomaev. V. V. Yu. S. Tveryanovich, and M. D. Bal'makov, *Nanotechnologies in Russia* January, 9 (2014) 60-64.
- Valov Ilia et al, *Nature Materials*, 11 (2012) 530–535.
- Vargas, R.A., M.B. Salamon and C.P. Flynn, *Phys. Rev. B* 17 (1977) 269.
- Vonnegut, B. H. Chessin y R. E. Passarelli Jr., *United States Patent*, No. 3.877.642



Campus universitario de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Isla de Manzanillo, Cartagena, D.T y C, Colombia.

ESTUDIO DE EVACUACIÓN EN BUQUES CON INFANTERÍA DE MARINA

Study of evacuation in vessels with marine infantry

José María Riola Rodríguez ¹
Heitor Martínez Grueira²

Recibido:07/05/2018

Aceptado: 13/08/2018

Resumen

A la hora de velar por el análisis y modelado de un proceso real que afecte a un contingente determinado, inicialmente resultará imprescindible comprender el fenómeno en sí, para posteriormente identificar qué variables intervienen realmente y por último, acometer su parametrización y modelado. En este artículo se presenta la metodología basada en el diseño estadístico de experimentos (DEE), con la que se ha llevado a cabo un estudio de evacuación para una dotación embarcada en el buque de estudio designado, al objeto de lograr identificar pormenorizadamente qué variables influyen en el proceso y cómo podría modelarse el movimiento de esta dotación, en función de dichas variables.

Palabras clave: evacuación, buques, infantería marina, metodología DEE, Organización Marítima Internacional.

Abstract

When it comes to ensuring the analysis and modeling of a real process affecting a given contingent, it will initially be essential to understanding the phenomenon itself, to subsequently identify which variables actually intervene and, finally, to undertake its parameterization and modeling. This article presents the methodology based on the DEE, methodology with which an evacuation study has been carried out for a crew on board the designated research vessel, in order to identify in detail which variables influence the process and how the movement of this crew could be modeled, based on these variables.

Keywords: evacuation, vessels, Marine Infantry, DEE methodology, International Maritime Organization.

¹Ph.D Arquitecto Naval, Universidad Politécnica Madrid - josemaria.riola@upm.es

² Ingeniero Informático, Armada España.

Introducción

El 27 de abril de 2017, el buque de guerra ruso de reconocimiento “Liman” de la flota del Mar Negro, que posiblemente podría estar siguiendo el ejercicio Sea Shield de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte), colisionó en medio de la niebla, a unas 25 millas al noroeste del estrecho turco del Bósforo, con el barco de carga de ganado y bandera de Togo “Youzarsif H”, lo que provocó una importante vía de agua al buque ruso. Oficialmente no hubo informes de bajas, aunque en algunos periódicos (Seanews International Shipping Magazine, s.f.) se menciona la cantidad de 15, finalmente el buque se hundió en poco más de dos horas, resaltando la actualidad del tema de la crítica evacuación de los 78 miembros de la dotación rusa.



*Figura 1. Buque ruso “Liman”.
Fuente: Independent.*

Sin duda, la propia función de los buques de guerra, los expone a riesgos mayores y a unas más estrictas normativas de construcción que los buques mercantes cuya seguridad se basa en el cumplimiento de las distintas regulaciones de la IMO (International Maritime Organization), fundamentalmente los convenios internacionales SOLAS (SOLAS, 2009) y MARPOL (2011). Un ejemplo de ello son las mayores restricciones de reserva de estabilidad que necesitan cumplir los buques de guerra, al utilizar la normativa militar americana (DDS-079, 1975), más que sus equivalentes mercantes bajo el SOLAS.

Por todo ello y aunque los buques de guerra están exentos de los cumplimiento de las normas IMO; los países miembros de la OTAN y las principales Sociedades

de Clasificación, a través de la Naval Ship Classification Association, crearon unos grupos de trabajo para elaborar los distintos capítulos del NSC. ANEP-77, que ha pasado a denominarse ANEP-77 (Allied Naval Engineering Publication. OTAN), en la terminología aliada. Como novedad, se incluye en su capítulo VII “Escape, Evacuación y Rescate”, donde se recogen los criterios de diseño a cumplir para un proceso seguro de abandono del buque de guerra. Precisamente, este capítulo fue el primero del nuevo código en publicarse como llamada de atención hacia esta temática.

Desde un punto de vista tecnológico, resulta muy atractivo el estudio de parametrización y configuración de un sistema, que disponga de las características propias de una dotación de la Armada, a partir del que desarrollar un modelo matemático validado que permita diseñar, optimizar y simular, una situación de emergencia previamente definida. Para lograr la correcta parametrización de las características o factores implicados, así como para garantizar el desarrollo de un estudio lo suficientemente representativo, se justifica la necesidad de recurrir al diseño de una gama de ensayos, que permitan inferir el suficiente conocimiento como para concluir, validar y resolver la problemática planteada.

La problemática fue acometida inicialmente en un proyecto de investigación dirigido por el GIMOE (Gabinete de Investigación Militar Operativa y Estadística), dadas sus capacidades y su labor investigadora. Este proyecto se inició con el diseño de una gama de ensayos diversos y el posterior análisis de los datos recopilados, al objeto de disponer de un repositorio de datos con el que tratar la configuración de la herramienta de simulación maritime EXODUS (Universidad de Greenwich (R.U.), Facultad de Arquitectura, computación y humanidades) incluida en la normativa MSC_Circ_1238 y recomendada por la ANEPP-77, la cual validaría un modelo de evacuación desarrollado para una dotación que procediese a abandonar un buque en servicio o en proyecto de construcción.

Tras el desarrollo del modelo de evacuación, se concluyó un patrón y unas directrices procedimentales que determinan unas rutas óptimas de evacuación del buque de estudio, de acuerdo con una gama de averías perfectamente definidas y de su correspondiente probabilidad de ocurrencia. Así mismo, el empleo de una herramienta de simulación, posibilitaba la identificación de los posibles cuellos de botella que podrían ocasionarse ante la afluencia masiva de miembros de la dotación, en determinadas ubicaciones del buque y al mismo tiempo, validar o invalidar un modelo definido.

Planteamiento

Todos los ensayos, análisis y procesos disertados, fueron diseñados y dirigidos en su momento, únicamente a dotaciones propias de un buque, por cuanto y en cumplimiento del capítulo VII de la ANEP-77, tendría que desarrollarse un nuevo estudio equivalente, dirigido al diseño de un procedimiento de evacuación para dotaciones embarcadas en un buque militar. Independientemente de la naturaleza, funcionalidad

o características específicas de las dotaciones embarcadas, este artículo se centra en el estudio de contingentes de Infantería de Marina, embarcados en buque anfibios y que por su volumen pasan a constituir la dotación más numerosa y debido a ello, más relevante.

A pesar de que estos contingentes están constituidos por personal militar debidamente adiestrado, las dotaciones embarcadas no disponen del mismo nivel de preparación, conocimiento del entorno, experiencia o capacidad de respuesta, que el que dispensa una dotación propia, a la hora de afrontar una avería de cierta entidad. Aunque esta misma dotación embarcada adolezca de las mencionadas aptitudes, tampoco debe cometerse el error de considerar a los contingentes embarcados, como si de una dotación de pasaje en un buque civil se tratase, puesto que disponen de un adiestramiento básico y del conocimiento suficiente en cuanto al entorno del buque, como para afrontar con éxito un proceso de abandono o evacuación de buque. Al igual que la dotación propia de un buque de guerra, su dotación embarcada puede ser modelada en función de determinadas características o factores parametrizados, los cuales delimitarán el desplazamiento de un individuo a lo largo de la estructura del buque de estudio. La parametrización de estos factores podría ceñirse a unas determinadas características como pueden ser la edad, sexo, amplitud de los corredores, restricciones de visibilidad producidas por una avería determinada o incluso por unas condiciones atmosféricas claramente adversas.

En este artículo describe la aplicación de la metodología del DEE, con la finalidad de analizar las características propias de una dotación embarcada, a partir de los datos recopilados, fruto de los ensayos diseñados a tal efecto y apoyados así mismo, por las imágenes captadas, las encuestas realizadas y la entrevistas mantenidas durante la comisión realizada. Por otros derroteros, se tratará de inferir el conocimiento suficiente para acometer el modelado del desplazamiento de la población de estudio, importándose para ello las conclusiones ya publicadas (Martínez, 2017), donde se disertan los pormenores de las características o factores que realmente intervienen en este estudio en particular. Definido el punto de partida, restará únicamente evaluar los efectos y la contribución básica de los factores intervinientes, para sentar las bases del modelo de desplazamiento.

Para poder acometer este proyecto, se planificó una comisión para adquirir los datos suficientes, como para acometer un análisis a la medida esta metodología. Para ello se procedió al diseño de una gama de ensayos, que serían ejecutados durante las maniobras MARFIBEX 72, que tuvieron lugar en la bahía de Cádiz a bordo del buque de asalto anfibio (L-51) “Galicia”.



Figura 2. . BAA (L-51) "Galicia".

Fuente: Armada España

Con la intención adoptar unos datos que se ajustasen a las características implícitas del desplazamiento de los miembros de una dotación embarcada en un buque como el de estudio, se incluyeron en el diseño de los ensayos diversos obstáculos presentes en las rutas de evacuación asignadas, tales como escotillas, puertas estanca, escalas, entre otras.

Metodología DEE

Esta metodología desarrollada por la industria automovilística japonesa de los años ochenta (Martínez, 2018), (Montgomery, 2009), (Montgomery & Runger, 2011) , hace posible identificar qué factores realmente influyen y el grado con el que lo hacen, con una gama de experimentos diseñados a tal efecto. Por cuanto esta metodología permite tratar la gestión de consecuencias adversas, mitigando o caso de ser posible, neutralizando las causas que las inducen. De acuerdo con esta metodología basada en un diseño multifactorial [nf], donde el número de ensayos totales resultará del número de niveles de significación (n) definido y que en nuestro estudio será de (n=2); elevado al número de factores (f) designados [2f]. Que con las conclusiones aportadas por el estudio previo referenciado (Martínez, 2018), se procede a enumerar los tres factores que influyen y sustentan a la problemática planteada:

1. Índice de Masa Corporal (IMC, kg/m²), siendo este el factor de mayor influencia.
2. Edad (años), siguiente factor en grado de influencia en el.
3. Antigüedad (años), tercer factor interviniente en el estudio e igualmente por su grado de influencia que presenta en el trabajo.

Como razón de las conclusiones incluidas, el diseño queda finalmente estructurado en base a tres factores enumerados, para los que habiéndose designado dos (2) niveles de significación; finalmente el DEE quedaría constituido por ocho ($2^3=8$) experimentos. De acuerdo con los factores enumerados y la determinación del número de niveles de significación establecido para ellos, se construye el siguiente cuadro donde se recogen sus correspondientes umbrales de significación:

Tabla 1.

Enumeración de factores y niveles correspondientes.

Factor	Nivel Alto	Nivel Bajo
IMC: (kg/m ²)	Superior a la media	Inferior a la media
Edad (años)	Superior a la media	Inferior a la media
Antigüedad (años embarcado)	Superior a la media	Inferior a la media

Fuente: Propia.

Para constituir el cuadro anterior, se presta indispensable la realización de una encuesta previa a la población de estudio, al objeto de obtener los imprescindibles datos con los que calcular los umbrales de significación estimados (medias poblacionales). Dicho esto, se procedió a diseñar una encuesta dirigida a la dotación embarcada, constituida por una serie de campos en los que se requerían ciertos datos de carácter individual y de temática antropométrica y profesional. Tomando como referencia que las dotaciones embarcadas en buques anfibios, están constituidas normalmente por un batallón reforzado de IM procedente del Tercio de Armada en San Fernando de Cádiz y con objeto de garantizar la representatividad de las muestras constituidas. Significa que el subconjunto constituido por la población embarcada, replica la distribución estratificada poblacional como consecuencia de su estructura jerárquica y además se considera, que la elección de miembros embarcados serán equiprobables dentro de una misma categoría.

Tabla 2.

Ratios distribución efectivos del TEAR.

Sexo	Hombres			Mujeres			Totales		
	Edad Media (μ)	Núm	%	Edad Media (μ)	Núm	%	Edad Media (μ)	Núm	%
Teniente Coronel	49,11	9	0,075				49,11	9	0,073

Tabla continua...

Sexo	Hombres			Mujeres			Totales		
Comandante	44,89	18	0,150				44,89	18	0,145
Capitán	37,75	53	0,442	38,00	3	0,750	37,77	56	0,452
Teniente	28,53	40	0,333	26,00	1	0,250	28,46	41	0,331
Oficiales	40,07	120		32,00	4		40,06	124	0,055
Suboficial Mayor	57,00	3	0,012				57,00	3	0,011
Subteniente	55,26	43	0,165				55,26	43	0,162
Brigada	47,54	63	0,242				47,54	63	0,237
Sargento Primero	42,14	73	0,281	39,00	3	0,500	42,01	76	0,286
Sargento	32,44	78	0,300	35,00	3	0,500	32,53	81	0,305
Suboficiales	46,87	260		37,00	6		46,87	266	0,119
Cabo Mayor	48,42	19	0,011				48,42	19	0,010
Cabo Primero	41,15	433	0,261	39,40	10	0,068	41,11	453	0,246
Cabo	35,03	396	0,233	37,00	45	0,308	35,23	441	0,239
Soldado	29,55	841	0,495	33,90	91	0,623	29,98	932	0,505
Tropa	38,54	1699		36,77	146		38,69	1845	0,826
Totales	41,83	2079	0,93	35,26	156	0,07	41,87	2235	1

Fuente: SIPERDEF

Habiéndose procedido con los datos obtenidos en las encuestas realizadas, al cálculo de los umbrales que determinan los niveles de significación de los factores y que determinan la configuración de los experimentos que constituyen cada ensayo, se constatan las diferentes características o peculiaridades que definen al grupo de control. Como consecuencia de todo lo expuesto, el DEE diseñado se constituye en base a ocho

experimentos, como resultado del número de niveles de significación remarcados, elevado por el número de factores enumerados; fueron dotados por un máximo de diez miembros del grupo de control, para realizar la gama de ensayos configurados y con ello, captar los tiempos empleados en su ejecución. De este modo, el grupo de control estará compuesto por un total de ochenta (80) miembros, seleccionados aleatoriamente entre la dotación embarcada, de entre aquellos miembros que cumplen con la configuración definida por la combinación de los niveles de significación de los factores que intervienen en el estudio.

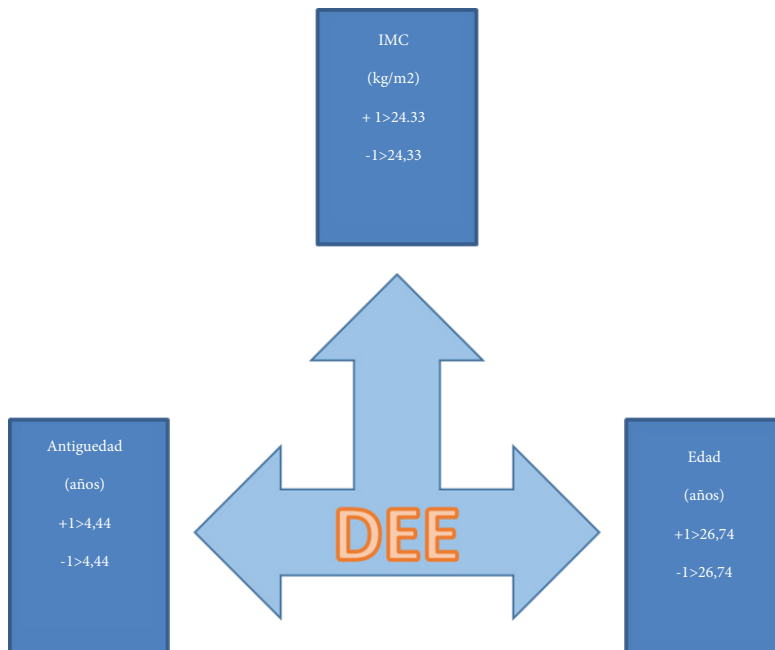


Figura 2. . Diagrama de factores y niveles, DEE.

Una vez disponibles los datos captados en la gama de ensayos ejecutados, es menester en primera instancia, proceder a su depuración y análisis previo, antes de continuar con su procesamiento de acuerdo con la metodología implementada. De este modo, se procede a la depuración de datos ausentes y de los que encuentran fuera de rango, mediante la aplicación de diferentes técnicas que permiten la generación aleatoria de datos acotados o que son capaces de identificar elementos que fomentan la generación de ruido, respectivamente. Independientemente de los procesos previos implementados, se hace indispensable verificar que los datos de trabajo, superan el test de normalidad. Para ello, se procede exportando los datos de cada ensayo, al paquete estadístico (MINITAB v.14), al objeto de verificar que cumplen con los criterios de normalidad. Como ejemplo, se muestra en la figura siguiente, los resultados obtenidos en la prueba de normalidad aplicada a los tiempos tomados en el primer ensayo, donde los miembros del grupo de control se desplazaban por un corredor de 5 metros de longitud en el buque de estudio.

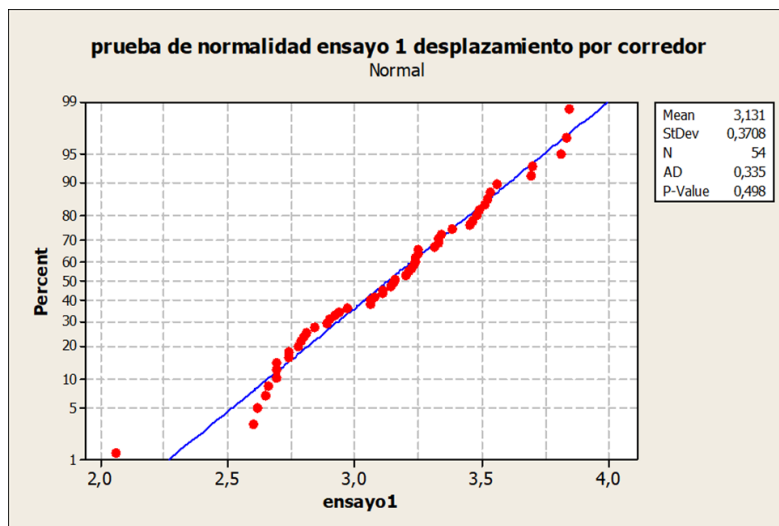


Figura 3. Prueba de Normalidad.

Fuente: Propia MINITAB v.14

La prueba de normalidad seleccionada (test Anderson-Darling), exige la obtención de un ($p\text{-valor} > 0,05$) para la superación del test, para lo cual esta prueba supera el test de normalidad con cierta amplitud. Desde el punto de vista técnico, puede afirmarse conceptualmente que con los datos aportados, no se dispone de indicios suficientes como para poder rechazar la hipótesis nula (H_0) y por tanto se acepta, de modo se constata la superación de la prueba de normalidad.

Una vez verificada la prueba de normalidad, podemos afirmar que disponemos de unos datos debidamente depurados y validados, para procederse con la fase siguiente. Así, validados los datos disponibles, el primer definido por esta metodología, pasa por la construcción de la matriz del plan de experimentos multifactorial, en la que se configuran los diferentes experimentos que constituyen el ensayo diseñado, como la combinación de los factores y de sus niveles de significación, de acuerdo a como se muestra en la siguiente tabla del plan de ensayos multifactorial completo (Tabla 4).

En la construcción de esta matriz se constata el plan de experimentos, como resultado de la combinación entre los diferentes factores y sus correspondientes niveles de significación, identificados estos últimos mediante el sistema binario de numeración (segundo bloque de columnas por la izquierda). El uso de un sistema de numeración binario inverso para su representación, nos permite realizar la permutación de factores de un modo más sencillo y con ello, lograr identificar perfectamente las distintas combinaciones o configuraciones de los experimentos, constituyendo finalmente el plan de experimentos que define a uno de los ensayos de la gama diseñada.

Tabla 3.*Plan de experimentos y de ensayos multifactorial.*

Identificador Decimal del experimento	2 ⁰ 2 ¹ 2 ²			Matriz del plan de experimentos							Plan de ensayos multifactorial completo			
	1	2	4				2 ³							
	Factores			Factores			Interacciones				Factor	Nivel	Valor	Ud
	A	B	C	A	B	C	AB	AC	BC	ABC				
0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	-1	A	IMC	1	>24,33 Kg/m ²
1	1	0	0	1	-1	-1	-1	-1	1	1			-1	<24,33 Kg/m ²
2	0	1	0	-1	1	-1	-1	1	-1	1	B	Edad	1	>26,74 años
3	1	1	0	1	1	-1	1	-1	-1	-1			-1	<26,74 años
4	0	0	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1				
5	1	0	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	C	Antigüedad	1	>4,44 años
6	0	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1			-1	<4,44 años
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Con el objeto de definir e identificar fácilmente los diferentes factores y sus niveles de significación intervinientes en el DEE, se incluyen las tablas del plan de experimentos y de ensayos multifactorial completo, en la que se muestran los conceptos de los factores de estudio, sus niveles de significación y la magnitud en que se evalúan estos. Como paso siguiente, se recopilan las diez mediciones tomadas (y_i), calculándose su media aritmética (y_{media}) y desviación típica ($y_{desv.}$) para a cada uno de los experimentos realizados. Así mismo, se formula el cálculo de estas mismas variables de centralización y dispersión, para las diferentes mediciones obtenidas en el ensayo (y_m , s_m).

Tabla 4.*Mediciones de réplicas de ensayos DEE.*

Respuesta											
Mediciones											
y ₀	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉	y _{media}	y _{desv}
3,11	3,14	2,81	3,48	3,51	2,92	3,49	3,22	3,70	3,52	3,29	0,29
2,06	2,60	2,69	2,65	2,89	2,66	2,84	2,78	3,06	3,83	2,69	0,28
3,06	3,33	3,12	3,11	3,70	3,20	2,98	2,82	3,42	3,30	3,20	0,25
2,74	2,90	3,25	2,80	2,69	2,69	2,83	2,79	2,76	3,72	2,77	0,07
3,53	3,08	2,78	3,26	3,83	3,66	3,60	3,12	3,90	2,75	3,35	0,41
3,11	3,14	2,81	3,48	3,51	2,92	3,49	3,22	3,70	3,52	3,29	0,29
3,11	2,79	3,45	3,24	3,74	3,20	3,81	3,23	3,23	3,09	3,19	0,30
2,62	3,21	3,69	3,56	3,34	3,97	3,24	3,84	3,46	3,16	3,31	0,36

A continuación se procede a obtener las medias de las respuestas de nivel alto y bajo, es decir, las medias de los valores medios ($\bar{y}_m$) donde el factor o la iteración de referencia toma como respuesta un valor alto (+1) o bajo (-1) respectivamente.

$$M_{+j} = \sum_{i=1}^{2^4} t(i,j) * \bar{y}_i \quad \sqrt{[t(i,j) > 0]} ; M_{-j} = \sum_{i=1}^{2^4} t(i,j) * \bar{y}_i \quad \sqrt{[t(i,j) < 0]}$$

La diferencia obtenida entre las distintas medias, cuantifica el efecto que obtiene cada uno de los factores o iteraciones, que constituyen el ensayo.

$$[\text{Efecto } j = (M_{+j} - M_{-j})]$$

Cabe resaltar que el *efecto* es la variable que recoge la diferencia entre las medias de los resultados obtenidos en ensayos ante un nivel bajo y alto de respuesta. Si el resultado de esta variable resulta negativo, constata que al disminuir el valor del factor o interacción que representa, aumentar el valor de respuesta y viceversa.

Tabla 5.
Respuestas de nivel y efecto de factores e interacciones..

Media de las respuestas a nivel alto (M+)	3,03	3,12	3,27	3,16	3,27	3,14	3,14
Media de las respuestas a nivel bajo (M-)	3,24	3,16	3,01	3,11	3,01	3,14	3,13
Efecto	-0,21	-0,04	0,26	0,05	0,27	0,00	0,01

Por último, resta calcular la tabla de *contribuciones básicas* (Cb) de los factores e interacciones definidas, en las que se lleva a cabo la sustracción sobre la interacción correspondiente, del *efecto* (E) de todas aquellos factores o interacciones que forman parte de ella, tal y como se aprecia en la siguiente tabla.

$$Cb_j = \text{MIN}_j(\sum_{i=1}^{\text{interacciones}} \sum_{j=1}^{\text{factores+interacciones}} (E_{(i,j)} - E_i)), \sqrt{[E(i,j) \text{ in } E_i]}$$

La contribución básica es una variable que muestra el grado de importancia o influencia en valor absoluto, entre factores y en ausencia de dependencias con sus respectivas interacciones. Este concepto contrasta con el efecto, el cual muestra la influencia que posee el mismo de manera combinada o lo que es lo mismo, dependiendo de otros factores o interacciones.

Finalmente, la contribución básica dirigida a cada uno de los factores o interacciones, estará formada por el menor de los valores calculados, excluyéndose por supuesto, el valor de efecto.

Tabla 6.

Cálculo de la contribución básica de factores e interacciones.

	Cálculo de la contribución básica						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Efecto	-0,21	-0,04	0,26	0,05	0,27	0,00	0,01
-ABC	-0,22	-0,05	0,25	0,04	0,26	-0,01	
-BC		-0,04	0,26				
-AC	-0,48	-0,31					
-AB	-0,26	-0,09					
Contribución básica	-0,48	-0,31	0,25	0,04	0,26	-0,01	0,01

Resultados

Con el objeto de disertar el análisis pormenorizado del DEE realizado, se procede a construir un gráfico de barras, en el que se representan conjuntamente el efecto y la contribución básica, de los factores e interacciones que constituyen del experimento.

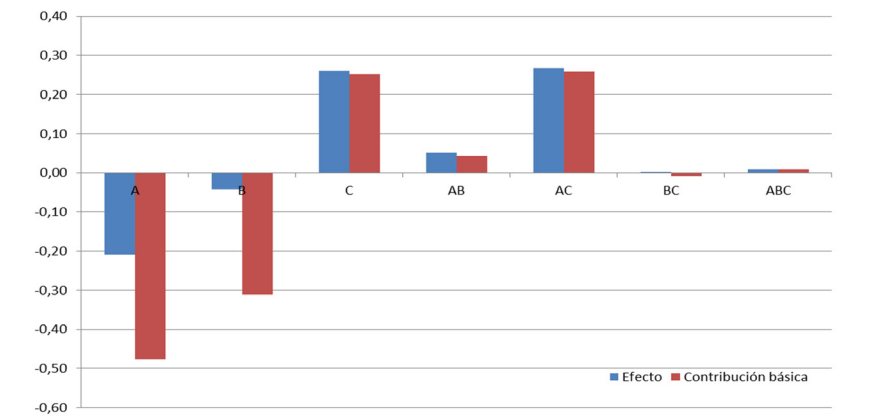


Figura 4. Diagrama de barras, efecto y contribución básica.

Tras la presentación de los resultados obtenidos para las diferentes variables de análisis, se procede a enumerar, los resultados obtenidos del análisis realizado en función de los efectos generados por los diferentes factores e interacciones que conforman el experimento diseñado:

1. Los factores (A, IMC) y (B, edad) presenta un efecto negativo, es decir, cuanto menor sea su valor mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.
2. El factor (C, antigüedad) presenta un efecto positivo, es decir, cuanto mayor sea su valor mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.
3. Respecto de las interacciones dobles, cabe reseñar la interacción (AD; IMC, antigüedad) como la que presenta un mayor efecto y además positivo, por cuanto mayor sea su valor, mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.

A continuación se procede a enumerar, los resultados obtenidos del análisis realizado en función de la contribución básica aportada por los diferentes factores e interacciones que conforman el experimento:

1. El factor (A, IMC) presenta la mayor contribución absoluta, es decir, muestra el mayor grado de influencia respecto a los restantes factores, en ausencia de dependencia con las interacciones.
2. Los factores (B, edad) y (C, antigüedad) presentan una contribución absoluta, es decir, muestra cierto grado de influencia respecto a los restantes factores y en ausencia de dependencia con las interacciones.
3. De entre todos los factores, se resalta que los factores (A, IMC) y (B; edad), que muestran la contribución básica y por tanto podemos afirmar que el IMC y la edad, son los factores de mayor importancia en influencia absoluta; aunque el tercer factor (C, antigüedad) presenta una contribución nada despreciable.

Una vez obtenidos los resultados del DEE desarrollado, resta obtener una función de regresión que defina la función de desplazamiento de un miembro de la dotación embarcada, en función de los niveles de significación de sus factores (IMC, edad, antigüedad), parametrizados de acuerdo a sus datos profesionales y antropométricos. Así mismo, en un primer paso y a modo de proceso de depuración, se retoma la tabla de mediciones captadas del DEE para aplicar el Criterio de Chauvenet, que a partir del número de mediciones realizadas por experimento ($k=10$) designa un valor ($n=1,96$), el cual actúa de valor de cota para la identificación de mediciones atípicas.

Tabla 7.*Identificación de valores anómalos por Chauvenet ($k=10$).*

Criterio de Chauvenet										
y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	k n
0,0732	0,0078	0,88344	0,9261	1,0071	0,5863	0,9531	0,2239	1,5203	1,0341	2 1,15
2,909	1,4506	1,20753	1,3156	0,6674	1,2886	0,8024	0,9645	0,2082	1,8714	3 1,35
0,2082	0,521	0,03339	0,0814	1,524	1,1673	0,4283	0,86	0,7752	0,4421	4 1,54
1,0725	0,6404	0,30492	0,9104	1,2075	1,2075	0,8177	0,9306	1,0184	1,1286	5 1,68
1,0611	0,1542	0,9564	0,3354	1,8631	1,4135	1,2626	0,0328	2,0588	1,0485	6 1,73
0,0732	0,0078	0,88344	0,9261	1,0071	0,5863	0,9531	0,2239	1,5203	1,0341	10 1,96
0,0732	0,9375	0,84508	0,2779	1,0725	0,1699	1,8174	0,2509	0,2636	0,1227	20 2,24
1,3966	0,1969	1,49328	1,1422	0,548	0,4513	0,2779	1,8984	0,8721	0,0618	25 2,33

La aplicación de este criterio, se asocia al siguiente proceso de análisis de regresión en base a la aplicación de la ecuación de Shieffle (ecuación de regresión sustentada en la validación del Criterio de Chauvenet, al objeto de anular el error cometido y por tanto, su ($\epsilon=0$)) y en la cual se sustenta. De acuerdo con esta disposición y observando los valores anómalos identificados en la tabla anterior, las condiciones de la ecuación Shieffle, exigen la supresión de estos datos del proceso de regresión, al objeto de evitar la inclusión de ruido alguno en la ecuación de regresión finalmente obtenida y por tanto el error en que se incurra será inexistente ($\epsilon=0$). Asumidos los prolegómenos del análisis de regresión seleccionado, se procede a definir la interpolación de los niveles de significación para los distintos factores, en función de los intervalos de valores de trabajo acotados por las diferentes disposiciones normativas.

Tabla 8.*Interpolación lineal, cota de intervalos y niveles de significación.*

Interpolación lineal								
$y^+ = (x - x_1 / X^* - x_1)$; $y^- = (x - x^* / x_2 - x^*) - 1$								
A	kg/m ²		B	Años		C	Años	
x1	24,33	40	x1	26,74	52	x1	4,44	34
x2	24,33	18.5	x2	26,74	18	x2	4,44	0
y1	1		y1	1		y1	1	
y2	-1		y2	-1		y2	-1	

Fruto de la interpolación realizada, se alcanzan los valores relativos de los diferentes factores dentro de un intervalo $[-1,1]$ que determina el recorrido de los niveles de significación para cada la característica de un miembro de la dotación embarcada.

Los recorridos de los diferentes intervalos asignados a cada factor, corresponden con los valores máximos y mínimos designados por la normativa vigente. Finalmente, resta calcular la recta de regresión estructurada de acuerdo a los parámetros que se muestran en la tabla siguiente, entre los que se identifica la media aritmética (b_0) de la totalidad de mediciones adaptadas al DEE y la mitad del valor de *efecto* (b_i) relativo a cada factor o interacción que constituyen la función de regresión.

Tabla 9.

Composición de la función de regresión.

$y=b_0+b_1A+b_2B+b_3C+b_4AB+b_5AC+b_6BC+b_7ABC$								
b_0	3,14	b_4	0,04		A	B	C	
b_1	-0,12	b_5	0,14	Real	18,5	27	0	y
b_2	-0,02	b_6	-0,02	Trf.	-1	0,0103	-1	
b_3	0,15	b_7	0					

Como ejemplo de la tabla anterior, se configura un miembro de la dotación embarcada, con un índice de masa corporal ($A=18,5$) kg/m², con edad ($B=27$) años y tiempos de antigüedad ($C=0$) años; obteniéndose finalmente un tiempo estimado de desplazamiento a través de un corredor de cinco metros (5 m.) de longitud, sería de ($y=3,247$) segundos.

Conclusiones

El Naval Ship Code se define como “goal based estándar”, por lo que se necesita desarrollar trabajos que ayuden a demostrar el cumplimiento de los requisitos.

Las metodologías DEE basadas en el diseño multifactorial, no solo permiten identificar los factores que realmente intervienen en el estudio, sino que además permiten identificar el grado o magnitud y el modo, en el que intervienen. A la vista de las premisas y conclusiones ya enumeradas de este estudio, podemos resumir que los factores (A, IMC) y (B, edad) son los que mayor influencia aportan al estudio, siendo esta negativa. Por el contrario, el factor (C, antigüedad) muestra la menor influencia, aunque resulta positiva. De este modo, cuanto menor sea el IMC y la edad del individuo, mayor será el tiempo empleado en el ensayo de referencia, que para el caso que compete a este artículo, trata un desplazamiento rectilíneo en un corredor de 5 metros de longitud sito en el buque de estudio. Así mismo, cuanto mayor sea la antigüedad del individuo, mayor será el tiempo empleado en el ensayo.

Tener simulado al personal de Infantería de Marina embarcado y a nuestras dotaciones permitirá la optimización de las operaciones navales y particularmente dotará de seguridad al abandono del buque.

Referencias

- DDS-079. (1975). *Design Data Sheet-Stability and Buoyancy of US Naval Surface Ships*. US Navy, Naval Ship Engineering Center, Washington, USA.
- MARPOL. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, consolidated edition 2011. International Maritime Organization.
- Martínez Grueira, H. (2017), DEE, *adquisición de datos y estudio del desplazamiento para evacuación de dotaciones embarcadas*, CUD-UAH.
- Martínez Grueira, H. (2018). *La antigüedad es un grado*. Boletín Técnico de Ingeniería n°14 MAY18, ETSIAN. NIPO IBD: 083-17-203-7, en línea: 083-17-202-1.
- Montgomery Douglas C. (2009), *Introducción al control estadístico de calidad*. (John Wiley & Sons, Inc.) ISBN: 978-0-470-16992-6
- Montgomery Douglas C., Runger George C. (2011), *Probabilidad y Estadística aplicada para ingenieros*. (John Wiley & Sons, Inc.) ISBN-13: 978-0-470-05304-1
- MSC_Circ_1238. *Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships*. International Maritime Organization.
- NSC. ANEP-77, Ed. F. Naval Ship Code. NATO Standardization Agency (NSA). www.navalshipcode.org, descargado el 17.02.17
- Riola J.M., Pérez-Villalonga, F.J. (2008). *Naval*
- Seanews International Shipping Magazine Turkey. www.seanews.com.tr, descargado el 2.05.18
- SOLAS. *International Convention for the Safety of Life at Sea*, consolidated edition 2009. International Maritime Organization.



Panorámica desde el buque ARC "20 de Julio" en el continente Antártico, año 2017.



Buque ARC "20 de Julio" en desarrollo de la IV Expedición Científica a la Antártida.

OPTIMIZACIÓN HIDRODINÁMICA DE BOYA SUBSUPERFICIAL CON ALETAS ORIENTABLES: ANÁLISIS CFD

Hydrodynamic optimization of a subsurface buoy with orientable fins: CFD Analysis

Daniel José Coronil Huertas¹

Juan Manuel Vidal Pérez²

José Juan Alonso del Rosario³

Recibido: 20/05/2018

Aceptado: 04/09/2018

Resumen

Se presenta la optimización hidrodinámica de una boya de flotación sub-superficial provista con aletas orientables para fondeos oceanográficos, definida a partir de un perfil NACA de cuerda variable en su eje vertical al que se le añade un timón y aletas orientables, la boya está inspirada en un pez luna. La nueva forma consigue reducir el arrastre y aumentar la sustentación frente a boyas de referencia esféricas equivalentes. Se analizan los resultados de las distintas simulaciones hidrodinámicas del comportamiento de esta boya con respecto a boyas esféricas equivalentes empleando CFD. Se demuestra que el arrastre se reduce en más del 50%. Las aletas orientables son configurables en su ángulo de ataque para su mejor rendimiento en función del régimen de velocidades propio de cada emplazamiento. Dentro del rango

de velocidades de 0.1-3.0 m/s, se determina que el ángulo de ataque óptimo está en torno a los 10°.

Palabras Clave: fondeos oceanográficos, fuerza de arrastre, fuerza de sustentación, coeficiente de arrastre, dinámica de fluidos computacional, CFD.

Abstract

The hydrodynamic optimization of a sub-surface float provided with adjustable fins for oceanographic anchorages is presented. Defined from a NACA profile of variable rope in its vertical axis to which a rudder and adjustable fins are added, the buoy is inspired by a sunfish. The new shape reduces drag and increases lift compared to equivalent spherical reference buoys. The results of the different hydrodynamic simulations of the behavior of this buoy

¹Ph.D., Universidad de Cádiz - daniel.coronil@uca.es.

²Ph.D., Universidad de Cádiz - juan.vidal@uca.es.

³Ph.D., Universidad de Cádiz - josejuan.alonso@uca.es.

with respect to equivalent spherical buoys using CFD are analyzed. It is demonstrated that drag is reduced by more than 50%. The adjustable fins are customizable in their angle of attack for best performance depending on the speed

regime of each site. Within the speed range of 0.1-3.0 m/s, the optimum angle of attack is determined to be around 10°.

Keywords: oceanographic moorings, drag force, lift force, drag coefficient, CFD.

Introducción

Los oceanógrafos se han visto obstaculizados en la toma rutinaria de mediciones “in situ” debido a la extensión de los océanos, la lejanía de los puntos de observación, el ambiente severo y agresivo, las dificultades presentes y los costes (Wilson & Kerut, 1982). Las mediciones desde un buque solo proporcionan una caracterización puntual de las condiciones oceanográficas en el momento de la medida. Por lo tanto, oceanógrafos e ingenieros han tenido la necesidad de enviar sistemas que les permitan dejar instrumentos de medición en el océano fijados al fondo marino.

Un fondeo oceanográfico puede ser definido como una estructura o sistema flotante que se instala en el océano con el propósito de elaborar y registrar mediciones (en un periodo de tiempo) de distintas variables oceanográficas y/o meteorológicas (Berteaux, 1976), que permitan cuantificar los cambios en las condiciones del océano. Suele estar compuesto de boyas de flotación y/o balizamiento, cables o cabos, cadenas, liberadores acústicos, lastres e instrumentos de medida (Berteaux, 1976 y Vidal & Tejedor, 2004). Los instrumentos permiten medir una serie de propiedades tales como la velocidad y dirección de la corriente, la salinidad, la temperatura, el estado de la mar, entre otras (Trask & Weller, 2001). Además permiten el análisis de complejas interacciones entre el océano y la atmósfera, obteniendo series temporales de variables oceanográficas en los puntos donde se fondean.

Cada nuevo paso o innovación en el diseño de fondeos ha permitido comprender mejor los procesos en el océano y sus interacciones. Los estudios recientes se basan en la observación del océano mediante instrumentos y sensores con mayor autonomía y comunicación permanente para que puedan alimentar los datos de las bases científicas en tiempo real. Esto permite que se puedan analizar periodos más largos y en un rango espacial mayor. En la última década se han desarrollado una gran cantidad de estudios relacionados con los sistemas de fondeos oceanográficos y proyectos innovadores, como por ejemplo (Baba, 2012), (Ochi, Ishihara, & Sugiyama, 2012), (Song, Xue, Sun, & Tian, 2012), (Von Jouanne, Brekken, Lettenmaier, Amon, & Phillips, 2012), (Walpert, Guinasso Jr. & Bender, 2009), (Antoine, 2008). Con estos ejemplos se pretende incidir en la necesidad de elaborar nuevos diseños de sistemas oceanográficos o incluso mejorar los diseños existentes ante las diferentes necesidades o problemas que surjan.

La inclinación de las líneas de fondeo debido a la fuerza de arrastre de la corriente provoca errores en el registro de las series temporales de las variables oceanográficas. El diseño de estos fondeos requiere estudiar la flotabilidad mínima necesaria para mantener las líneas de amarre verticales. El grado de inclinación de estas líneas es un factor crítico en el error de las mediciones de los instrumentos. Cuando alcanzan inclinaciones muy altas, algunos instrumentos empiezan a medir incorrectamente o las medidas están sujetas a grandes variaciones que crean incertidumbre en la medición (Vidal, López, & Penagos, 2011).

Por lo tanto, uno de los principales requisitos que presenta un sistema de fondeo es que la excursión tanto horizontal como vertical de sus componentes en respuesta a las corrientes sea pequeña. Una forma de reducir esta excursión es dando rigidez al amarre mediante el aumento de la tensión de la línea. El aumento de la flotabilidad y de la tensión de los cables de amarre se traduce en una necesidad de uso de una línea de amarre más resistente y razonablemente más costosa. Por lo tanto, la rigidez en el diseño de líneas de fondeos oceanográficos es un compromiso entre el coste de la flotabilidad y el movimiento del fondeo, los cuales están inversamente relacionados (Sundaravadivelu, Vara Prasad, & Gopu, 1987). Entonces, la pretensión buscada en el cable se consigue con la flotabilidad de la boya. Un aumento del valor de la pretensión requiere una boya más grande, que se traduce generalmente en una mayor fuerza de arrastre horizontal.

Los fondeos oceanográficos en lugares con velocidades de corrientes elevadas, requieren de un estudio previo detallado. La evolución temporal de la línea de fondeo permite analizar previamente su comportamiento, permitiendo optimizar su diseño. La predicción de los desplazamientos, las tensiones que soportan los cables e instrumentos y la distribución adecuada de los elementos de flotación puede realizarse mediante programas de cálculo que desarrollan las ecuaciones del equilibrio dinámico de cables (Vidal, Muriel, & de los Santos, 2006).

Un lugar singular, por sus características oceanográficas y de gran dificultad desde el punto de vista instrumental y operacional para el fondeo de instrumentos oceanográficos es el Estrecho de Gibraltar, sur de la Península Ibérica (Bryden, Candela, & Kinder, 1994). Además de su batimetría abrupta, se caracteriza por sus corrientes de intensidad elevada, que a veces pueden superar los 2 m/s (Bruno, 2002) y (La fuente, 2000). Es por ello que los diseños de fondeos oceanográficos en estas zonas requieren un exhaustivo análisis.

El trabajo de (Vidal, Muriel, & de los Santos, 2006) presenta un estudio de una línea de fondeo oceanográfico en el Estrecho de Gibraltar, elaborando su diseño mediante un programa de cálculo basado en el equilibrio dinámico del mismo. En 2002 se fondeó una línea de correntímetros cuyo análisis de las series temporales registradas mostraron desplazamientos verticales, que superaron los 50 m. Por lo tanto, la intensidad de las corrientes en dicha zona y sus variaciones en profundidad, somete a la línea de fondeo a inclinaciones muy severas. Para evitar la excesiva inclinación de los instrumentos de medida se necesitaban grandes elementos de flotación que tensionaran la línea y evitaran su desplazamiento respecto a la vertical.

En 2003 se fondeó en una zona cercana una línea de correntímetros similar a la anterior, pero a la que se le incluyeron más elementos de flotación. En el análisis de los datos registrados se detectó que para ciertas condiciones de corriente, el ángulo de inclinación de los correntímetros era muy elevado y esto se explicaba debido al arrastre producido por los sistemas de flotación instalados. Por lo tanto, para el diseño definitivo

del fondeo se debió tener en cuenta que estas boyas no podían tener un tamaño elevado, para que el arrastre de la misma no aumentase significativamente.

Con lo expuesto anteriormente es posible manifestar que el criterio clave para mejorar este tipo de fondeo es el diseño de una boya o de elementos de flotación sumergidos que aporten la máxima flotabilidad y la mínima fuerza de arrastre debido a su tamaño y forma (Zambrano, MacCready, Letourneau, Roddier, & Cermelli, 2006).

Los métodos empleados para llevar a cabo este tipo de estudio requieren en primer lugar la elección de diferentes diseños. Los cuerpos que lo forman están sujetos a la fuerza que produce el flujo circundante (Nakayama & Boucher, 1998), por lo que el control del flujo es importante para reducir la resistencia y la magnitud de la fuerza que actúa sobre ellos (Morel & Bohn, 1980 y Igarashi, 1982). Posteriormente, se procede al análisis mediante modelos numéricos del comportamiento de los diseños, el cual no exime la necesidad de experimentar con modelos a escala reducida (Coleman & Steele, 1999 y Valle, Terceño, & Carrillo, 2007); ya que representan de manera aceptable el comportamiento del prototipo (Chakrabarti, 1994).

Para que el diseño de un sistema de fondeo oceanográfico sea viable y se comporte favorablemente, es necesario analizar previamente los diferentes aspectos que les afectan negativamente, para así poder proponer mejoras que los optimicen. Para ello, uno de los principales puntos a tratar será la disminución de las excursiones de los equipos que los integran. Por lo tanto, es necesario prestar una atención especial al arrastre que se produce debido a los elementos que aportan flotación al sistema (boyas). Así pues, existe la necesidad de buscar nuevas formas o configuraciones de los elementos que reduzcan significativamente el arrastre.

Cuando una boya está inmersa en un fluido viscoso, experimenta una fuerza de gravedad “W” (constante y en dirección descendente), una fuerza de flotación “B” (constante y en dirección ascendente), y una fuerza de resistencia “D” (creciente con la velocidad y contra la dirección del movimiento) (Vidal, López, & Penagos, 2011). El arrastre “D” en un cuerpo es la suma de la presión de arrastre “Dp” y del arrastre por fricción “Df”, cuyas proporciones pueden variar con la forma del cuerpo. El cálculo teórico del coeficiente de arrastre de un cuerpo situado en un flujo uniforme “U” es generalmente difícil excepto para cuerpos de formas simples y para una gama limitada de velocidades. Por lo tanto, no existe otra manera más que depender de los experimentos. En general, el arrastre “D” se expresa de la siguiente manera:

$$D = C_D A \frac{\rho U^2}{2} \quad (1)$$

Donde “A” es el área proyectada del cuerpo en el plano vertical a la dirección del flujo uniforme y “CD” es un número adimensional llamado coeficiente de arrastre.

El control del flujo tiene como objetivo reducir la resistencia y la magnitud de la fuerza que actúa sobre un cuerpo inmerso en él. Un control de flujo eficaz puede reducir la resistencia que actúa sobre un cuerpo. Se han diseñado una gran variedad de formas para lograrlo (Koenig & Roshko, 1985 y Zhou, Cheng, & Hung, 2005).

En el estudio que se presenta, se elige como sistema de flotación un prototipo de boya especial, diseñada por Innova oceanografía litoral s.l., patentada junto con la Universidad de Cádiz, con la forma semejante a un pez luna y que pretende reducir la fuerza de arrastre. En este cuerpo se obtiene por su diseño el menor arrastre cuando el eje largo es paralelo a la dirección del flujo y el extremo más protuberante se dirige aguas arriba (Fig. 1). Se analizará el comportamiento de dicha boya y se propondrán mejoras de diseño que optimicen la configuración del fondeo donde se instale.

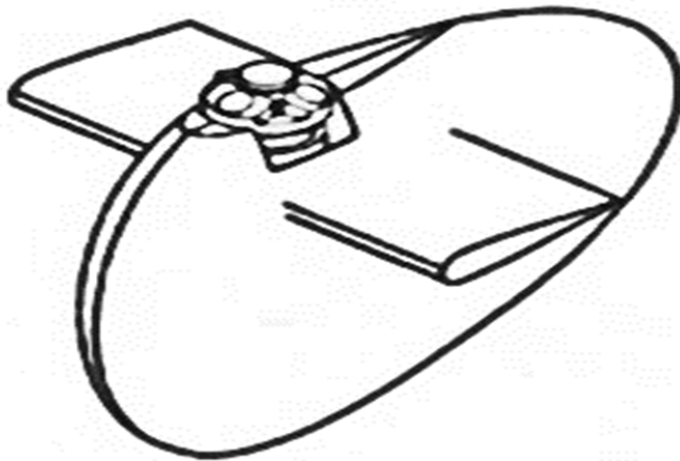


Figura 1. Prototipo de boya especial, con forma semejante al pez luna.

Fuente: Vidal, López, & Penagos, 2011

Normalmente, los elementos de flotación presentan formas esféricas o cilíndricas (Vidal, López, & Penagos, 2011). Las curvas de coeficientes de arrastre para esferas y placas planas se describen a menudo en informes de mecánica de fluidos (Lamb, 1932), (Hoerner, 1965) y (Pierson, Neumann, & James, 1960). La dificultad se eleva de manera considerable cuando se pretende obtener dicha información sobre formas más complejas o no convencionales, como el caso de esta boya prototipo. Para este análisis, se ha recurrido al estudio comparativo de los datos de arrastre para esferas de estudios anteriores con los datos de arrastres obtenidos mediante softwares de dinámica de fluidos computacional (CFD).

Método

El software de simulación utilizado es el programa “TDYN” y su paquete de análisis “CFD+HT” de la empresa “Compass ingeniería y sistemas, s.a.”. Constituye una completa solución de ingeniería para resolver problemas que involucran flujos transferencia de calor (fluidos y sólidos) y multi-física. La esencia del mismo es la tecnología del solucionador de cálculo por elementos y volúmenes finitos, que ofrece rápidamente soluciones fiables y precisas. El módulo RANSOL cuenta con la última tecnología para resolver flujos de fluidos en 3D (transitorios o permanentes), incluyendo efectos de turbulencia. Los modelos de fluidos disponibles permiten resolver totalmente los problemas de flujo de fluidos compresibles e incompresibles y flujos en medios porosos (Compass Ingeniería y Sistemas, S.A., 2018).

Resolvedor de Navier-Stokes (módulo RANSOL)

Las ecuaciones para fluidos incompresibles de Navier-Stokes en un dominio tridimensional dado Ω y en un intervalo de tiempo $(0, t)$ puede escribirse como:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla) u \right) + \nabla p - \nabla (\mu \nabla u) &= \rho f \text{ en } \Omega \times (0, t) \\ \nabla u &= 0 \text{ en } \Omega \times (0, t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Donde $u=u(x,t)$ denota el vector velocidad, $p=p(x,t)$ el campo de presión, ρ la densidad (constante), μ la viscosidad dinámica del fluido y f la aceleración volumétrica. La anterior ecuación necesita ser combinada con las siguientes condiciones de contorno:

$$\left. \begin{aligned} u &= u_c \quad \text{en } \Gamma_D \times (0, t) \\ p &= p_c \quad \text{en } \Gamma_P \times (0, t) \\ n \sigma g_1 &= 0, \quad n \sigma g_2 = 0, \quad n u = u_M \quad \text{en } \Gamma_M \times (0, T) \\ u(x, 0) &= u_0(x) \quad \text{en } \Omega_D \times (0) \\ p(x, 0) &= p_0(x) \quad \text{en } \Omega_D \times (0) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

En las ecuaciones anteriores, $\Gamma = \partial\Omega$ denota las condiciones de contorno del dominio Ω , n es el vector normal unitario, y g_1, g_2 , el vector tangente a la superficie de contorno $\partial\Omega$, u_c es el campo de velocidad en Γ_D (la parte de contorno del tipo Dirichlet, o tipo de velocidad prescrita), p_c es la presión prescrita en Γ_P (presión de

contorno prescrita), σ es el campo de esfuerzos, u_M es el valor del vector velocidad normal y u_{0,p_0} son los valores iniciales de los campos de velocidad y presión. La unión de Γ_D, Γ_P y Γ_M debe ser Γ ; su intersección debe estar vacía, un punto del contorno solo puede ser parte de uno de los tipos de contorno, a menos que sea parte de la frontera entre ellos. La discretización espacial de las ecuaciones de Navier-Stokes debe realizarse por medio del método de los elementos finitos, mientras que para la discretización del tiempo se considera un algoritmo iterativo y se usa un “método de paso fraccionado” (implícito de dos pasos).

El uso del método estándar de Galerkin para discretizar las ecuaciones de Navier-Stokes conduce a inestabilidades numéricas. En los últimos años, se ha desarrollado un gran esfuerzo en buscar formas de estabilizar las ecuaciones gobernantes, muchos de los cuales implican añadir artificialmente términos a las ecuaciones para equilibrar la convección, por ejemplo, el método de la difusión artificial (Oñate & Manzano, 2000). Un nuevo método de estabilización, conocido como “Cálculo de Incremento Finito”

(FIC), se ha desarrollado recientemente (Oñate, 1999) y (García, Oñate, Sierra, Saceo, & Idelsohn, 1998). Los detalles sobre la obtención de la ecuación estabilizada FIC y las recomendaciones para el cálculo de los términos de estabilización pueden encontrarse en (Oñate, García, & Idelsohn, 1998). Una característica interesante de la formulación FIC es que permite usar la interpolación de igual orden para las variables de velocidad y presión (Oñate, García-Espinosa, & Idelsohn, 2004) y (García-Espinosa & Oñate, 2003).

Condiciones de contorno de la pared del cuerpo

TDYN ofrece la posibilidad de elegir diferentes condiciones de contorno de pared, destacando entre ellas el tipo “V_fixWall”, que impone la condición de velocidad nula en la pared. Esta condición es usada para resolver explícitamente la región cercana a la pared con el modelo numérico. Con el fin de resolver precisamente la capa límite usando esta condición, se debe usar un análisis global de malla. En muchas aplicaciones de ingeniería, es únicamente práctica para análisis en un régimen con moderados o bajos números de Reynolds (Compass Ingeniería y Sistemas, S.A., 2018).

Proceso de simulación

El análisis por medio de TDYN CFD+HT responde al siguiente esquema de pasos básicos.

Pre-proceso: el primer paso es la creación del problema, generando la geometría del modelo o importando desde un archivo CAD. Se asignan las condiciones de contorno y las condiciones iniciales, se definen los materiales y se insertan los datos generales del problema, definiendo además los datos del solucionador y unidades. Finalmente, se genera la malla.

Cálculo: Tras la creación del problema, el cálculo puede empezar. La información sobre la evolución de la solución puede ser visualizada.

Post-proceso: Terminado el cálculo, los resultados ya están disponibles. Estos pueden visualizarse usando varias opciones del sistema como encendiendo/apagando elementos, usando rellenos, vectores, cortes, gráficos, animaciones, etc. También es posible visualizar información y gráficos evolutivos referentes a fuerzas y momentos en el cuerpo, movimientos del cuerpo y normas de convergencia.

Resultados y discusión

Datos obtenidos en CFD para boya esférica equivalente y boya pez luna original

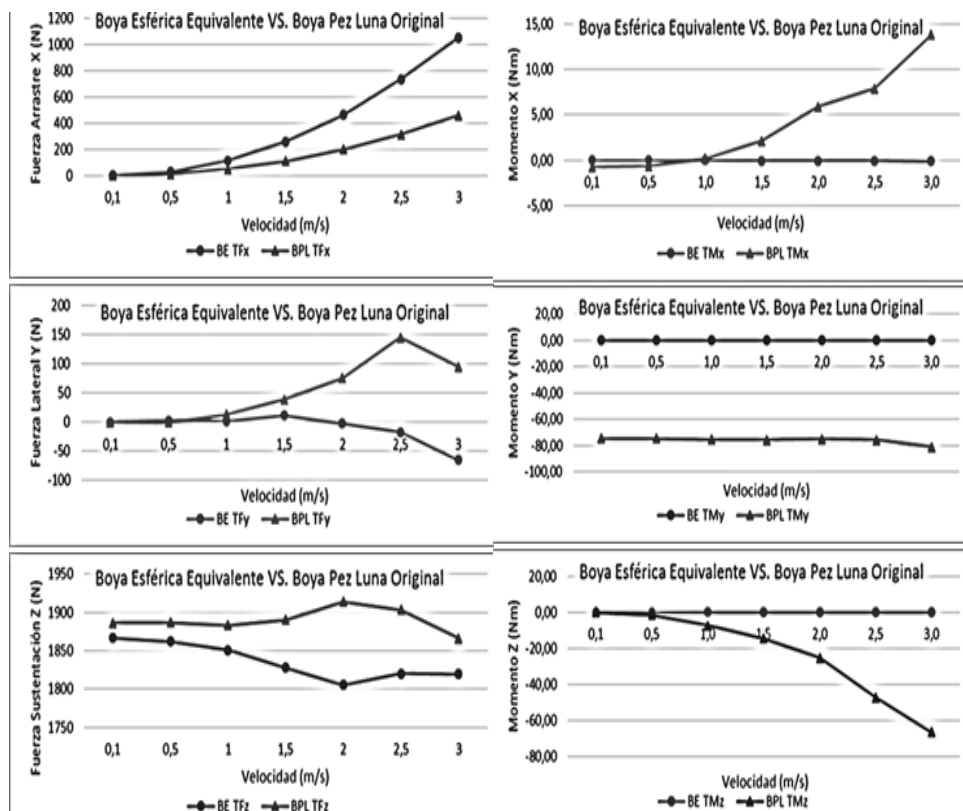


Figura 2. Gráficas de componentes de fuerzas y momentos en ambos cuerpos.

La Fig. 2 muestra los datos de fuerzas y momentos totales obtenidos en la simulación numérica para el prototipo de la boya pez luna original y para una boya esférica con empuje total equivalente. Dichas fuerzas se han calculado para diferentes velocidades. Las componentes de dichas fuerzas se denominan en este caso:

1. F_x : fuerza de arrastre, en la misma dirección que el flujo principal.
2. F_y : fuerza lateral sobre el cuerpo, perpendicular a la dirección del flujo principal.
3. F_z : fuerza de sustentación, vertical hacia arriba y perpendicular a la dirección del flujo principal.
4. M_x : momento respecto al eje X, en la misma dirección que el flujo principal.
5. M_y : momento respecto al eje Y, perpendicular a la dirección del flujo principal.
6. M_z : momento respecto al eje Z, vertical hacia arriba y perpendicular a la dirección del flujo principal.

La boya pez luna original en comparación con la boya esférica equivalente correspondiente reduce la fuerza de arrastre entre un 55-57%; experimenta mayores fuerzas laterales a medida que aumenta la velocidad; y consigue un ligero aumento de la fuerza de sustentación (del 1 al 6% en función de la velocidad). Referente a los momentos, aumentan significativamente los momentos en las tres componentes; siendo en X y en Z más acusados con la velocidad.

Datos obtenidos en CFD para boya pez luna optimizada

En esta optimización se añade un apéndice de cola a la boya (a modo de timón) y se orientan los apéndices laterales con diferentes ángulos de ataque (Fig. 3).

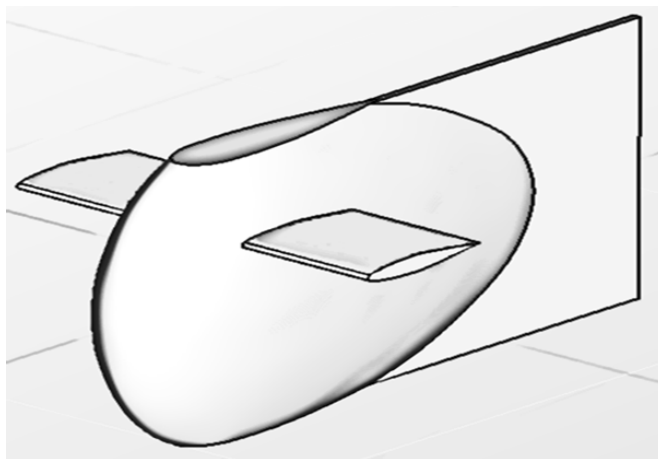


Figura 3. Nueva boya optimizada, con apéndice a modo de timón en el borde de salida

La Fig. 4 presenta los valores obtenidos en la optimización de la boya pez luna original. Los valores se presentan enfrentando por separado cada valor por componente. Se muestran los datos para cada ángulo de ataque y se añade el valor de la boya original para su comparativa. La boya pez luna optimizada con apéndice de cola en comparación con la boya pez luna original consigue una ligera reducción de la fuerza de arrastre con un ángulo de ataque de 0-5°, siendo similar a 10° y aumentando ligeramente entre 15-20°; reduce considerablemente la fuerza lateral en todos los ángulos de ataque, siendo prácticamente nula a 10° y consigue un ligero aumento de la fuerza de sustentación con un ángulo de ataque de 0-5° hasta una velocidad de 2 m/s y se reduce a partir de esta; a 10° existe un ligero aumento y es prácticamente constante a todas las velocidades; y con 15-20° el aumento de sustentación es más acusado con la velocidad. Referente a los momentos, se pretende buscar el ángulo de ataque que reduzca el valor absoluto de los momentos en X y en Z, y que aumente el valor absoluto del momento en Y, siendo elegido el ángulo de 10°.

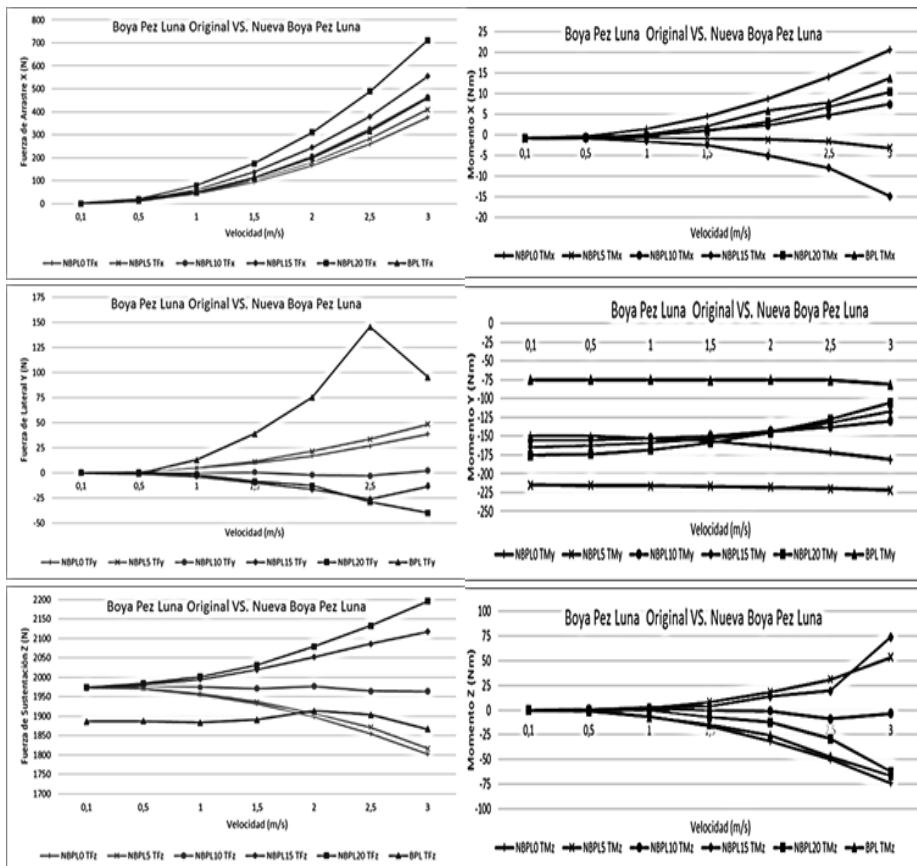


Figura 4. Gráficas de componentes de fuerzas y momentos para la boya pez luna original y para la nueva boya pez luna a diferentes ángulos de ataque de los apéndices.

Datos obtenidos en CFD tras la optimización de la boya

La Fig. 5 muestra las fuerzas y momentos totales obtenidos en la simulación numérica para la nueva boya esférica con empuje total equivalente al de la boya pez luna optimizada con ángulo de ataque 10° . La boya pez luna optimizada en comparación con la boya esférica equivalente correspondiente, reduce la fuerza de arrastre entre un 44-56%; las fuerzas laterales son cercanas a cero, y consigue un ligero aumento de la fuerza de sustentación (del 1 al 2% en función de la velocidad). Referente a los momentos se consigue un comportamiento óptimo de la boya; el momento en X es menor que en la boya original (se reduce en función de la velocidad entre un 36-61%); el momento en Y en comparación con la boya original aumenta en función de la velocidad del 60 al 100%; y el momento en Z es menor que en la boya original (se reduce en función de la velocidad de un 81-117%).

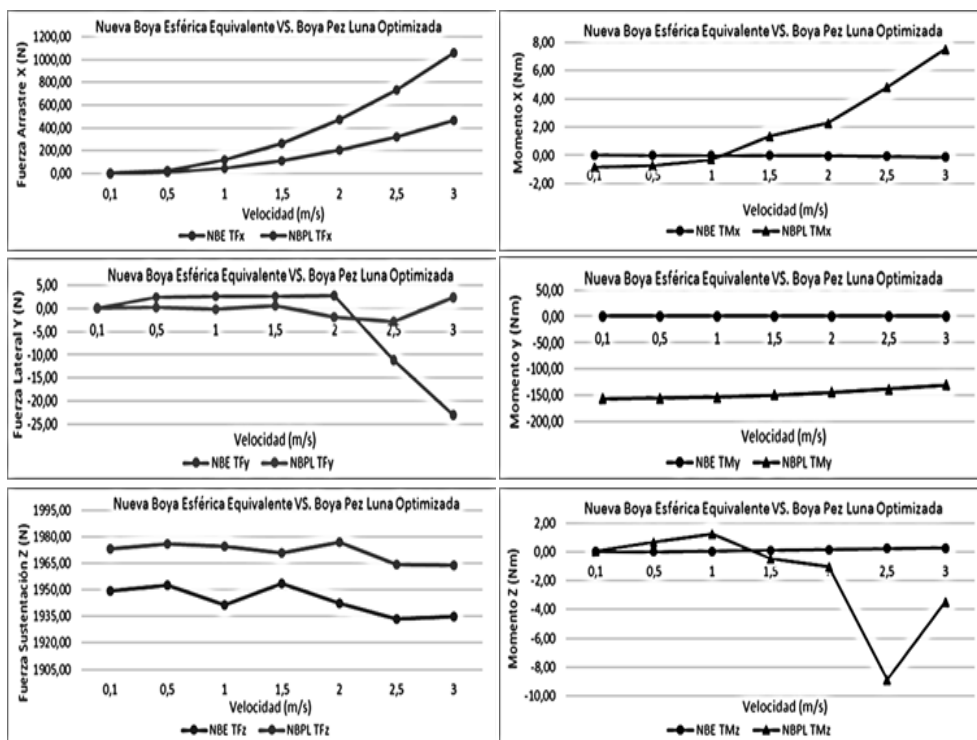


Figura 5. Gráficas de componentes de fuerzas y momentos en ambos cuerpos.

Conclusiones

El presente estudio muestra satisfactoriamente los resultados de optimización de una boya oceanográfica mediante cálculos simulados numéricamente en el software TDYN CFD+HT. La boya pez luna original en comparación con la boya esférica equivalente correspondiente presenta la ventaja de reducir considerablemente (del orden del 55%) el arrastre de la misma. Por el contrario, presenta serios inconvenientes como la significativa fuerza lateral (que aumenta con la velocidad) y el aumento significativo de los momentos en las tres componentes, y con mayor importancia el momento en el eje Z. Estos motivos propician la necesidad de optimizar dicha boya, con el fin de mejorar su comportamiento como elemento de un sistema de fondeo oceanográfico. Los objetivos de dicha optimización buscaban mantener la reducción del arrastre lograda por la boya original, disminuyendo los momentos que la perjudicaban (X y Z).

Las mejoras propuestas para optimizar la boya original (añadir a modo de timón un apéndice de cola a la boya y orientar los apéndices laterales con un ángulo de ataque de 10°), producen resultados satisfactorios. Las fuerzas de arrastre se reducen en torno al 50%, las fuerzas laterales son prácticamente nulas, el momento en X es entre un 36-61% menor, el momento en Z se reduce considerablemente (en más del 80%) y aumenta el momento en Y en más de un 60%.

No obstante, cabe destacar que cuando se crea un método matemático para una solución que reproduzca una realidad física, se realizan simplificaciones y se asumen valores y premisas que llevan a inexactitudes en los modelos. Por este motivo, se debe utilizar además la información generada en la experimentación con modelos a escala, incluso cuando se dispone de una solución matemática analítica. En muchos procesos de ingeniería, la geometría, las condiciones de contorno y los propios fenómenos físicos son tan complicados que dificultan la formulación de modelos numéricos o analíticos que predigan de forma satisfactoria los fenómenos observados. En estos casos, el conocimiento de los fenómenos en estudio se consigue únicamente con la experimentación con modelos a escala. Por todo ello, se plantea como trabajo futuro la experimentación con modelos a escala de la nueva boya optimizada.

Referencias

Antoine, D., Guevel, P., Desté, J., Bécu, G., Louis, F., Scott, A., & Bardey, P. (2008). *The 'BOUSSOLE' Buoy - A new transparent-to-Swell taut mooring dedicated to marine optics: Design, tests, and performance at sea. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 968-989.*

- Baba, S., Ohta, Y., Tahara, J., Fukuda, T., Ishihara, Y., Murashima, T., & Amitani, Y. (2012). *Deployment of an ice buoy at 60°S in the Southern Ocean*. Hampton Roads Conference: Harnessing the Power of the Ocean. Virginia Beach, United States: Oceans.
- Berteaux, H. (1976). *Buoy engineering*. New York: Wiley-Interscience Publication.
- Bruno, M., Alonso, J., Cózar, A., Vidal, J., Ruiz-Cañavete, A., Echevarría, F., & Ruiz, J. (2002). *The boiling-water phenomena at Camarinal Sill, the strait of Gibraltar*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 4097-4113.
- Bryden, H., Candela, J., & Kinder, T. (1994). *Exchange through the Strait of Gibraltar*. *Progress in Oceanography*, 201-248.
- Chakrabarti, S. (1994). *Offshore Structure Modeling*. Singapore: World Scientific Publishing Co.
- Coleman, H., & Steele, W. (1999). *Experimentation and Uncertainty analysis for engineers*. New York: John Wiley & Sons.
- Compass Ingeniería y Sistemas, S.A. (2018). *Tdyn Theory Manual*. Disponible el 01/03/2018 en: http://www.compassis.com/downloads/Manuals/Tdyn_Theory_Manual.pdf.
- García, J., Oñate, E., Sierra, H., Saceo, C., & Idelsohn, S. (1998). *A stabilized numerical method for analysis of ship hydrodynamics*. Proceedings Eccomas Conference on CFD. Athens: John Wiley.
- García-Espinosa, J., & Oñate, E. (2003). *An unstructured finite element solver for ship hydrodynamics*. *Int. Appl. Mech.*, 18-26.
- Hoerner, S. (1965). *Fluid Dynamic Drag*. Midland Park, New Jersey: 148 Bustead Drive.
- Igarashi, T. (1982). *Characteristics of a flow around two circular cylinders of different diameters arranged in tandem*. *Bulletin of the JSME*, 349-357.
- Koenig, K., & Roshko, A. (1985). *An experimental study of geometrical effects on the drag and flow field of two bluff bodies separated by a gap*. *Journal of Fluid Mechanics*, 167-204.
- Lafuente, J., Vargas, J., Plaza, F., Sarhan, T., Candela, J., & Bascheck, B. (2000). *Tide at the eastern section of the Strait of Gibraltar*. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, 14197-14213.
- Lamb, H. (1932). *Hydrodynamics*. New York: Cambridge University Press.

- Morel, T., & Bohn, M. (1980). *Flow over two circular disks in tandem*. *Journal of Fluids Eng.*, 104-111.
- Nakayama, Y., & Boucher, R. (1998). *Introduction to Fluid Mechanics*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Ochi, H., Ishihara, Y., & Sugiyama, T. (2012). *Concept of a tsunami warning buoy system and an acoustic telemetry system for high current area*. Yeosu Conference: The Living Ocean and Coast - Diversity of Resources and Sustainable Activities. Yeosu, South Korea.
- Oñate, E. (1999). *A stabilized finite elements method for incompressible viscous flows using a finite increment calculus formulation*. Barcelona: CIMNE.
- Oñate, E., & Manzano, M. (2000). *Stabilization techniques for finite element analysis of convection-diffusion problems*. Barcelona: CIMNE.
- Oñate, E., García, J., & Idelsohn, S. (1998). *On the stabilisation of numerical solutions of advective-diffusive transport and fluid flow problems*. *Comp. Meth. Appl. Mech. Engng.*, 233-267.
- Oñate, E., García-Espinosa, J., & Idelsohn, S. (2004). *Ship Hydrodynamics*. In *Encyclopedia of computational Mechanics*. John Wiley & Son.
- Pierson, W., Neumann, G., & James, R. (1960). *Observing and Forecasting Ocean waves*. *Hydrographic Office Publication*, 603.
- Song, D., Xue, B., Sun, J., & Tian, C. (2012). *The fixed-point ocean turbulence observation based on submerged buoy*. International Conference on Intelligent Control, Automatic Detection and High-End Equipment. Beijing, China.
- Sundaravadivelu, R., Vara Prasad, K., & Gopu, P. (1987). Analysis of moorings for subsurface buoy system. *The Ocean an International Workplace*, PROC., (pp. 244-247). Halifax, Canada.
- Trask, R., & Weller, R. (2001). Moorings. In J. Steele, *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 1850-1860). Oxford: Academic Press.
- Valle, J., Terceño, M., & Carrillo, E. (2007). *Estudio de incertidumbres y errores sistemáticos en los ensayos en canales de experiencias hidrodinámicas: Un proyecto internacional de I+D+I*. Canal de experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Madrid: Ministerio de defensa.

- Vidal, J., & Tejedor, B. (2004). *Manual para fondeos oceanográficos*. Cádiz.
- Vidal, J., López, O., & Penagos, G. (2011). Study of a mooring line with a SSBO buoy. *Instrumentation viewpoint*.
- Vidal, J., Muriel, C., & de los Santos, M. (2006). Estudio de una línea de fondeo oceanográfico en el Estrecho de Gibraltar. *V Conferencia iberoamericana en sistemas, cibernética e informática*. Orlando, Estados Unidos.
- Von Jouanne, A., Brekken, T., Lettenmaier, T., Amon, E., & Phillips, R. (2012). *A novel Ocean Sentinel instrumentation buoy for wave energy testing*. Power and Energy Society General Meeting. San Diego, United States.
- Walpert, J., Guinasso Jr., N., & Bender, L. (2009). A new buoy for oceanographic and spill response applications. *Marine Tech. for Our Future: Global and Local Challenges*. Biloxi, United States.
- Wilson, W., & Kerut, E. (1982). *The design of drifting buoy systems*. Oceans, 641-648.
- Zambrano, T., MacCready, T., Letourneau, D., Roddier, D., & Cermelli, C. (2006). *Development and testing of a submerged buoy wave power system*. International Offshore and Polar Engineering Conference. San Francisco, United States.
- Zhou, L., Cheng, M., & Hung, K. (2005). *Suppression of fluid force on a square cylinder by flow control*. Journal of Fluids and Structures, 151-167.



La mujer como parte integrante de la Armada Nacional.



Fase de entrenamiento de los cadetes en el simulador de Puente Full Mission.

ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD DE UN UUV

UUV maneuverability study

José María Riola¹
Francisco Jesús Velasco²
Elías Revestido³

Recibido: 11/08/2017

Aceptado: 10/07/2018

Resumen

El objeto de este trabajo es mostrar el estado del arte de las técnicas de control de maniobrabilidad, sus algoritmos correspondientes y los equipos necesarios para poder dotar a los vehículos submarinos no tripulados UUV (*Unmanned Underwater Vehicles*) de unas elevadas capacidades de navegación autónoma. En este sentido, se procede a definir los parámetros necesarios para llevar a cabo el modelado del comportamiento del vehículo como primer paso antes de definir los procedimientos de navegación autónoma para entornos submarinos no estructurados, entendidos como aquellos de los que no se dispone de ninguna información a priori, sólo basados en la información proporcionada por un conjunto de sensores tales como los sistemas inerciales de a bordo, GPS, sistemas de posicionamiento acústico,

sonar, etc. Los ensayos realizados se han llevado a cabo en El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) España.

Palabras clave: UUV, automática, maniobrabilidad, control, algoritmos, CEHIPAR.

Abstract

The aim of this work is to show the state of the art of maneuverability control techniques, their corresponding algorithms and the equipment necessary to provide Unmanned Underwater Vehicles with a high capacity for autonomous navigation. In this sense, the necessary parameters are defined to carry out the modeling of the vehicle behavior as a first step before defining the autonomous navigation procedures for unstructured submarine environments, understood as

¹Universidad Politécnica de Madrid, Ph.D., Ingeniero Naval - josemaria.riola@upm.es

²Universidad de Cantabria, Ph.D., en Ciencias Físicas - velascof@unican.es

³Universidad de Cantabria, Ingeniero Industrial - revestidoe@unican.es

those for which no a priori information is available, based only on the information provided by a set of sensors such as inertial on-board systems, GPS, acoustic positioning systems, sonar, etc. The tests carried out have been carried out in El

Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR), Spain.

Keywords: UUV, automatic, maneuverability, control, algorithms, CEHIPAR.

Introducción

Actualmente, nos podemos encontrar con vehículos submarinos autónomos capaces de trabajar desde aguas poco profundas hasta grandes profundidades cercanas a los 3 kilómetros y están equipados con diferentes cargas útiles de pago y sensores para la captación de imágenes y empleados para llevar a cabo levantamientos batimétricos de precisión, sonar de barrido lateral, sistemas de evasión de obstáculos, entre otros. Es el uso militar el que con más fuerza está tirando de esta tecnología de ámbito naval en los últimos años, donde su integración en los buques de la flota constituirán una nueva generación de operaciones como son el desminado de rutas, apoyo a la sensorización, guerra antisubmarina, guerra electrónica, defensa perimetral o apoyo a fuerzas de operaciones especiales, entre otras. Así, en los últimos años las operaciones combinadas de UUVs con diferentes plataformas, como sus enjambres “swarms” han incidido en el reconocimiento del entorno basado en la información sensorial; el diseño de algoritmos de control de la dinámica del vehículo; la generación de trayectorias y el control de seguimiento de las mismas. Con objeto de desarrollar un sistema de control, la identificación de modelos de maniobra no-lineales es obtenida a partir de ensayos en la mar.

Un problema que presentan estos métodos es que cuando existe ruido en la medición se producen resultados incorrectos en la estimación de los parámetros, de ahí el interés de realizar análisis de regresión lineal y aplicar el método “stepwise” (Klein & Morelli, 2006) en la selección de la estructura del modelo ya que utiliza métricas estadísticas basadas en ensayos de hipótesis anidados para seleccionar la estructura del modelo de maniobrabilidad. Como modelo inicial se puede utilizar el propuesto por (Fossen, 2002). Otro aspecto a destacar son los autopilotos convencionales basados en modelos lineales que parten de la suposición de que las ecuaciones del movimiento pueden ser descritas por ecuaciones linealizadas en torno al punto de equilibrio. También se puede abordar el problema del diseño de autopilotos adaptativos basados en el control en modo deslizante, la linealización por realimentación de estados, la teoría del “backstepping” o la exploración de la estrategia “minimum variance control”.

El autopiloto debe realizar un seguimiento de trayectorias basándose en el seguimiento de “way points” y utilizar la estrategia de guiado “Line of Sight” o desarrollar controladores no lineales multi-variables para la posición y así realizar un seguimiento de una trayectoria prefijada como entrada al sistema, empleando en el diseño los modelos de maniobra no lineales identificados. Por otro lado, es necesario conocer en todo momento la posición y orientación del vehículo, por lo que la navegación y captura de datos nuevos sensores sonar se efectúa con los “doppler sonar”, los girocompases ópticos o unidades de medida inercial. Así, la profundidad, “heading”, “pitch” y “roll” se obtienen mediante sensores inerciales en configuración “strapdown” con medida directa del estado (posición y velocidad). Para el plano horizontal XY se emplean sensores de apoyo como son los transpondedores acústicos o los “doppler sonar” que aportan la posición XYZ con altas frecuencias de refresco.

Este estudio se ha basado en un vehículo con forma de torpedo, con el que han trabajado de forma conjunta la Universidad de Cantabria (UC) y el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) para determinar los parámetros de comportamiento que lo identifiquen.

El vehículo



Figura 1. Fotografía del C'Inspector.

El vehículo tiene una eslora de 1,65 m y un radio de 0,17 m. Su peso es de 35 kg y una velocidad máxima de 6 nudos. La forma de proa es una semiesfera y en popa tiene un cono con cuatro superficies planas de estabilización. Dispone de dos propulsores longitudinales cuyos ejes están separados del eje del cilindro 0.36 m. En la zona central dispone de un propulsor vertical y un orificio de compensación de presiones también vertical. El vehículo es autónomo y el sistema de generación de energía se basa en baterías tipo “Li-poly” (*lithium polymer batteries*) que le proporciona una autonomía aproximada de una hora para una velocidad de 3 nudos o 2 horas a 2 nudos. El propulsor vertical le proporciona una velocidad de 4,2 nudos. Su casco le permite operar hasta 300 m de profundidad, siendo la distancia máxima de operación de 1 Km. En su parte frontal monta una cámara de vídeo y dos luces halógenas. Además, dispone de un sonar de navegación situado en la proa y de un sonar de barrido lateral. El sistema propulsivo está compuesto por hélices accionadas por motores eléctricos. Dos hélices están situadas a ambos lados en el centro para avance y guiñada. Una tercera hélice perpendicular a las otras da la propulsión vertical del control de profundidad. La cabezada se consigue desplazando masas situadas en el interior de vehículo.

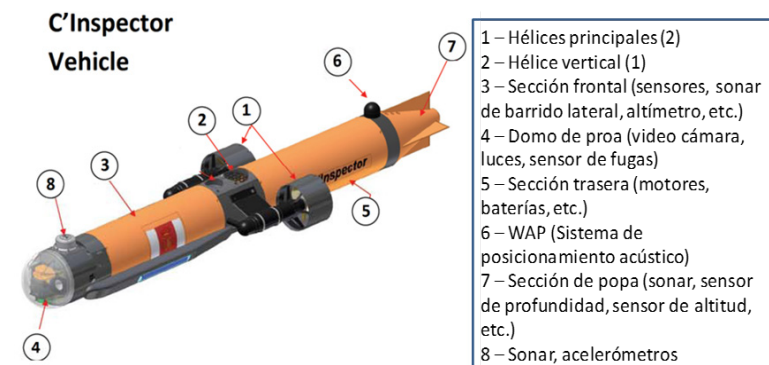


Figura 2. Configuración del vehículo.

A continuación se muestra un resumen de los parámetros que definen el movimiento del vehículo y que se tratan de modelizar y los sensores que incorpora para su caracterización.

Tabla 1.
Parámetros y sensores

Símbolo	Medida	Sensor
Ψ, θ, Φ	Rumbo, Cabezada, Balance	Acelerómetros
z	Profundidad	Sensor de presión
N Br y Er	RPM hélices babor y estribor	Tacómetros
Prop. Vert.	Propulsión vertical	Tacómetro
Pos. M	Posición de la masa	Potenciómetro

Particularmente, el sonar de barrido lateral monohaz tiene como principales características la frecuencia de trabajo de 675 kHz, un ancho de haz horizontal (-3 dB) de 0.5° y de haz vertical (-3 dB) de 30°. La comunicación con el vehículo se realiza a través de un cable de fibra óptica, que lleva los datos de forma bidireccional, de esta forma, se da al operador la capacidad de controlar de forma remota el vehículo a través del “human machine interface”. Para obtener la posición del vehículo, se dispone de un sistema “wideband acoustic positioning” que incluye un GPS y una antena con tres hidrófonos.

Pruebas de Mar

Las pruebas de mar propuestas por la International Towing Tank Conference (ITTC, 1975) y que se resumen en el artículo (López et al, 2004) comprenden entre otras las siguientes:

Curva de evolución: para calcular el radio de curvatura del vehículo y el comportamiento de la propulsión ante maniobras.

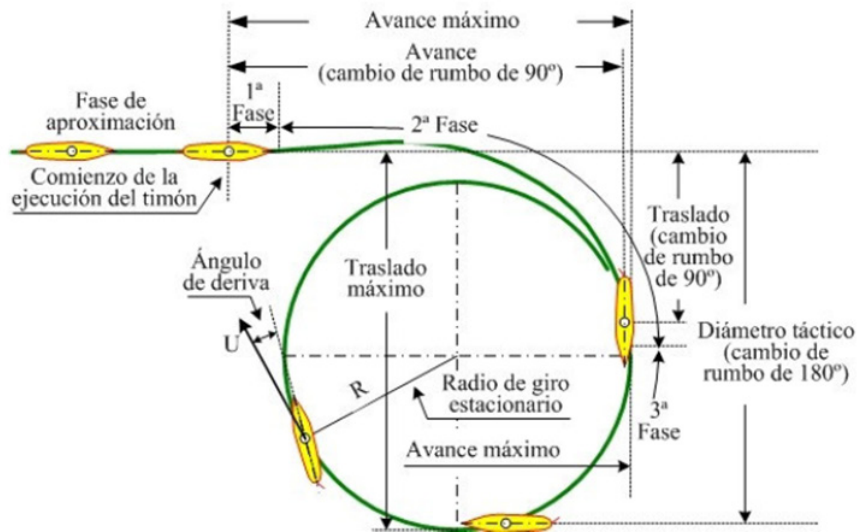


Figura 3. Curva de evolución.

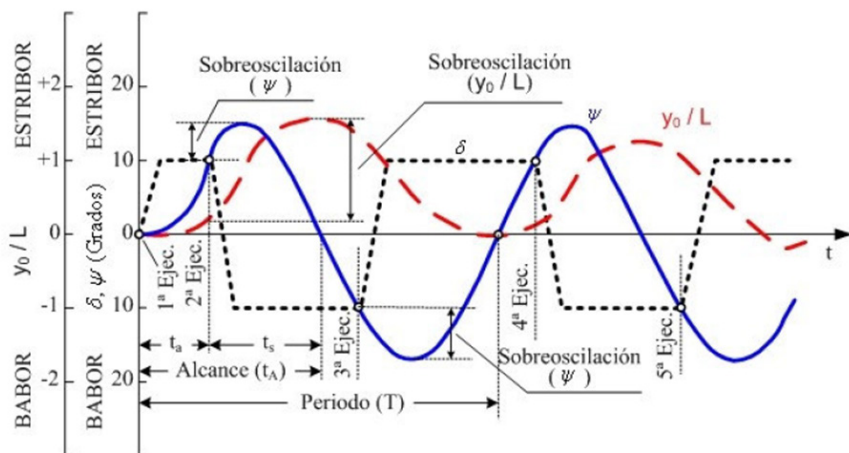


Figura 4. Maniobra de zig-zag.

Modelo Matemático

Debido a que el UUV se mueve en seis grados de libertad, para describir su movimiento son necesarias tres coordenadas que definan la traslación y otras tres para la orientación. Así, para estudiar el movimiento se utilizan dos sistemas de coordenadas, uno fijo en el propio vehículo para definir sus movimientos de traslación y rotación, y otro inercial de referencia para describir su posición y orientación. La ecuación no lineal del movimiento se puede expresar en forma vectorial (Fossen, 2002):

$$M \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

$$y = \eta + v \quad (2)$$

$$\dot{\eta} = R(\eta)v \quad (3)$$

$$\tau = [\tau_1, \tau_2]^T \quad (4)$$

En la que $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$ es el vector de la posición con respecto al sistema de coordenadas fijado en tierra, $v = [u, v, w, p, q, r]^T$ es el vector de las velocidades lineales y angulares, τ es el vector de las fuerzas y momentos (de control), donde $\tau_1 = [X, Y, Z]^T$ es el vector generalizado de las fuerzas externas con relación al eje de coordenadas fijado al vehículo y $\tau_2 = [K, M, N]^T$ el vector de los momentos de las fuerzas externas que actúan en el vehículo, v representa el ruido de medición y w las perturbaciones ambientales. M es la matriz de masas e inercias añadidas, $C(v)v$ la matriz de las fuerzas de coriolis, $g(\eta)$ la matriz de las fuerzas de restauración y $R(\eta)$ la matriz de rotación. Las fuerzas y momentos de amortiguamiento hidrodinámico se suponen que son una combinación del amortiguamiento lineal y no lineal de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$D(v)v = D_l v + D_{nl}(v)v \quad (5)$$

Para controlar el UUV se emplean tres propulsores, dos horizontales en su centro para controlar la velocidad y el ángulo de giro, es decir, fuerzas de avance y momentos de guiñada y un tercero vertical que controla su profundidad. El cabeceo se consigue moviendo unas masas. De esta forma el empuje se expresa como:

$$T = \rho D_h^4 K_T (J_0) n_r |n_r| (1 - t) \quad (6)$$

En la que ρ representa la densidad del agua, D_h el diámetro del propulsor, n las revoluciones, t es el factor de reducción del empuje con valores de 0.05 a 0.2 y K_T es el coeficiente adimensional del empuje:

$$K_T = \alpha_1 J_0 + \alpha_2 \quad (7)$$

Donde J_0 representa el radio de avance que está dado por:

$$J_0 = u_a / n_r D \quad (8)$$

Siendo u_a la relación entre la velocidad del agua y la del vehículo en régimen permanente:

$$u_a = (1 - w)u \quad (9)$$

Donde w cuenta con unos valores entre 0.1 y 0.4. Al sustituir el valor de J_0 y K_T :

$$T = \rho D_h^4 |n_r| \left(\alpha_1 u_a / n_r D + n_r \alpha_2 \right) (1 - t) \quad (10)$$

Así, las ecuaciones de la fuerza de empuje avante y momento de guiñada se expresan por la ecuación:

$$\begin{bmatrix} \tau_{X,th} \\ \tau_{N,th} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ d_p & -d_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_p \\ T_s \end{bmatrix} \quad (11)$$

Donde $\tau(X,th)$ representa la fuerza de control de avance, $\tau(N,th)$ el momento de guiñada, d_p la distancia del propulsor al centro del vehículo, T_p el empuje del propulsor de estribor y T_s el de babor. Además, si el ángulo de balance $\Phi \neq 0$, se produce un momento de cabeceo:

$$\tau_{M,th} = -(T_p - T_s) d_p \sin(\phi) \quad (12)$$

El control del cabeceo se consigue mediante el movimiento de unas masas situadas en el interior de vehículo en la mitad de proa. El desplazamiento de dichas masas provoca un momento de cabezada:

$$\tau_{M,mL} = g(c_G(d_{mL}(t))) \quad (13)$$

Donde, d_{mL} es la distancia desde el valor inicial del centro de gravedad x_G de avance a la masa y mL la masa del actuador. Con ello, las fuerzas de control τ generadas por los propulsores y el actuador de cabezada:

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_x \\ 0 \\ \tau_z \\ 0 \\ \tau_M \\ \tau_N \end{bmatrix} \quad (14)$$

Estimación de los Parámetros Dinámicos

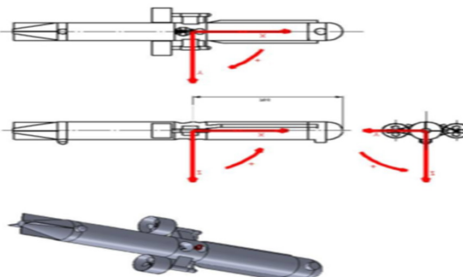


Figura 5. Esquema del montaje y sistema de coordenadas.

Este montaje dispone de una mesa de medida, sobre la cual van montados 2 cilindros que sujetan al vehículo, actuados por motores eléctricos. La mesa de medida está instalada en un carro remolcador que se desplaza a lo largo del canal de aguas tranquilas. La matriz realizada consistió en ensayos de remolque a distintas velocidades, deriva, pitch estático, roll dinámico, pitch dinámico, yaw dinámico, aceleración, frenada, sway dinámico y heave dinámico. Cada ensayo se ha realizado con 2 ó 3 amplitudes, así como ensayos adicionales para caracterizar los propulsores. Además, se han realizado las pruebas necesarias para determinar los momentos de inercia, el centro de gravedad y el centro de flotación del vehículo.

Como ejemplo de los algoritmos obtenidos, el ensayo de resistencia y aceleración longitudinal consistió en arrastrar el UUV en posición adrizada a velocidades entre 0.5 y 2.0 m/s, midiendo además la masa añadida durante las fases de aceleración y frenada. Se ha supuesto el siguiente modelo para la fuerza X :

$$X = X_0 + X_u u + X_{uu} u^2 + (-m + X_{\dot{u}}) \dot{u} \quad (15)$$

Dónde X_0 es la resistencia a la velocidad nominal u_0 (1.5 m/s) y $u = U - U_0$ siendo U la velocidad real en cada instante. Los parámetros se ajustaron a los resultados por mínimos cuadrados, obteniéndose los valores:

$$X_0 = -39.575 \text{ N} \quad \wedge \quad X_u = -54.564 \text{ Kg / s} \quad \wedge \quad X_{uu} = -18.787 \text{ Kg / m} \quad \wedge \quad X_{\dot{u}} = -30.673 \text{ Kg}$$

Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una caracterización del modelado de vehículos submarinos no tripulados a través de un programa de ensayos ambicioso que ha hecho posible estimar los coeficientes hidrodinámicos de un modelo de maniobra no lineal de 6 grados de libertad de un UUV. Los algoritmos obtenidos y desarrollos diseñados se podrán incorporar a los equipos disponibles (UUVs) para llevar a cabo pruebas y experiencias tanto en entornos controlados como en salidas al entorno marino.

El futuro próximo nos conduce al aumento en el empleo de estas tecnologías, mediante el aumento de la automatización de las plataformas navales, hasta hacerlas no tripuladas; la mejora de sensores y procesadores, para incrementar las capacidades ISTAR y el aumento de la autonomía y precisión de los sistemas.

Referencias

- 14th ITTC. (1975) Discussions and Recommendations for an ITTC 1975 Maneuvering Trial Code. *14th International Towing Tank conference*, Ottawa, September 1975, p 348-365.
- Fossen, T. I. (2002). *Marine control systems: Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*. Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway.
- Klein, V. and Morelli, E. A. (2006). *Aircraft system identification: Theory and practice*. OR: Book News, Inc. Portland.
- López, E., Velasco, F., Moyano, E. and Rueda, T. (2004). *Full Scale Manoeuvring Trials Simulation*. Journal of Maritime Research, Vol. I. No. 3, pp. 37-50.
- Riola, J. (2011). *La política de I+D en Defensa: Metas y retos tecnológicos. Las ecnologías de Doble Uso: La Investigación y el Desarrollo al Servicio de la Sociedad Civil y Militar*. Curso de Verano y I Jornadas. Centro Universitario de la Defensa (CUD) de San Javier, 13-22, Murcia.
- Riola, J. y Díaz, J. (2009). Aplicación de los USV al rastreo de minas.- Proyecto SIRAMICOR.



Participación de los Cadetes en actividades náuticas como parte de la formación integral.



Formación del Batallón de Cadetes para ceremonia.

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA ISLA CAYO DE BAJO NUEVO CON BASE EN IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS

Geomorphological Analysis of the Bajo Nuevo Bank Based on Remote Sensing Images

Juan Ricardo Ortega Vega¹

Recibido: 02/11/2017

Aceptado: 12/08/2018

Resumen

El proyecto buscó explicar la conformación geomorfológica de la Isla Cayo de Bajo Nuevo, perteneciente al complejo de Islas Cayos del Norte en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. Se realizó un análisis geomorfológico de la isla, basado en imágenes de sensores remotos, como complemento al estudio desarrollado por la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR). Principalmente se obtuvo la delimitación del arrecife de coral que bordea la isla y que constituye un elemento técnico importante para Colombia, con el cual se puede solicitar ante la Corte Internacional de Justicia, la modificación en la delimitación del mar territorial, zona contigua y zona económica exclusiva de la Isla Cayo de Bajo Nuevo. Además de obtener cartografía digital geomorfológica detallada a escala, brinda argumentos técnicos para la defensa ante la Corte Internacional de Justicia en conflictos

actuales o potenciales por territorio marítimo.

Palabras clave: análisis geomorfológico, territorio marítimo, imágenes de sensores remotos.

Abstract

The project sought to explain the geomorphological conformation of The Bajo Nuevo Bank, belonging to the Northern Key Islands complex in the Department of San Andrés, Providencia and Santa Catalina Archipelago, Colombia. A geomorphological analysis of the island was carried out, based on remote sensing images, as a complement to the study carried out by (DIMAR) the Colombian Maritime Authority. Mainly was obtained the delimitation of the coral reef that borders the island and that constitutes an important technical element for Colombia, with which it is possible to request before the International Court of Justice, the modification in

¹Oceanógrafo Físico. Jefe de Departamento Buque Oceanográfico ARC Malpelo Armada Nacional - juan.ortegon@armada.mil.co

the delimitation of the territorial sea, contiguous zone and exclusive economic zone of The Bajo Nuevo Bank. In addition to obtaining detailed geomorphological digital cartography on a scale, it provides technical arguments for the defense

in the presence of the International Court of Justice in current or potential conflicts over maritime territory.

Keywords: geomorphological analysis, maritime territory, remote sensing images.

Introducción

La delimitación de los territorios insulares en el Mar Caribe colombiano aún no ha sido determinada en forma definitiva, debido en parte a la confianza del Gobierno Nacional en el tratado Esguerra-Bárceñas firmado en 1928 (Pantojas, 1928, como se cita en Mantilla, 2009), en el cual Colombia y Nicaragua aceptaron y establecieron el límite fronterizo marítimo entre ambos países. El 6 de diciembre del año 2001, Nicaragua desconoció los títulos de soberanía colombianos firmados en este tratado y presentó una demanda ante la Corte Internacional de Justicia de la Haya. Las consecuencias se reflejaron en el fallo emitido por la Corte el 19 de noviembre de 2012, donde decidió que la línea de la frontera marítima que delimita la plataforma continental y las zonas económicas exclusivas de la República de Nicaragua y de la República de Colombia, se guiará por líneas geodésicas, conectando los puntos con las coordenadas que se estipularon en el fallo hasta que alcance el límite de 200 millas náuticas desde las líneas de base desde las cuales se mide el mar territorial de Nicaragua.

La realidad es que en este aspecto, Colombia requiere de argumentos técnicos debidamente sustentados tales como información actualizada sobre las características geomorfológicas y oceanográficas de detalle, fundamentales para sustentar ante la Corte Internacional de Justicia el carácter de las Islas Cayos del Norte, de acuerdo con los conceptos establecidos en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Convemar) y los lineamientos técnicos de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Mediante esta información, Colombia pretende demostrar sus límites marítimos reales, con el fin de revertir el mencionado fallo. Por tal motivo, la Dirección General Marítima (DIMAR), a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), se encuentra recopilando la información oceanográfica y de sensores remotos para establecer los puntos y líneas de base, con el objeto de sustentar ante la Corte Internacional de Justicia (CIJ) el carácter de islas de los Cayos del Norte; de aquí que el objetivo de la presente investigación fue realizar el análisis geomorfológico de la Isla Cayo de Bajo Nuevo con base en datos e imágenes de sensores remotos como complemento al estudio desarrollado por la DIMAR para la determinación del máximo y mínimo nivel del mar producido por marea astronómica en las Islas Cayos del Norte.

Método

Dado el nivel de detalle y de exactitud posicional de los sensores que se convierten en herramientas tecnológicas, así como también la necesidad de un estudio geomorfológico que permitiera la identificación de las islas desde el punto de vista de sus características físicas, se implementó la utilización de métodos de teledetección, enfocados hacia la realización de análisis geomorfológicos en las islas del Caribe colombiano; el trabajo comprendió tres actividades principales: recopilación de información; procesamiento de la información y trabajo de campo. La primera de estas se hizo a través de fuentes de información primaria y secundaria para el análisis geomorfológico de la Isla Cayo de Bajo Nuevo; entre ellas Landsat 8, batimetría y ortofotografías, provenientes del Instituto Geográfico Agustín

Codazzi (IGAC) y de la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR-CIOH).

El tratamiento de imágenes se ejecutó utilizando el software PCI-Geomática; en los datos de ortofotografías se modificaron las tres bandas, adaptando la rampa de colores, dado que esta fue la manera más efectiva para identificar la geomorfología de la Isla Cayo de Bajo Nuevo. En los datos de batimetría se trabajó la profundidad con intervalos de 1 metros hasta llegar a una profundidad de 30 metros, para una mayor discriminación, alternando la rampa de colores. No se le realizó corrección atmosférica y corrección de columna de agua a las imágenes de sensores remotos. Para el modelo batimétrico, el IGAC mediante el procesamiento de la imagen Landsat ETM+ a nivel 2 (Ortorectificada) - path/row: 014/, que data del 26 de julio 2001, realizó la geodatabase Batimetría 2014; la cual está compuesta por isobatas de las Islas San Andrés, Providencia, de las Islas Cayos de Roncador, Serrana, Serranilla, Quitasueño, Albuquerque, Providencia, Bajo Nuevo y las del Este Sudeste, obtenidas a través de imágenes de los sensores remotos IKONOS y Landsat), para determinar la profundidad de la zona sublitoral de las áreas mencionadas (Ariza, Roa, & Ramirez, 2014).

La geodatabase Batimetría 2014 fue cargada en ArcGIS 10.1 para su visualización, seleccionando el área del atolón Bajo nuevo, posteriormente se procedió a realizar el Modelo Batimétrico Tridimensional (MBT). Con la superposición de las imágenes disponibles, se procedió a la verificación de la resolución espacial y radiométrica de las imágenes disponibles, el color, textura, formas, patrón, tono o color, textura y asociación de las unidades geomorfológicas, batimetría y dirección del viento barlovento y sotavento. De forma simultánea se efectuó el análisis del terreno, con base en el modelo digital del terreno obtenido, a través del software ArcGIS, para generar vistas en perspectiva, mapa de pendientes del terreno, y formas de clasificación y despliegue de rangos de altura del terreno del atolón Roncador. Se generaron archivos shapefile de geometría polígono, con las delimitaciones de las geoformas, acuerdo clasificaciones según Darwin (1842); Wiens (1962) y Hopley (2011) y se le asignaron atributos para la identificación de las geoformas presentes en cada una de las clasificaciones.

Finalmente, para el trabajo de campo, se realizó en el área de estudio, un levantamiento hidrográfico a bordo del Buque Oceanográfico ARC Malpelo, donde se logró recolectar información batimétrica en 1138 millas náuticas, con la ayuda de la ecosonda multi haz Kongsberg EM-302, y datos meteorológicos con la estación que el buque tiene a bordo, durante 15 días. La información espacial (fotografías, imágenes, mapas, capa de unidades geomorfológicas, modelos digitales del terreno, datos de campo y la cartografía geomorfológica), se organizó en una sola base de datos geográfica (Geodatabase- Archivo .gdb), con el fin de facilitar su organización digital, acceso y consulta. Se generó la cartografía geomorfológica del atolón Bajo Nuevo en escala 1:30.000 de las clasificaciones según Darwin, Wiens y Hopley (Anexos A, B y C), y la creación de un paquete de mapas (.mpk), los cuales permitirán contar con la cartografía y la información digital para realizar análisis, correcciones o mejoras de los productos elaborados. Los datos de importancia para la trazabilidad de la cartografía

geomorfológica, fueron documentados a través de una plantilla de metadatos en ArcGIS 10.1.

Resultados

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Darwin (1842)

Para esta clasificación se tomaron como insumos la imagen Landsat 8 y el MBT. Con el tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, se realizó un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo obteniendo como resultado datos batimétricos donde se logró demostrar que el tratamiento de imagen realizada con landast 8 y los datos batimétricos concuerdan para la clasificación según Darwin (figura 1 y 2).

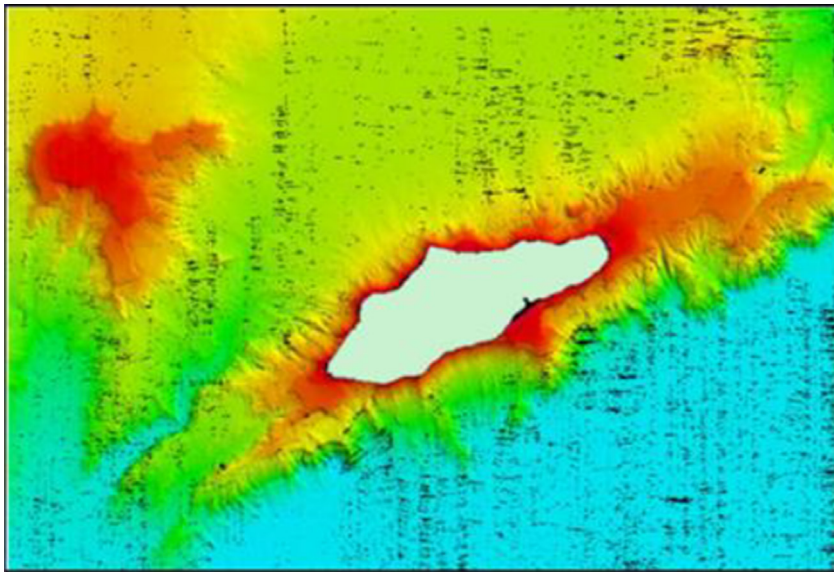


Figura 1. Atolón Bajo Nuevo de acuerdo con clasificación según Darwin (1842) (Centro de investigación oceanográfica e hidrográfica).

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.



Figura 2. Atolón Bajo Nuevo, de acuerdo con la clasificación según Darwin (1842).
Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Wiens (1962)

Se tomaron como insumos las aerofotografías digitales, las imágenes Landsat 8, el MDT y el MBT, realizándoles el tratamiento digital mencionado, con el fin de delimitar las geoformas presentes en el atolón Bajo Nuevo. "Outer reef" (arrecife exterior): Se utilizó la imagen Landsat. La delimitación se realizó desde el inicio del atolón de arrecife hasta el frente arrecifal, donde la energía de la ola rompe contra arrecife y genera espuma blanca. "Reef rim" (arrecife de borde): la delimitación se realizó desde el frente arrecifal, basándose en las aerofotografías, la cual tiene mayor resolución espacial, permitiendo observar de mejor forma la franja blanca y café, que es la zona donde hay mayor pérdida de energía del oleaje. El MBT se utilizó para delimitar la pendiente que presenta un grado mayor de inclinación, que es allí donde se depositan residuos calcáreos y hay presencia de crestas algales. Lagoon (laguna): Se realizó con base en la batimetría, visualizando el mayor grado de inclinación y realizando perfiles para corroborar lo observado; además se complementó con la superposición de las aerofotografías digitales con el MBT (figura 4).

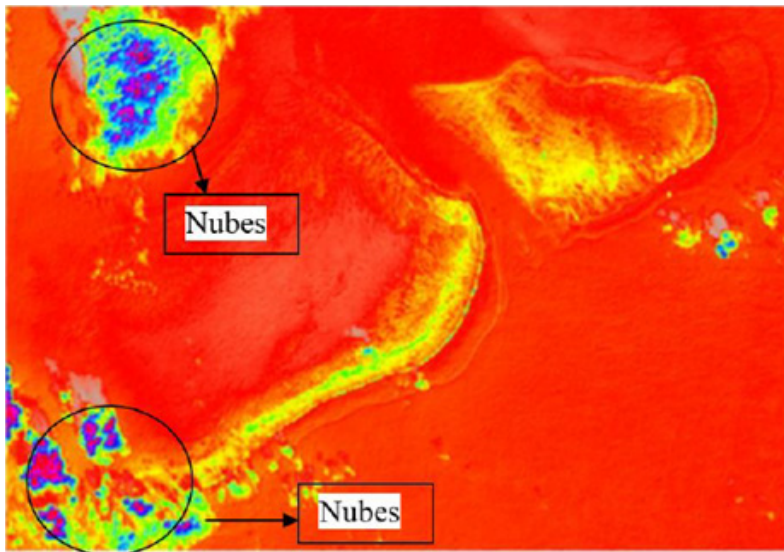


Figura 3. Imagen Landsat 8 área general Bajo Nuevo con tratamiento digital en banda 1, donde se resalta la formación geomorfológica coralina en colores de un tono naranja a un tono amarillo y verde claro.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.



Figura 4. Clasificación de las unidades geomorfológicas en el atolón Bajo Nuevo, según el sistema de clasificación Wiens (1962).

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Hopley (2011)

"Fore reef slope" (pendiente arrecifal frontal): la delimitación se realizó de la misma forma que la delimitación del *"Outer reef"* (arrecife exterior); de acuerdo a la clasificación de Wiens (1962); teniendo en cuenta que corresponde a la misma geoforma, pero en este caso recibe otro termino. *"Reef crest"* (cresta arrecifal): la delimitación se realizó de la misma forma que delimitación del *"reef rim"* (arrecife de borde); pero en este caso, no se delimita hasta la pendiente de mayor grado de inclinación, sino hasta donde se observa la espuma blanca, producto de la rotura del oleaje. *"Algal crest"* (Cresta algal): la delimitación se realizó desde el término del *"crest reef"*; donde la energía es mínima y domina los céspedes algales; hasta donde se depositan los sedimentos calcáreos (ditrital zone), donde hay un cambio significativo de un tono café a un tono azul claro. *"Ditrital zone"* (zona detritica): la delimitación se realizó a partir de observar los cambios de color (Figura 5).

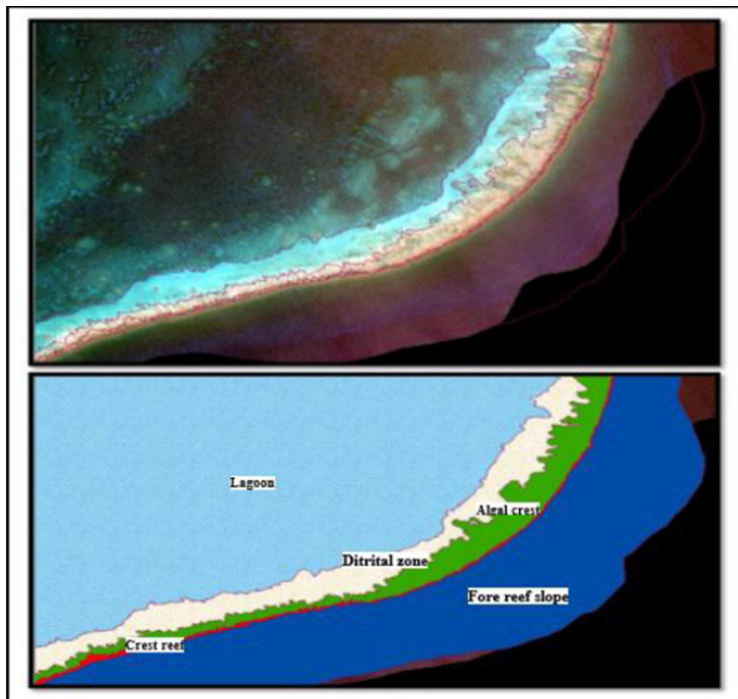


Figura 5. Delimitación del reef crest (cresta arrecifal) y algae crest (cresta algal), con base en la aerofotografía digital, obteniendo así los polígonos rojo y verde respectivamente.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

"Lagoon" (laguna): Se delimitó de igual manera como se realizó en la clasificación según Wiens (1962). "Patch reefs" (parches de arrecife): Se identificaron y delimitaron los parches de arrecife, teniendo en cuenta que estas son pequeñas plataformas creadas por el crecimiento de coral dentro una laguna. Identificando cada una de las unidades geomorfológicas de acuerdo con la clasificación según Hopley (2011), se obtuvo el mapa cartográfico con las unidades geomorfológicas presentes en el atolón Bajo Nuevo (figura 6).



Figura 6. Clasificación según Hopley (2011) en el atolón Bajo Nuevo.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

Finalmente, con la digitalización de las unidades geomorfológicas y la asignación de atributos a los shapefiles, se obtuvo la dimensión del área y perímetro de cada unidad geomorfológica en cada una de las tres clasificaciones (tablas 1 al 3).

Tabla 1.

Clasificación de Darwin: perímetro y área.

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro (m)	Área (m ²)
Bajo Nuevo	Atolón	8,564	222,758

Tabla 2.*Clasificación de Wiens: perímetro y área.*

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro	Área (m²)
Bajo Nuevo	Lagunas	2,514	21,302
	Zona de arrecife posterior	4,851	12,171
	Cresta arrecifal	7,322	31,191

Tabla 3.*Clasificación de Hopley: perímetro y área.*

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro	Área (m²)
Bajo Nuevo	Lagunas	2,514	111,388
	Planicie arrecifal extrema	2,497	2,992
	Cresta algal	1,839	7,236
	Zona de arrecife posterior	1,891	7,088
	Parche arrecifal	46,177	41,436
	Cresta arrecifal	46,177	14,656
	Planicie arrecifal interna	2,497	6,244

Conclusiones

Con los diferentes datos obtenidos en la zona de Bajo Nuevo, si bien se lograron los objetivos, se concluyó que estas zonas apartadas del continente necesitan monitoreo permanente de datos oceanográficos y atmosféricos, con tecnología de punta, para conocer en tiempo real fenómenos y cambios presentados en el área.

Se compararon los resultados obtenidos en la presente investigación con los datos trabajados por parte del Invemar y se evidenció su gran similitud. Sin embargo, el nivel de detalle del presente estudio es mayor en cuanto a las resoluciones espaciales de las fuentes utilizadas.

El establecimiento de las unidades geomorfológicas presentes en atolón Bajo Nuevo, permitió la generación de la cartografía digital geomorfológica de detalle

(1:30.000) de cada una de las clasificaciones mencionadas; sirviendo como complemento para la determinación del máximo y mínimo nivel del mar en las Islas Cayos del Norte, tema de interés estratégico para el país en el marco del litigio con Nicaragua ante la CIJ.

Referencias

- Ariza, A., Roa, O. y Ramírez, M. (2014). *Procesamiento digital de imágenes aplicado a manejo de zonas costeras e insulares (fase I)*. (Informe técnico final). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Darwin, C. (1842). *The structure and distribution of coral reefs*. Londres: Smith, Elder and Co, 65, Cornhill.
- Hopley, D. (2011). *Enciclopedia of Modern Coral Reefs. Structure, Form and Process*. Netherlands: Springer.
- Mantilla, S. (Ed.). (2009). *La disputa colombo-nicaragüense por San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Memorias del Foro Internacional "Fronteras en el Caribe"*. San Andrés: Universidad Nacional de Colombia (Sede Caribe), Instituto de Estudios Caribeños.



Llegada de Cadetes abordo del ARC "Gloria" por termino de crucero de entrenamiento.

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA MAREA METEOROLÓGICA EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

Numerical Modeling of the Meteorological Tide in the Colombian Pacific

Marco Cruz Bedoya¹
Jahir Andrés Robledo Leal²

Recibido: 19/07/2017

Aceptado: 01/08/2018

Resumen

El propósito de este trabajo es determinar la dinámica de la marea meteorológica en las áreas costeras de Bahía Solano, Buenaventura y Tumaco en el pacífico colombiano mediante la simulación numérica en una serie temporal de 20 años (1991-2010), a través de la implementación de una base de datos con campos de viento, presión, batimetría y datos meteorológicos que, se utilizaron como datos de entrada para el modelo H2D, poniendo en ejecución los conocimientos adquiridos durante el curso de complementación profesional y soportándose en herramientas para el análisis gráfico de contraste y estadístico para determinar el coeficiente de arrastre y de este modo, poder calibrar el modelo. Como resultado de la modelación se obtuvo regímenes medios y extremos de la marea meteorológica, lo que permitió evaluar su comportamiento y afectación sobre las variaciones del nivel del mar,

generando una metodología para la obtención de la marea meteorológica en cualquier punto del pacífico colombiano.

Palabras Clave: marea meteorológica, marea astronómica, simulación numérica, modelo hidrodinámico (H2D).

Abstract

The purpose of this work is to determine the dynamics of the meteorological tide in the coastal areas of Bahia Solano, Buenaventura and Tumaco in the Colombian Pacific by numerical simulation in a time series of 20 years (1991-2010), through the implementation of a database with wind fields and pressure, bathymetry and meteorological data which were used as input data for the H2D model, implementing the knowledge acquired during the professional completion course and relying on graphical contrast analysis tools and statistical analysis to determine the drag coefficient and calibrate the

¹Oceanógrafo Físico. Escuela Naval Almirante Padilla, Cartagena de Indias - Marco.cruz@armada.mil.co

²Oceanógrafo Físico. Escuela Naval Almirante Padilla, Cartagena de Indias - Jahir.robledo@armada.mil.co

model. As a result of the modeling we obtained average and extreme regimes of the meteorological tide, which allowed us to evaluate its behavior and affectation on sea level variations, generating a methodology to obtain the meteorological

tide at any point in the Colombian Pacific.

Keywords: meteorological tide, astronomical tide, numerical simulation, HSD hydrodynamic model.

Introducción

El evidente cambio climático mundial y sus consecuencias, han llevado a la comunidad científica a debatir diferentes teorías de causa y efecto; por un lado, tenemos las teorías oficiales del calentamiento global, que aseguran que el nivel del mar está subiendo alarmantemente o subirá de forma catastrófica en los próximos años, mientras que, por otro, están los que niegan la existencia de una aceleración significativa en el aumento del nivel del mar (Wenzel & Schröter, 2010).

Como vemos, ya sea para sostener una u otra teoría, el punto de partida es el estudio y análisis de las variaciones del nivel del mar, para que de este modo, sea posible validar estos datos y documentarlos con el fin de elaborar predicciones de marea.

No obstante, incluso con las predicciones de marea más cuidadosamente estudiadas, los niveles observados son diferentes a los que predicen las tablas de las mismas; la causa de esto es que existen cambios que se deben a los efectos del clima; estos cambios en el nivel del mar se deben a la marea meteorológica, que podemos definir como la oscilación del nivel del mar debido a la acción conjunta de la presión atmosférica y el arrastre del viento.

Es muy importante establecer la magnitud y dinámica de la marea meteorológica, ya que en mayor o menor medida tiene efecto sobre los cambios en el nivel del mar; la magnitud de su influencia depende del lugar o instante específico en el que se presentan los efectos del viento y presión, llegando en algunos casos a ser de mayor importancia y con valores superiores a la marea astronómica (Silva Rodríguez & Orejarena Rondón, 2009); especialmente durante el sobrevenir de fenómenos climatológicos extremos como las tormentas tropicales y los huracanes.

La marea meteorológica se puede obtener a partir de mediciones reales mediante el análisis del residuo meteorológico de la serie del nivel del mar medido por los mareógrafos. Se debe mencionar que, hay una falta de mareógrafos en el área de estudio seleccionada, que correspondiente al litoral Pacífico colombiano (Buenaventura, Tumaco y Bahía Solano). De esta manera, teniendo en cuenta que no es posible extrapolar o asimilar los datos de marea meteorológica obtenidos de algún mareógrafo al resto del litoral, puesto que las condiciones climáticas a lo largo este son muy variables, se hace necesario recurrir a otros métodos, siendo la mejor opción, una simulación numérica que permita hacer aproximaciones para obtener esta variable.

El propósito del estudio consiste en obtener datos de los campos de viento y presión de los últimos veinte años y a partir de estos simular numéricamente las variaciones del nivel del mar, con respecto a la marea meteorológica, utilizando el Modelo Hidrodinámico Bidimensional (H2D) calibrado, con el fin de analizar su dinámica e influencia en las principales costas del litoral Pacífico Colombiano.

Método

Procesamiento y configuración de los datos de entrada

Datos mareográficos

Los datos fueron recolectados de los mareógrafos ubicados en Balboa (Panamá) y Tumaco (Colombia), que fueron obtenidos de la University of Hawaii Sea Level Center UHSLC, (fuente: University of Hawaii Sea Level Center-1997. <http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhsllc/>). Estos datos se emplearon para realizar la calibración de modelo.

Para la calibración se analizaron todos los datos disponibles de ambos mareógrafos, pero se escogieron los 3 años donde la información tenía un mejor calidad y cobertura temporal, siendo los años de 1990, 1993 y 1996 del mareógrafo de Tumaco.

Datos de viento y presión

Se empleó información proveniente del proyecto “Re-análisis” de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA). Los archivos utilizados se encuentran en formato NETCDF y han sido simulados en series de tiempo desde el año 1948 para la superficie terrestre; En ellos se encuentra información de campos meteorológicos de viento (U y V) y presión atmosférica, comprendida de 4 tomas de datos diarias (cada seis horas), con una cobertura que se encuentra espaciada cada 2.5°.

Batimetría

Se determinó el área geográfica, que para nuestro caso es todo el Pacífico Colombiano; en esta área se generó una malla general de cálculo entre las latitudes 1° N – 9° N y longitudes 77° W – 82° W, separadas entre celdas de 0.05°.

La batimetría usada en el presente trabajo de grado esta soportada por la información que suministra la National Geothermal Data System (NGDS), la cual recopila los documentos y base de datos de estudios realizados a lo largo de la historia, almacenando datos batimétricos generados por ecosondas multihaz, sondeos hidrográficos y estimaciones de altimetría por satélite. Esta información se encuentra en las Cartas Batimétricas Generales de los Océanos (GEBCO).

Calibración del Modelo

Antes de modelar los veinte años de marea meteorológica para cada uno de los puertos, debemos calibrar el modelo hidrodinámico bidimensional H2D. Para lograr esto, cuando se requiere modelar la marea meteorológica, se establece como parámetro el coeficiente de arrastre del viento (C_a) de la zona de estudio, ya que este parámetro establece la relación del efecto de tensión del viento sobre la superficie del océano.

Determinación del coeficiente de arrastre

Teniendo en cuenta que la determinación del coeficiente de arrastre (C_a) se hará mediante ensayos de prueba y error con varias corridas del modelo, lo primero que se debe establecer son los datos reales y conocidos con los cuales se van a comparar los resultados del modelo; para esto, se descargó de la página de “University of Hawaii Sea Level Center” los datos de nivel del mar de los mareógrafos de Tumaco (Colombia) y Balboa (Panamá). Los datos descargados son los comprendidos entre 1991 hasta 2010; posteriormente se crea una rutina en Matlab con la que se analizaron todos estos años y se escogen las series reales de mejor calidad y cobertura temporal, siendo las de los años 1990, 1993 y 1996 del mareógrafo de Tumaco (Figura 18).

Con los datos del nivel del mar escogidos (1990, 1993 y 1996) se realizó un análisis armónico mediante la herramienta de Matlab “T_tide”, que efectúa la descomposición de los componentes armónicos de la onda de marea, cuyos períodos están plenamente establecidos, ya que coinciden con los períodos de algunos movimientos astronómicos; Así con esto, se obtiene la marea astronómica; posteriormente se resta esta marea astronómica a la serie de nivel del mar original para hallar el residuo o marea meteorológica real.

Para las corridas del modelo (H2D) con diferentes coeficientes de arrastre, se determinó un coeficiente de arrastre de 0,021 como punto de partida de la bibliografía existente. Este valor de referencia se obtuvo de la bibliografía existente, principalmente del trabajo denominado “Simulación numérica de marea meteorológica en el Mar Caribe colombiano” (Silva Rodríguez & Orejarena Rondón, 2009), donde establecen este valor como coeficiente de arrastre para el Caribe colombiano; las simulaciones se realizan con los campos de viento y presión correspondientes a los años de 1990, 1993 y 1996 variando el coeficiente de arrastre desde 0,021 hasta 0,036. Con esto se logró realizar iteraciones con la simulación, cambiando el coeficiente de arrastre del viento hasta obtener una amplitud de marea meteorológica modelada muy similar a la de la gráfica real; los resultados gráficos más representativos de este proceso fueron los siguientes:

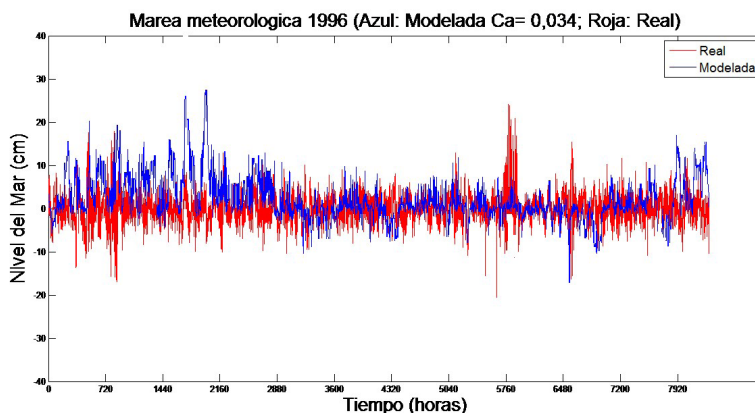


Figura 1. Marea meteorológica real vs. Marea meteorológica modelada con H2D con $Ca=0,034$ (Año 1996).

Fuente: Propia; Matlab

Finalmente, después de analizadas las gráficas comparativas de las series modeladas que arrojó el (H2D) con diferentes coeficientes de arrastre, contra las mareas meteorológicas reales de cada año seleccionado, se logró determinar gráficamente que el coeficiente de arrastre que más ajusta es 0,034; no obstante, con el fin de soportar este análisis gráfico se realizó un análisis estadístico.

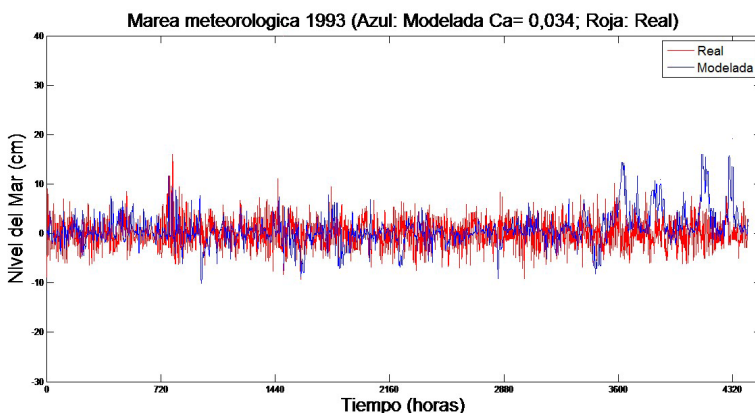


Figura 2. Marea meteorológica real Vs. Marea meteorológica modelada con H2D con $Ca=0,034$ (Año 1993).

Fuente: Propia; Matlab

Análisis estadístico de la calibración del modelo

El primer paso antes de realizar el análisis estadístico, fue verificar la existencia de independencia o dependencia entre las muestras (series de marea meteorológica); para

este caso, se tomó como sujeto experimental la parcela de agua de la que se obtienen los datos de nivel del mar; esto, genera la imposibilidad de saber si la parcela de agua medida por el mareógrafo es la misma parcela de donde se obtienen los parámetros de entrada del modelo numérico. Estas diferencias en las técnicas de muestreo que se emplean para cada una de las series de tiempo a comparar, hacen que las escalas temporales y espaciales de muestreo sean diferentes. De esta manera, de los análisis anteriores podemos concluir que hay una independencia entre nuestras muestras.

Una vez se determinó que las muestras son independientes, el siguiente paso fue definir entre aplicar pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas, teniendo en cuenta que determinar la gaussianidad de los datos es parte fundamental para definir la aplicación de un análisis estadístico paramétrico o no paramétrico; se realizó además otra prueba de normalidad conocida como Kolomogorov – Smirnov, esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada. En el caso de que los datos fueran normales, si esta diferencia observada es adecuadamente grande, la prueba rechaza la hipótesis nula de normalidad en la población; si el valor p de esta prueba es menor que el nivel de significancia (α) elegido, se puede rechazar la hipótesis nula y concluir que se trata de una población no normal.

La prueba de Kolomogorov – smirnov se realizó para un nivel de confianza del 95% y un $\alpha = 0.05$, por lo cual si el P-Valor es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula y se puede decir que los datos se ajustan a una distribución normal; los resultados gráficos obtenidos de esta prueba fueron los siguientes:

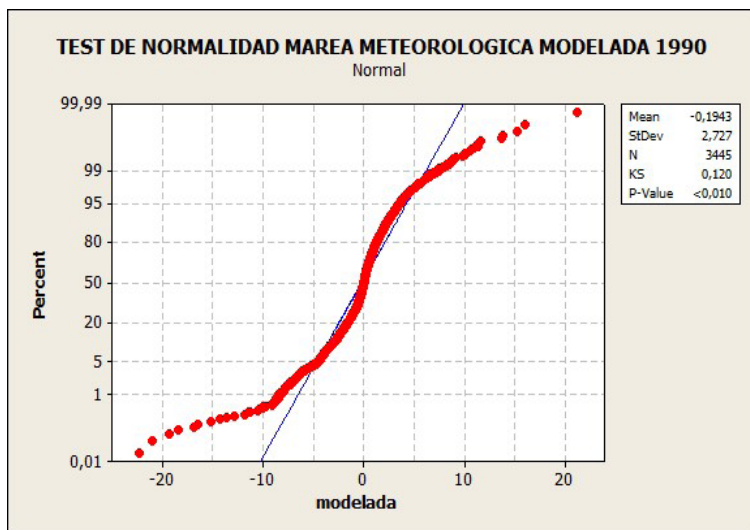


Figura 3. Test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov aplicado a datos de Marea meteorológica modelada 1990.

Fuente: Propia; Matlab

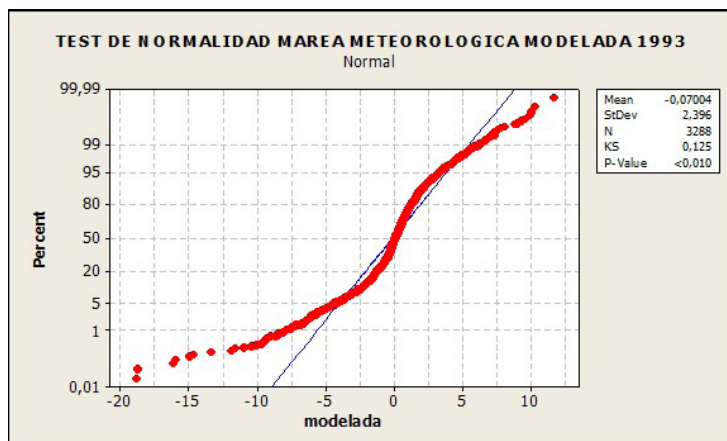


Figura 4. Test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov aplicado a datos de Marea meteorológica modelada 1993.

Fuente: Propia; Matlab

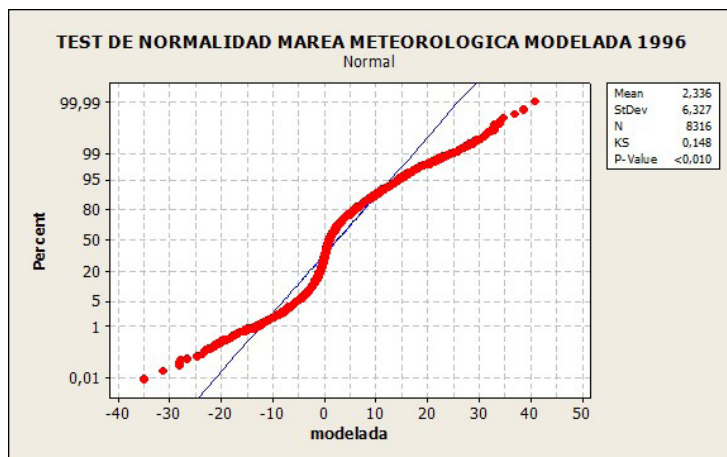


Figura 5. Test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov aplicado a datos de Marea meteorológica modelada 1996.

Fuente: Propia; Matlab

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas QQ y Kolmogorov-smirnov aplicadas a todas las muestras de diferentes años, se construyó el siguiente resumen de resultados, así:

Tabla 1.
Resultados pruebas de normalidad.

N°	Datos	R_Pearson	R_Critico QQ	P-Valor	Gaussianidad
1	Marea meteorológica real -1990	0,9973	0,9984	0,01	NO
2	Marea meteorológica modelada-1990	0,9419	0,9984	0,01	NO
3	Marea meteorológica real -1993	0,9785	0,9984	0,01	NO
4	Marea meteorológica modelada -1993	0,9230	0,9984	0,01	NO
5	Marea meteorológica real -1996	0,9720	0,9984	0,01	NO
6	Marea meteorológica modelada -1996	0,9391	0,9984	0,01	NO

Una vez realizadas las pruebas anteriores se estableció que ninguna de las muestras se ajusta a una distribución normal, se verificó así la existencia de valores extremos en cada muestra, para lo cual se utilizó una transformada “Z”, creando una rutina de Matlab con la formula $Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, en la que se determina que hay valores extremos si ($\max Z > 3$ y/o $\min Z < -3$), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.
Resultado prueba de valores extremos.

N°	Datos	Valores Extremos
1	Marea meteorológica real -1990	SI
2	Marea meteorológica modelada -1990	SI
3	Marea meteorológica real -1993	SI
4	Marea meteorológica modelada-1993	SI
5	Marea meteorológica real -1996	SI
6	Marea meteorológica modelada-1996	SI

De las pruebas anteriores es posible concluir que las muestras no son gaussianas y tienen valores extremos, por lo cual se realizó la aplicación de la prueba no paramétrica para muestras independientes. Así, la mejor opción para nuestro caso, es la prueba de Mann-Withney también conocida como la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

Prueba No Paramétrica de Mann Withney para muestras independientes

También es conocida como la prueba de suma de rangos de Wilcoxon y es una opción alterna a la prueba “t” para comparar dos medias usando muestras independientes. La hipótesis nula es entonces que, la mediana de las dos poblaciones es igual y la hipótesis alterna es que la mediana de la población 1 es distinta de la mediana de la población 2.

Tabla 3.
Resultado prueba de Mann Whitney

N°	Datos	Suma Rangos	Promedio de Rangos	Mediana	P-Valor
1	Marea meteorológica real - 1990	11.959.688	3.471,607	-0,0504	0,2760
	Marea meteorológica modelada – 1990	11.779.807	3.419,392	0,0020	
2	Marea meteorológica real - 1993	10.785.479	3.280,255	0,0181	0,7247
	Marea meteorológica modelada – 1993	10.839.697	3.296,744	0,0785	
3	Marea meteorológica real – 1996	22.829.250	4.785,003	0,1033	0,6321
	Marea meteorológica modelada – 1996	22.700.403	4.757,996	0,1280	

Para determinar el cumplimiento de la hipótesis nula se verificaron dos condiciones: la primera es que los promedios de los rangos en cada una de las series sean aproximadamente iguales y la segunda que el P-valor sea mayor a alfa (α).

La prueba se realizó para un $\alpha = 0,05$ para un intervalo de confianza de 95,0% y como se observa en la tabla 3, el “P-valor” es mayor a 0.05 en todos los casos, igualmente se puede observar que los promedios de los rangos son aproximadamente iguales; de los resultados anteriores concluyendo que se aceptó la hipótesis nula que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las dos muestras.

Con todo este proceso estadístico se logró comprobar que no existe diferencia significativa entre las dos muestras, lo que indica que la marea meteorológica modelada con un coeficiente de 0.034 se ajusta a la marea meteorológica real obtenida del mareógrafo, lo que le da sustento estadístico al modelo para ser utilizado en diferentes puntos del Pacífico colombiano.

Simulación numérica con el modelo (H2D)

Simulación numérica de los tres principales puertos del Pacífico colombiano

Una vez calibrado el modelo (H2D), se realiza la modelación numérica de la marea meteorológica, para lo cual, se escogieron los tres principales puertos del Pacífico colombiano como son Tumaco, Buenaventura y Bahía Solano; esta se realiza con una serie de tiempo de 20 años la cual va desde el año 1991 hasta el 2010 y para su corrida se configuran los siguientes parámetros, así:

1. Tiempo ejecución: Teniendo en cuenta la capacidad de procesamiento y la gran extensión de las series de tiempo a modelar, se decidió hacer cinco modelaciones con longitudes de tiempo de 4 años por serie, aumentándole a cada una un periodo de tres meses de estabilización del modelo; con lo que se pudo inferir que el tiempo de ejecución de cada serie es de 37.224 horas, lo que corresponde a la cantidad de horas de 4 años y 3 meses incluyendo un año bisiesto. Coeficiente de arrastre por viento: Se utilizó el determinado en la calibración del modelo que fue de 0.034.

2. Coeficiente de arrastre por viento: Se utilizó el determinado en la calibración del modelo que fue de 0.034.

3. Campos de viento y presión: Se emplearon ficheros de viento y presión con datos cada seis horas, recortados e interpolándolos al tamaño de la malla de estudio.

4. Batimetría: Malla desde 1° N hasta 9° N y desde 77° W hasta 82° W; las características de la malla se pueden ver con mayor precisión, también, en el capítulo Procesamiento y configuración de los datos de entrada.

5. Salida de resultados: Se obtuvo como salida los horarios de nivel del mar en centímetros, para los tres puntos escogidos, que pueden ser observados en la figura 6.

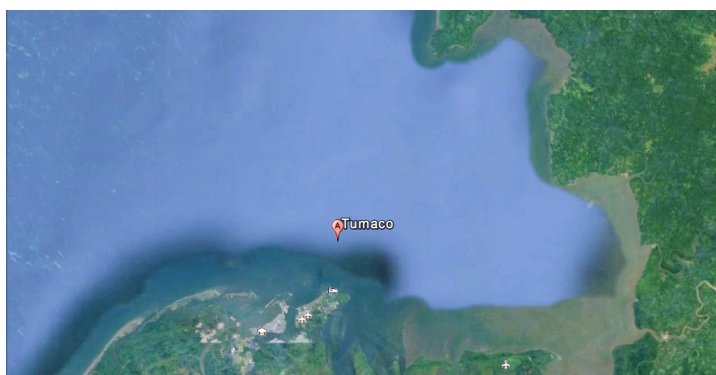
Una vez obtenidos los archivos de resultados, en los que se puede observar una longitud de 4 años y 3 meses cada uno, se utilizó la herramienta Matlab para cargar los datos, recortar los primeros 3 meses que se usaron para estabilizar el modelo en la corrida de cada serie y unir todos los archivos, obteniendo así la serie de tiempo final, la cual queda con un tamaño de 175.320 datos horarios, lo que corresponde a 20 años incluyendo 5 años bisiestos.



*Figura 6. Ubicación geográfica de los puntos de modelación.
Fuente: Tomada de Google Earth.*

Marea meteorológica modelada en Tumaco

En la figura 7 se muestra el punto exacto donde fue realizada la modelación de la marea meteorológica para el puerto de Tumaco, que corresponde a la posición en coordenadas geográficas latitud 1.86° N – longitud 78.73° W, lo que para la malla de batimetría son las coordenadas 328 en X y 84 en Y.



*Figura 7. Ubicación geográfica lat. 1.86° N – long. 78.73° W - Modelación de Marea meteorológica en Tumaco.
Fuente: Tomada de Google Earth.*

En la figura 8 se muestra la gráfica de la marea meteorológica modelada para el puerto de Tumaco, empleando el modelo hidrodinámico bidimensional H2D; esta es una serie de tiempo de 20 años que va desde el año 1991 hasta el 2010; el nivel de marea meteorológica se muestra en centímetros y tiene una variabilidad máxima en sus alturas en un rango entre menos treinta (-30) y sesenta (60) centímetros.

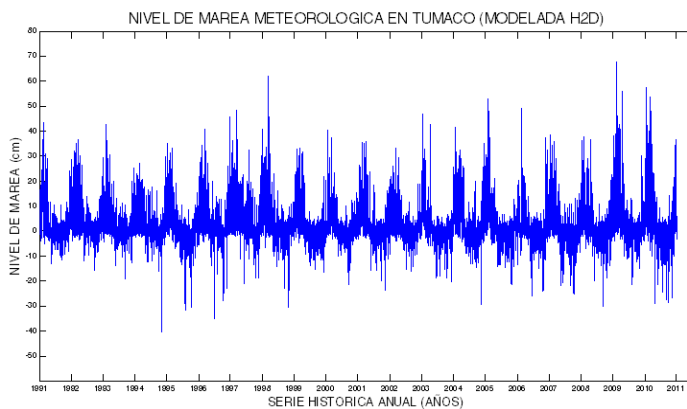


Figura 8. Marea meteorológica modelada en Tumaco, con el modelo H2D.

Fuente: Propia; Matlab

Marea meteorológica modelada en Buenaventura

En la figura 9 se muestra el punto exacto donde fue realizada la modelación de la marea meteorológica para el puerto de Buenaventura, que corresponde a la posición en coordenadas geográficas latitud 3.79° N – longitud 77.21° W, lo que para la malla de batimetría son las coordenadas 480 en X y 280 en Y.

La figura 10 muestra la gráfica de la marea meteorológica modelada para el puerto de Buenaventura, empleando el modelo hidrodinámico bidimensional H2D; esta, es una serie de tiempo de 20 años que va desde el año 1991 hasta el 2010, y en ella se puede ver que el nivel de marea meteorológica se muestra en centímetros y tiene una variabilidad máxima en sus alturas en un rango entre menos cuarenta (-40) y setenta y cinco (75) centímetros.

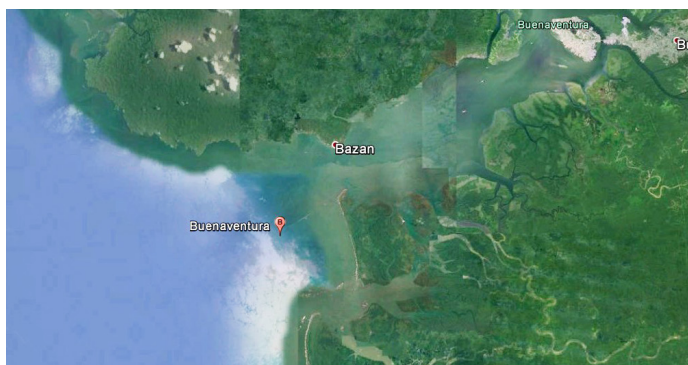


Figura 9. Ubicación geográfica lat. 3.79° N – long. 77.21° W - Modelación de Marea meteorológica en Buenaventura.

Fuente: Tomada de Google Earth.

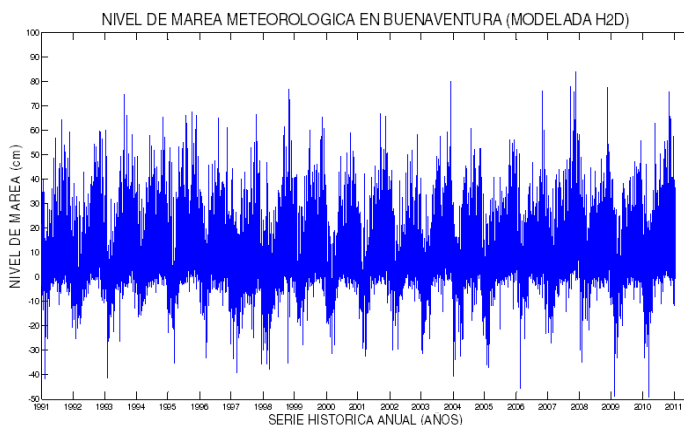


Figura 10. Marea meteorológica modelada en Buenaventura, con el modelo H2D.

Fuente: Propia; Matlab

Marea meteorológica modelada en Bahía Solano

En la figura 11 se muestra el punto exacto donde fue realizada la modelación de la marea meteorológica para el puerto de Bahía Solano, el cual corresponde a la posición en coordenadas geográficas latitud 6.30° N – longitud 77.40° W, lo que para la malla de batimetría son las coordenadas 461 en X y 529 en Y.

Al analizar la marea meteorológica modelada para el puerto de Bahía Solano, se observó que el nivel de marea meteorológica tiene una variabilidad máxima en sus alturas en un rango entre menos doce (-12) y quince (15) centímetros.

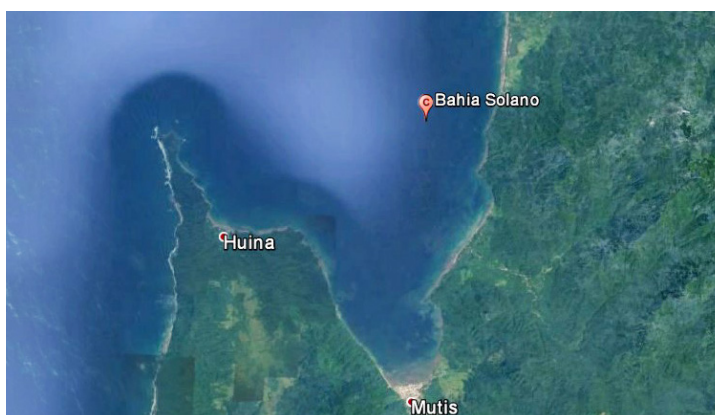


Figura 11. Ubicación geográfica lat. 6.30° N – long. 77.40° W – Modelación de Marea meteorológica en Bahía solano.

Fuente: Tomada de Google Earth.

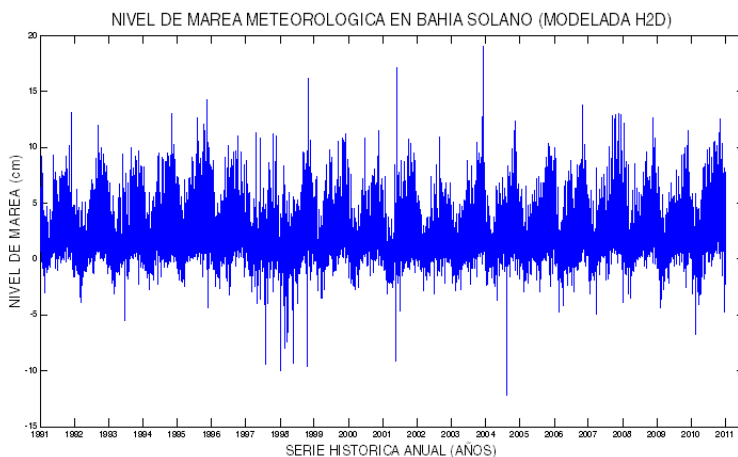


Figura 12. Marea meteorológica modelada en Bahía solano, con el modelo H2D.

Fuente: Propia; Matlab

Regímenes medios de la marea meteorológica

Una vez realizadas las simulaciones de la marea meteorológica para los 20 años (1991-2010) en Tumaco, Buenaventura y Bahía Solano, se procedió a determinar sus regímenes medios, con el fin de representar, en función de la probabilidad, su comportamiento medio durante un periodo de tiempo.

Para determinar estos regímenes medios se organizaron los datos de cada serie de tiempo de menor a mayor, se calculó la probabilidad y se graficaron las curvas de probabilidad acumulada, obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Tumaco es de 0.41 m, con valores máximos entre 0.56 y 0.80 metros para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9% respectivamente.

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Buenaventura es de 0.55 m, con valores máximos entre 0.76 y 1.06 metros, para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9% respectivamente.

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Bahía solano de 0.14 m, con valores máximos entre 0.17 y 0.22 metros, para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9%, respectivamente.

En la figura 13 se realizó una comparación gráfica de los regímenes medios de

los tres puntos modelados, en la que se puede apreciar que el comportamiento medio de la marea meteorológica en el puerto de Buenaventura, presenta una amplitud mayor de la onda de marea que en los puertos de Tumaco y Bahía Solano, siendo este último el que presenta la menor amplitud.

Al correlacionar estos resultados con las Figuras N° 6, 7, 9 y 11, que muestran la ubicación geográfica donde se realizó cada modelación, es posible determinar que la onda de marea era afectada por la línea de costa y por los contornos del lugar donde se modela; por ejemplo para el caso de Bahía Solano, en la Figura 9 se puede observar que el punto de modelación está dentro de la bahía, lo que afecta la amplitud de la onda de marea y hace que esta sea mucho menor que en los otros puertos; similar situación ocurre en Tumaco donde el punto de modelación aunque no está tan encerrado como el de Bahía Solano, también está dentro de la bahía; finalmente para el caso de Buenaventura se puede ver que el punto de modelación está por fuera de la bahía y por ende es el que presenta la mayor amplitud.

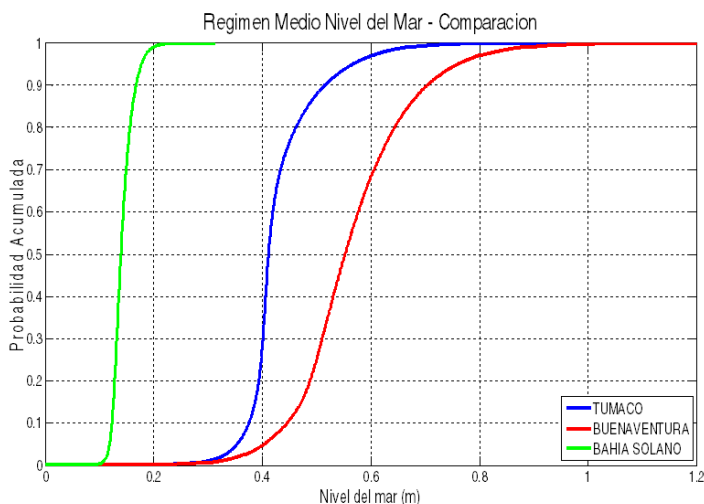


Figura 13. Comparación de regímenes medios del nivel del mar por marea meteorológica modelada en Tumaco, Buenaventura y Bahía Solano.

Fuente: Propia; Matlab

Tabla 4.

Valores de probabilidad de no excedencia

Puerto	95%	99%	99,9%
Tumaco	0.567 m	0.671 m	0.800 m
Buenaventura	0.760 m	0.886 m	1.063 m
Bahía Solano	0.177 m	0.199 m	0.229 m

Regímenes extremos de la marea meteorológica

Para determinar el comportamiento del nivel de marea meteorológica por valores extremos para toda la serie de tiempo modelada, fueron generados los regímenes extremos de la marea meteorológica, representándolos en un régimen de probabilidades. Para esto se empleó la distribución de Gumbel, que se utiliza para calcular valores extremos, lo que nos resulta conveniente para representar la distribución de los máximos niveles de la marea meteorológica a partir de los 20 años de datos que se modelaron.

El método empleado consiste en: dividir la serie temporal en unidades de un año seleccionando los valores máximos de esa variable en el tiempo, logrando obtener una serie continua de valores extremos independientes a lo largo del tiempo. Habiendo determinado estos valores extremos, se procede a ajustarlos a la función de distribución de Gumbel para determinar los períodos de retorno de las alturas del nivel del mar (Orejarena, 2013).

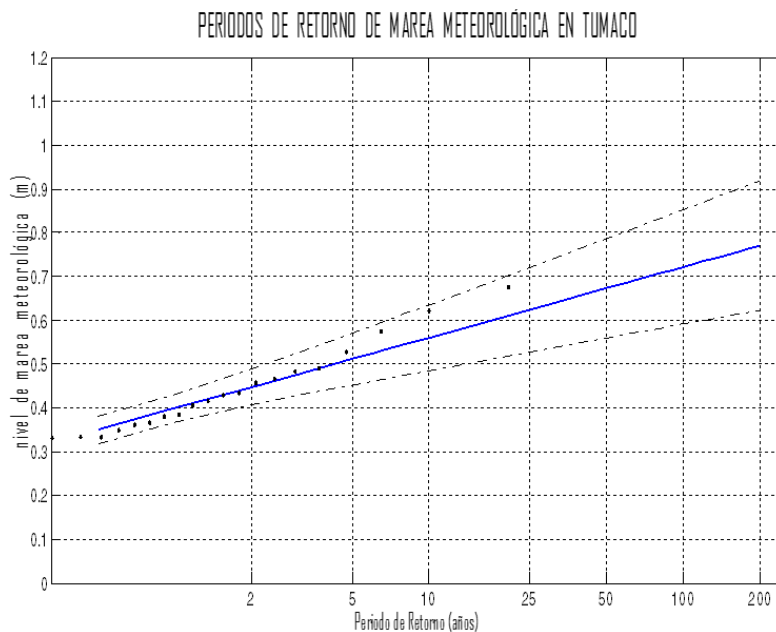


Figura 14. Regímenes extrémos de la marea meteorológica modelada en Tumaco.

Fuente: Propia; Matlab

En la Figura 14 se muestra el comportamiento de la marea meteorológica en Tumaco, donde se tienen alturas de 0.56 m para periodos de retorno de 10 años, de 0.68 m para periodos de retorno de 50 años, de 0.71 m para periodos de retorno de 100 años y de 0,78 m para periodos de retorno 200 años.

En la Figura 15 se muestra el comportamiento de la marea meteorológica en Buenaventura, donde se tienen alturas de 0.80 m para periodos de retorno de 10 años, de 0.90 m para periodos de retorno de 50 años, de 0.97 m para periodos de retorno de 100 años y de 1,0 m para periodos de retorno 200 años.

En la Figura 16 se muestra el comportamiento de la marea meteorológica en Bahía Solano, donde se tienen alturas de 0.15 m para periodos de retorno de 10 años, de 0.175 m para periodos de retorno de 50 años, de 0.185 m para periodos de retorno de 100 años y de 0,19 m para periodos de retorno 200 años.

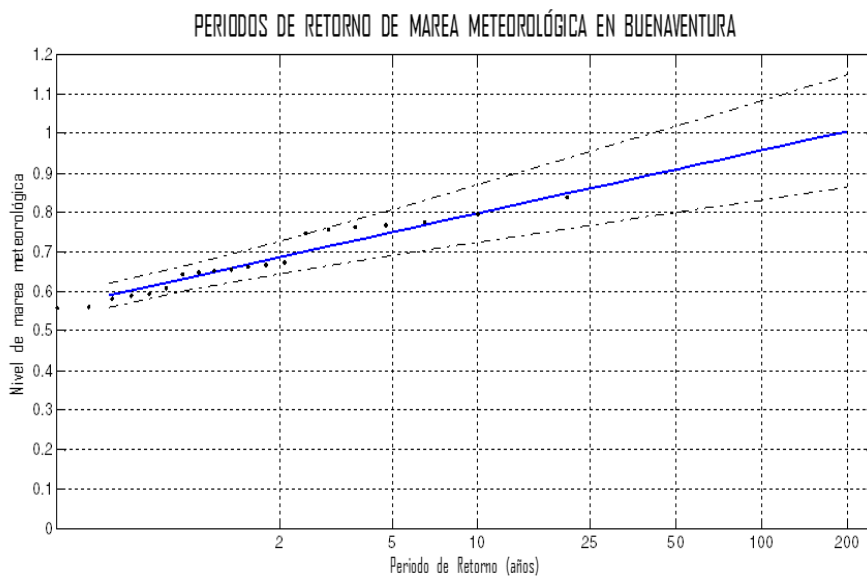


Figura 15. Regímenes extremales de la marea meteorológica modelada en Buenaventura.

Fuente: Propia; Matlab



Figura 16. Regímenes extrémales de la marea meteorológica modelada en Bahía Solano.
Fuente: Propia; Matlab

Conclusiones

Se organizó, procesó y configuró una base de datos conformada por campos meteorológicos de viento y presión, malla de batimetría y datos mareográficos del nivel el mar, que puede ser utilizada como datos de entrada y calibración para modelar la marea meteorológica en cualquier punto del océano Pacífico Colombiano.

También, se configuró y calibró el modelo hidrodinámico bidimensional H2D para la generación de marea meteorológica a partir de la base de datos procesada, logrando determinar en la calibración que el valor del coeficiente de arrastre del viento que se ajusta a la zona de estudio es de 0.034. Esta calibración y determinación del coeficiente de arrastre comprendió un análisis gráfico de contraste entre series de marea modelada y real que se corrobora con un análisis estadístico, que permitió determinar que las series de tiempo de marea meteorológica real y modelada con las que se realizó la calibración del modelo son independientes. Esto, debido a que no se ajustaron a una distribución normal y con valores extremos, por lo que se tomó la decisión de aplicar la prueba estadística no paramétrica de Mann - Withney, que, finalmente, arrojo como resultado que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las dos series de tiempo.

Utilizando el modelo numérico H2D, se logró simular numéricamente las variaciones del nivel del mar debido a la marea meteorológica para el periodo comprendido entre los años 1991 al 2010, para las principales poblaciones costeras del litoral Pacífico Colombiano: Buenaventura, Tumaco y Bahía Solano.

Con las modelaciones realizadas se construyeron los regímenes medios y extremos de la marea meteorológica, lo que permitió evaluar su comportamiento y determinar la importancia y afectación que esta tiene sobre las variaciones del nivel del mar en las poblaciones costeras del litoral Pacífico colombiano (Buenaventura, Tumaco y Bahía Solano).

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Tumaco es de 0.41 m, con valores máximos entre 0.56 y 0.80 metros para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9% respectivamente. Por otra parte, el régimen extremal nos muestra alturas de 0.56 m para periodos de retorno de 10 años y de 0.71 m para periodos de retorno de 100 años.

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Buenaventura es de 0.55 m, con valores máximos entre 0.76 y 1.06 metros, para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9% respectivamente. Por otra parte, el régimen extremal nos muestra alturas de 0.80 m para periodos de retorno de 10 años y de 0.97 m para periodos de retorno de 100 años.

El régimen medio de la marea meteorológica para el área de Bahía Solano es de 0.14 m, con valores máximos entre 0.17 y 0.22 metros, para probabilidades de no excedencia de 95% y 99.9% respectivamente. Por otra parte, el régimen extremal nos muestra alturas de 0.15 m para periodos de retorno de 10 años y de 0.185 m para periodos de retorno de 100 años.

Al comparar el comportamiento medio de la marea meteorológica en los diferentes puertos, se ve claramente que en el área de Buenaventura se presenta una amplitud mayor de la onda de marea que en los puertos de Tumaco y Bahía Solano; situación que se correlaciona con la ubicación geográfica donde se realizó cada modelación. De este modo, debido a que la onda se ve afectada por la línea de costa y por los contornos, sería lógico pensar que en los puntos de modelación ubicados dentro de bahías (Tumaco y Bahía Solano) la amplitud de la onda de marea sea menor.

Por todo lo anterior, se puede afirmar que con el presente estudio se plantea una metodología para la obtención de la Marea Meteorológica en cualquier punto del litoral Pacífico colombiano.

La metodología planteada en este trabajo para obtener la marea meteorológica y determinar su régimen medio y extremo, podría ser parte inicial para un estudio mayor, que pueda complementarse con un análisis de oleaje, que permita establecer los regímenes

de inundación costera debida al efecto combinado del oleaje extremo y el aumento del nivel del mar. Un hallazgo tal, sería de gran ayuda para la implementación de planes de manejo integrado en la zona costera.

Referencias

- Acuña, E. (2008). *Pruebas estadísticas*. Mayarquez.
- Bolaños. (2006). *Tormentas de oleaje en el mediterráneo*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Castillo Gutiérrez, S., & Lozano Aguilera, E. D. (2007). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Iniciación a la investigación, 1-7*.
- Escudero López, J. M. (2003). Manual de energía eólica. En J. M. Escudero López, *Energías renovables (pág. 71)*. Madrid: Mundi prensa.
- Estrada, C. (2002). *Primer seminario virtual de ciencias del mar - OANNES 2002*. Obtenido de Mareas: <http://www.oannes.org.pe/seminario/02oceanografEstrda-Mareas.htm>
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2009). Pronóstico de pleamares y bajamares costa pacífica colombiana 2010. En S. mareográfico, *Pronóstico de pleamares y bajamares costa pacífica colombiana 2010 (págs. 5-21)*. Bogotá: IDEAM.
- León, F. M. (febrero de 2006). *Variaciones del nivel del mar generadas por la alta presión atmosférica*. Obtenido de El efecto del barómetro invertido: <http://www.tiempo.com/ram/2352/el-efecto-del-barmetro-invertido/>
- Leyva, A. (1993). Colombia pacífico tomo I. En A. Leyva, & A. Leyva (Ed.), *Colombia pacífico tomo I* (Vol. I, págs. 21-22). Bogotá: Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”.
- Malikov, I. (2001). *Determinación de las componentes de una onda de marea y aproximación de la onda en una línea externa de la ensenada de Tumaco*. Boletín Científico CCCP No. 8, 63-69.
- Orejarena, A. (2013). *Metodología para la determinación de la cota de inundación debido a eventos extremos en playas naturales*.

- Organización Hidrográfica Internacional. (2005). *Manual de hidrografía*. En O. H. Internacional, *Publicación CI3* (Primera ed., págs. 259-274).
Mónaco: Bureau hidrográfico internacional.
- Otero Díaz, L. J. (2005). *Aplicación de un modelo hidrodinámico bidimensional para describir las corrientes y la propagación de la onda de marea en la bahía de Buenaventura*. *Boletín Científico CCCP* No. 12, 9-21.
- Pedlosky, J. (1987). *Geophysical Fluid Dynamics*. New York: Springer - Verlag.
- Ramírez Stout, O., & Candéla Pérez, J. (2003). *Respuesta del nivel del mar al forzamiento atmosférico en las costas del golfo de México*. Serie oceanológica No. 1, 77.
- Silva Rodríguez, E. A., & Orejarena Rondón, A. F. (2009). *Simulación numérica de marea meteorológica en el mar caribe colombiano*. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander.
- Tejada Vélez, C. E., Devis Morales, A., García Hansen, I., Malikov, I., & Villegas Bolaños, N. L. (2003). *Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana*. En C. C. Colombiano, *Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana* (págs. 7-29). San Andrés de Tumaco: DIMAR.
- Torres Parra, R. R., Gómez López, J. C., & Afanador Franco, F. (2006). *Variación del nivel medio del mar en el caribe colombiano*. *Boletín científico CIOH* No. 24, 64-72.
- Wenzel, M., & Schröter, J. (2010). *Reconstruction of regional mean sea level anomalies from tide gauges using neural networks*. JGR.



La tradición de las gaitas, vinculada desde el año 1938.



Espada del Oficial Naval.

DISEÑO OPERACIONAL SISTÉMICO COMO HERRAMIENTA DE SEGURIDAD EN LA REGIÓN DE CENTROAMÉRICA Y EL CARIBE

Systemic operational design as a security tool in the region of Central America and the Caribbean

Jorge Alberto Cabrera Botero¹

Recibido: 19/07/2017

Aceptado: 14/07/2018

Resumen

En el presente artículo se presenta al Diseño Operacional Sistémico como una metodología de análisis apropiada para el planeamiento de operaciones combinadas que contribuyan a neutralizar las amenazas transnacionales que afectan a los estados de la región de Centroamérica y el Caribe. Se describen los orígenes de la metodología, la naturaleza de las amenazas transnacionales, y por medio de algunos ejemplos contemporáneos, se señala la conveniencia de su aplicación por parte de las autoridades gubernamentales regionales. Así mismo, se indican las opiniones contrarias al uso de la metodología propuesta. El documento concluye con dos recomendaciones dirigidas a la Armada Nacional de Colombia, para que esta, influya en la región a través del uso de esta metodología como una herramienta para entender, analizar e identificar aquellas amenazas que no pueden ser contenidas por medio de aproximaciones convencionales.

Palabras clave: Diseño operacional, centro de gravedad, amenaza asimétrica, diseño operacional sistémico.

Abstract

In this article, The Systemic Operational Design is presented as an appropriate analysis methodology for the combined operational planning that contributes to neutralizing the transnational threats affecting the Central American and Caribbean regions. It describes the origins of the methodology, the nature of the transnational threats, and throughout some contemporary examples, it is pointed out the appropriateness of its application by the regional government authorities. The opinions contrary to the use of the proposed methodology are also indicated. The document concludes with two recommendations for the Colombian Navy to influence the region through the use of this methodology as a tool to understand, analyze and identify those threats that cannot be contained through conventional approaches.

Keywords: Operational design, center of gravity, asymmetric threat, systemic operational design.

¹Escuela Naval Almirante Padilla - Magíster en Ingeniería Electrónica - jorge.cabrera@armada.mil.co

Introducción

El diseño operacional sistematico definido como “la concepción y construcción del marco que apuntala un plan de campaña o de una operación mayor y su subsiguiente ejecución” (Joint Staff, 2011, p. 197), el diseño operacional complementa al arte operacional en el entendimiento y proceso de planeamiento de operaciones militares, proporcionando a los comandantes el insumo metodológico necesario para responder las preguntas propias del planeamiento (Joint Staff, 2011), en vista de la imposibilidad de obtener toda la información necesaria para analizar y prever las intenciones del adversario (Schmitt, 2006).

Según distintos autores, las bases conceptuales del arte y del diseño operacional han venido desarrollándose a partir de las teorías clásicas de la guerra propuestas por Clausewitz y Jomini, y en particular el concepto de centro de gravedad ha sido uno de los más importantes. Sin embargo, teniendo en cuenta que la teoría fue perfeccionada durante la evolución de las guerras de primera a tercera generación, “la riqueza completa del arte operacional puede ser explotada solamente en un conflicto convencional de alta intensidad” (Vego, 2009, p. 2).

A pesar de lo anterior, en el contexto actual de guerras de cuarta generación, de amenazas asimétricas y transnacionales, la adecuada evaluación y selección de los centros de gravedad estratégicos propios y del adversario continúan siendo el elemento más importante dentro del proceso inicial de diseño operacional para que cualquier campaña militar estratégica sea exitosa (Reilly, 2002).

Precisamente, la realidad es que las amenazas asimétricas, entendidas como aquellas que para alcanzar sus objetivos en un conflicto enfrentan de forma no convencional a un adversario que posee fuerzas convencionales de mayores capacidades (Larraín, 2005), se organizan en “sistemas complejos que no siempre se prestan para establecer los vínculos lógicos de causa y efecto, que normalmente son la base para el análisis de centro de gravedad y vulnerabilidades críticas” (Reilly, 2002, p. 7).

En el mismo sentido, y de acuerdo con su naturaleza, muchas veces estas amenazas no buscan entrar en confrontación directa con los estados, o con fuerzas convencionales superiores. Sin embargo, ante la necesidad siempre pueden usar métodos híbridos para defender sus propios intereses, que incluyen la asociación por conveniencia con otras organizaciones, y otorgándole a esta clase de amenazas un carácter transnacional. Por las anteriores razones, las amenazas asimétricas son un reto para ser analizadas con la metodología tradicional del diseño operacional con el propósito de identificar su centro de gravedad.

Teniendo en cuenta la existencia de amenazas asimétricas en la región de Centro América y del Caribe, el presente ensayo de investigación busca explorar soluciones

al problema de planeación de operaciones militares de fuerzas convencionales contra amenazas asimétricas.

Método

El documento corresponde a un ensayo de investigación, producto del desarrollo de una tesis de trabajo generada a partir de una pregunta de investigación, que a su vez obedece a un propósito y un área temática. La metodología utilizada es la de investigación bibliográfica.

Resultado y discusión

En el ámbito de la seguridad regional en Centroamérica y el Caribe, una buena parte de los estados sufren de problemas relacionados con amenazas asimétricas, que afectan la seguridad, la estabilidad y la gobernanza al interior de cada país. Generalmente, estas son asumidas como amenazas limitadas por las fronteras de cada Estado, y su control y represión se han restringido a la dimensión militar del problema. El caso colombiano sirve como ejemplo típico, en donde grupos terroristas con objetivos políticos para acceder al poder y, por tal motivo, en confrontación directa con el Estado, usaron el tráfico ilícito de narcóticos para su financiamiento y para corromper las instituciones estatales y no estatales.

En contraste, el tráfico ilícito de drogas se constituyó por sí mismo, especialmente en la década de los 80', como una amenaza asimétrica para el Estado, pero al contrario de los grupos terroristas, no buscaba una confrontación con este. En la actualidad, el tráfico ilícito de drogas, especialmente de aquellas provenientes de Colombia, se ha convertido en la principal fuente de financiación de diferentes amenazas asimétricas en la región, gracias al alto valor agregado que deja la actividad de transporte en su tránsito hacia Norteamérica, en cuya ruta se encuentran algunos países de la región (Ellis, 2015, 2016).

Así mismo, esta actividad ha generado vínculos delincuenciales entre diferentes organizaciones, que tienen diversos objetivos en cada uno de los países, otorgándole así un carácter transnacional a diversas amenazas asimétricas, que ahora afectan a la región como un todo. En efecto, el tráfico ilícito de drogas financia los carteles mexicanos, las maras centroamericanas y las organizaciones delincuenciales en Colombia, y genera problemas de seguridad en países como Panamá, Costa Rica y Nicaragua. Incluso, esta actividad ilícita es la puerta de entrada a células pertenecientes a organizaciones terroristas internacionales, como lo es el Islamic State of Iraq and Syria (ISIS) y AL QAEDA, que ven en la región, y en esta actividad, una fuente alterna de obtención de recursos para financiar sus actividades terroristas a nivel mundial.

En vista que cada país en la región ha enfrentado sus amenazas de forma unilateral, bajo métodos convencionales, no ha sido posible evaluar e identificar apropiadamente los centros de gravedad estratégicos de cada una de ellas. Es más, el enfoque convencional

y tradicional con el que se ha pretendido realizar el diseño operacional para combatir estas amenazas, no ha permitido obtener resultados positivos en su desarticulación. Lo anterior admite la identificación de tres problemas: el primero, la naturaleza asimétrica de las amenazas; el segundo, el carácter transnacional que estas han adquirido, al menos en la región; y por último, su carácter multidimensional y no exclusivamente militar, pues afectan a todas las instituciones estatales como no estatales.

Por lo tanto, el enfoque para combatir las y derrotarlas debe tener en cuenta un proceso de diseño operacional “no convencional”, con la participación de todos los estados afectados, bajo una concepción multinacional y cooperativa, y con la acción multidimensional al interior de cada estado.

Como se explicó anteriormente, la naturaleza sistémica propia de las amenazas asimétricas constituye una dificultad importante para el uso de la metodología convencional del diseño operacional en la determinación de su centro de gravedad estratégico. Por tal razón, la teoría del diseño operacional sistémico ha surgido como solución para “[...] establecer la relación entre los factores del conflicto y los patrones no reconocibles a simple vista” (Somiedo García, 2014, p. 13), lo que le permitirá al comandante y a su estado mayor analizar e identificar el centro de gravedad del adversario, ser lo suficientemente flexibles y ágiles para detectar el cambio sobre los mismos y en tal virtud, adaptarse más rápidamente a las eventualidades que puedan surgir (Somiedo García, 2014).

El Diseño Operacional Sistémico (en adelante, DOS) tiene sus orígenes en Israel durante la década de 1990, con el desarrollo realizado por el Brigadier General Shimon Naveh (Canon, 2009), pero ha adquirido mayor relevancia a partir de los eventos del 11 de septiembre de 2001, con el inicio de la guerra contra el terrorismo y con las dificultades encontradas por los Estados Unidos de América, en Afganistán para derrotar a Al Qaeda. En términos generales, se trata de la aplicación de la teoría de sistemas al diseño operacional, en la que se entienden los problemas como sistemas que pueden cambiar de forma aleatoria, debido a que la interacción de sus componentes, o subsistemas, generan comportamientos propios que causan el reordenamiento del sistema como un todo. Por lo anterior, no es posible analizar una organización que se comporta como un sistema bajo una perspectiva lineal, como uno cerrado en el que se puede predecir su comportamiento, sino que es necesario analizarla como un sistema abierto, que es influencia- do constantemente por causas internas, o por fuentes externas o desconocidas (Canon, 2009).

Por consiguiente, el DOS es una herramienta indispensable para garantizar la seguridad en la región de Centroamérica y el Caribe en contra de amenazas transnacionales. Por tal razón los organismos de seguridad estatales de los países, y en especial sus fuerzas militares, deben contemplar la inclusión de esta metodología para analizar e identificar los centros de gravedad comunes a las organizaciones, que constituyen amenazas asimétricas en la región, para neutralizarlas de forma combinada, aprovechando mejor los medios

disponibles y siendo más efectivos y eficientes. Lo anterior no es posible si se usa una metodología basada en el diseño operacional convencional, debido a la imposibilidad de detectar las variaciones en el comportamiento de las amenazas y de sus centros de gravedad.

Un ejemplo particular que puede ser tenido en cuenta para el ámbito de las fuerzas navales, es el de la piratería en las costas de Somalia. Este caso se ajusta perfectamente al de un conflicto de carácter asimétrico, en el que se enfrentan fuerzas de tarea multinacionales convencionales, como parte de coaliciones internacionales, en contra de una organización con capacidades inferiores. Sin embargo, los métodos no convencionales y la forma y área geográfica en donde son aplicados pueden afectar seriamente la economía mundial.

En este caso, la amenaza fue contenida aplicando exclusivamente la acción militar, específicamente, el de fuerzas navales, teniendo en cuenta que el océano es el medio en el que se materializa la amenaza. Por supuesto, logrando el control marítimo de las áreas adyacentes a las costas de Somalia se neutralizó la amenaza, la cual ha sido disuadida por completo de ejecutar acciones de piratería en contra del comercio marítimo debido a que comprende que recibirá una respuesta rápida, contundente y efectiva por parte tanto de los buques mercantes como de los buques de guerra. En otras palabras, a través de la aplicación del concepto de hard power la comunidad internacional logró interrumpir los efectos de la amenaza.

Sin embargo, a pesar de que la amenaza de piratería en el cuerno de África ha sido analizada y entendida como un sistema que implica una respuesta que va más allá de la militar, las acciones de la comunidad internacional por solucionar verdaderamente el problema desde un enfoque sistémico no se ha realizado con la profundidad necesaria. Es decir, la piratería se mantendrá bajo control mientras se sostengan las operaciones navales en el área de operaciones, pero la amenaza persiste porque se mantienen las condiciones que la generan, y seguramente se incrementará cuando las fuerzas navales sean retiradas. En este caso, el DOS puede ser útil, y será una herramienta indispensable para lograr configurar una respuesta multidimensional para realmente terminar con la piratería.

Otro ejemplo válido es el del conflicto colombiano, en el que se conjugan una serie de actores con diferentes intereses, y que sufrió un importante incremento a partir del advenimiento del tráfico ilícito de drogas en la década de los 80's. Dado que estas amenazas no fueron consideradas como un sistema, el tratamiento que se les brindó, fue necesario corresponder con una respuesta unidimensional de carácter convencional, bajo la exclusiva responsabilidad de las fuerzas militares; por supuesto, los resultados fueron poco menos que satisfactorios hasta la primera década del siglo XXI.

Sin embargo, durante el gobierno de Álvaro Uribe Vélez se decidió cambiar el enfoque tradicional por el del análisis sistémico de la amenaza, y empezó a entenderse que la respuesta debería ser de orden multidimensional, por todas las instituciones estatales,

con un asesoramiento del gobierno de Israel. En consecuencia, en 2011 se implementó el Comité de Renovación Estratégica e Innovación (en adelante, CRE-I), cuyo objetivo fue el diseño de una estrategia conjunta, coordinada e interagencial (multidimensional) para neutralizar la amenaza asimétrica que enfrenta el Estado colombiano en su conflicto interno, entendiendo a la amenaza “[...] como un sistema que muta ante la respuesta estatal [...]” (Zuluaga Ramírez, 2015, p. 7). El CRE-I, por lo tanto, logra asimilarse a una metodología de DOS desde el nivel estratégico, ajustada a las necesidades particulares del conflicto colombiano, y puede decirse que ha sido exitoso, junto con sus posteriores versiones, teniendo en cuenta que la principal organización que constituía una amenaza para el Estado se encuentra desarmada, desmovilizada y en proceso de reinserción.

Ahora bien, siendo justos, falta mucho por hacer en cuanto al tratamiento multidimensional de la amenaza, debido a que aún falta mayor compromiso y participación por parte de las demás instituciones del Estado; pero al menos ya se entiende que la amenaza se comporta como un sistema abierto. En este sentido, puede afirmarse que debido a la incapacidad de enfrentarla de forma multidimensional, al igual que en el caso de la piratería somalí, la amenaza en Colombia se encuentra contenida militarmente, pero persiste.

Uno de los factores que permiten la persistencia de las amenazas asimétricas que afectan la seguridad estatal en Colombia, es su financiamiento por parte del tráfico ilícito de drogas, sumado a la minería ilegal y otras fuentes “tradicionales” como la extorsión y el secuestro. En realidad, el narcotráfico es la actividad que le da el sentido “transnacional” a las amenazas asimétricas en Colombia, pues es el que crea y mantiene los canales de comunicación entre diversas organizaciones delincuenciales en la región, mientras que al mismo tiempo las financia, principalmente por las ganancias que se obtienen en el tránsito de las drogas ilícitas hasta Norteamérica.

Es más, esta actividad aprovecha su carácter transnacional para mantenerse vigente, debido a la incapacidad de los estados de la región para organizarse y neutralizar el problema de forma combinada. Probablemente existan otros puntos en común para las diversas amenazas en la región, pero mientras no se aborde su estudio bajo una perspectiva sistémica por parte de toda la región, será imposible determinar apropiadamente el centro o los centros de gravedad de las mismas.

Al igual que la piratería en Somalia, en el caso del narcotráfico en la región de Centroamérica y el Caribe el mar es el medio principal que permite la materialización de la amenaza, pues a través de él es que se transporta la mayor cantidad de drogas ilícitas gracias a la dificultad de control y vigilancia, a que conecta a todos los países de la región, y a la economía de escala que permiten las cargas transportadas.

Por ello, si se logra el control del mar de forma tal que se disuada a la amenaza de usar este medio para el transporte de drogas ilícitas, afectará seriamente la capacidad de financiación de las organizaciones delincuenciales en la región, al igual que sucede

en Somalia. Es necesario, por lo tanto, hacer uso del DOS para determinar aquellos subsistemas y centros de gravedad que permitan a cada estado implementar acciones multidimensionales para neutralizar definitivamente las amenazas en cada país. Por supuesto, todo lo anterior con base en la decisión de la región de actuar de forma combinada, sostenida y decidida sobre el narcotráfico que usa el mar como medio de transporte.

En contraste, existen opiniones contrarias a la efectividad del DOS como metodología para el planeamiento operacional. Por ejemplo, el Dr. Milan Vego considera que los fundamentos teóricos del DOS no son válidos, y que su vocabulario es ininteligible y, por tal motivo, no podrá ser aplicado con éxito porque su lenguaje no será entendido por todos (Somiedo García, 2014).

Otros contrargumentos sostienen que el DOS no es realizable debido a que el proceso no inicia con un estado final deseado, como sucede con la solución de un problema lineal, en vista de la imposibilidad de definir en un problema sistémico (Canon, 2009). Para finalizar, es recomendable que la Armada Nacional influya al Gobierno Nacional en la necesidad de crear mecanismos efectivos de cooperación con los países de la región de Centroamérica y el Caribe, que incluyan la conformación de organismos multilaterales para el análisis de las amenazas transnacionales que afectan el entorno regional, y dentro de los mismos, considerar la adopción de la metodología de diseño operacional sistémico para el análisis y correcta determinación de sus centros de gravedad.

Así mismo, es conveniente promover la conformación de una fuerza de tarea naval combinada, similar a las establecidas para combatir la piratería en el cuerno de África, que permita obtener y ejercer el control de los espacios oceánicos en la región por donde se transportan las drogas ilícitas provenientes de Colombia. A través de este liderazgo, Colombia incrementará su nivel de influencia en la región y, al mismo tiempo, su estatura estratégica.

Conclusiones

En conclusión, el DOS es una herramienta que, aún en desarrollo, es indispensable para entender, analizar e identificar adecuadamente las características no lineales de las amenazas asimétricas, que presentan un comportamiento sistémico, y que por tal razón no pueden ser analizadas mediante una aproximación convencional. Esta metodología puede ser efectiva para lograr contener las amenazas que afectan la seguridad en la región de Centroamérica y el Caribe, siempre y cuando exista la voluntad de los estados afectados para enfrentarlas de forma decidida y cooperativa por medio de una fuerza de tarea combinada.

Referencias

- Canon, C. H. (2009). *Systemic Operational Design: An alternative to estimate planning*. Newport, R.I.
- Ellis, E. (2015). Honduras - *Innovation in the fight against gangs and narcotrafficking*. Recuperado el 10 de diciembre, 2015, desde <http://latinamericagoesglobal.org/2015/09/honduras-innovation-in-the-fight-against-gangs-and-narcotrafficking/>
- Ellis, E. (2016). *Strategic Insights : Mexico — New Directions, Continuity, and Obstacles in the Fight Against Transnational Organized Crime*.
- Joint Staff. (2011). *Planner's Handbook for Operational Design* (First). Suffolk, VA: Joint Staff, J-7.
- Larraín, H. (2005). *Las amenazas asimétricas como una modalidad de resolución de conflictos*. Revista Política Y Estrategia, (99), 104–111.
- Reilly, J. (2002). *A strategic level center of gravity analysis on the global war on terrorism*. Carlisle Barracks, PA.
- Schmitt, J. F. (2006). *A Systemic Concept for Operational Design*.
- Somiedo García, J. P. (2014). *Una aproximación al Diseño Operacional Sistémico (SOD)* (Documento Opinión No. 150). Madrid.
- Vego, M. N. (2009). *Joint Operational Warfare: Theory and Practice* (Reprint of). Government Printing Office.
- Zuluaga Ramírez, S. (2015). *Impacto del actual proceso de paz y eventual postconflicto en el Ejército Nacional de Colombia. Evaluación y formulación de estrategias de transformación hacia un ejército multimisión y autosostnible*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado desde <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13912/2/Trabajo de grado Sergio zuluaga - Tipo articulo.pdf>



Gorra del Cadete Naval.



Oficiales Navales aplicando ciencia y tecnología.

RELACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 CON LA COMPETITIVIDAD INDUSTRIAL

Relationship Between Industry 4.0 And Industrial Competitiveness

Diego Edison Cabuya Padilla¹

Recibido: 29/09/2018

Aceptado: 28/09/2018

Resumen

El objetivo del presente artículo es explicar de qué manera se relaciona la Industria 4.0 con la competitividad industrial para generar ventajas competitivas en su respectivo sector a nivel internacional. Para ello se establecieron tres etapas de desarrollo que fueron: identificación, ponderación y modelo de datos. El nivel de modelo teórico permitió explicar la relación e importancia de la Industria 4.0 como herramienta de gestión para la generación de ventajas competitivas industriales, utilizando dos pasos. El primero consistió en el desarrollo de un modelo de predicción del índice de competitividad industrial con factores externos, a través del análisis de componentes principales (PCA) y la utilización de conjuntos de datos relacionados con los resultados del nivel de ponderación, para conocer así las variables más significativas y que mejor describen la competitividad industrial a nivel internacional, determinando cuantitativamente la relación e importancia de la Industria 4.0 para la competitividad

industrial. El segundo paso se desarrolló mediante el análisis de los procesos explicativos vinculados a la situación, y encontrados en los niveles anteriores, estimando su impacto, combinaciones y los procesos que dan lugar al evento relacional descrito y que, junto con los resultados del primer paso, permitieron concretar un análisis empírico de los tipos de relaciones existentes (identidad, inclusión, unión, correspondencia, oposición, contingencia, etc.) entre la Industria 4.0 y la competitividad industrial, para dar lugar a la generación de ventajas competitivas en este sector. Lo anterior permitió concluir y evidenciar la fuerte relación que existe entre la Industria 4.0 y la competitividad industrial tanto a nivel país como a nivel empresa industrial, y cómo esta se transforma en una herramienta de gestión para la generación de ventajas competitivas a todo nivel.

Palabras clave: Competitividad, competitividad industrial, construcción naval, internet industrial de las cosas, índice de competitividad, industria, industria 4.0.

¹Comando General de las Fuerzas Militares de Colombia, Magister en Gestión Logística, Magister en Gestión de la Información - diego.cabuya@gmail.com

Abstract

The objective of this article is to explain how Industry 4.0 relates to industrial competitiveness in order to generate competitive advantages in its corresponding sector at an international level. Three stages of development were established: identification, weighting and data model. Subsequently, the level of theoretical model allowed explaining the relation and importance of Industry 4.0 as a management tool for the generation of competitive industrial advantages, using two steps. The first one involved the development of a prediction model of the industrial competitiveness index with external factors, the second step was

developed by means of the analysis of the explanatory processes linked to the situation, and found in the previous levels, estimating its impact, combinations; which allowed concluding and evidencing the strong relation that exists between Industry 4.0 and the industrial competitiveness both at country level and at industrial company level, and how this becomes a management tool for the generation of competitive advantages at all levels.

Keywords: competitiveness, industrial competitiveness, shipbuilding, Industrial Internet of Things, Competitiveness Index, Industry, Industry 4.0.

Introducción

Son muchos los retos tecnológicos que afrontan las empresas hoy en día influenciadas por la revolución tecnológica y la velocidad de cambio, que obligan a las industrias a entender y dar forma a esta revolución, la cuarta revolución industrial.

Históricamente cada vez que inicia una revolución industrial, afecta a gran velocidad a la industria, a la economía y de manera extensiva a la sociedad, siendo un reto en sí mismo comprender la amplitud y velocidad de la revolución. Ejemplo de ello son las comunicaciones, hace 20 años no se vislumbraba una sociedad altamente conectada mediante dispositivos móviles con grandes capacidades de procesamiento, almacenamiento y distribución de la información casi en tiempo real. Igualmente, muchas de las tecnologías que se plantearon años atrás están llegando a un punto de madurez, en el que su implementación se aplica en las industrias, para mantener, igualar o superar las ventajas competitivas en cada uno de los sectores. La inteligencia artificial, la robótica, el internet de las cosas, los vehículos autónomos, la impresión 3D, la nanotecnología, la biotecnología, etc., son claros ejemplos de estas tecnologías.

Igualmente, la cuarta revolución industrial, concepto propuesto por el Gobierno de Alemania en el 2011 (BBC Noticias, 2016) y desarrollado principalmente por el *World Economic Forum* (World Economic Forum) y Klaus Schwab (Schwab, 2016), y el efecto competitivo que esta conlleva, está obligando a las industrias a realizar cambios sustanciales en su forma de pensar, así como a reformular sus estrategias y modelos de negocio, enfocándolas en formas de trabajo más colaborativas e inclusivas con el uso de las nuevas tecnologías. En el ámbito social, se ha dado un cambio de paradigma en la forma de relacionarse con el mundo y la conciencia misma de la responsabilidad social que conllevan las decisiones que se toman, de esta manera cobra importancia las maneras en las que la sociedad se comunica, trabaja, expresa y se informa, así como el aseguramiento de las necesidades del presente sin comprometer las futuras.

Esto obliga a las industrias, instituciones y gobiernos a adaptarse a nuevas formas de relaciones, teniendo en cuenta cuatro aspectos primordiales que marcan la cuarta revolución industrial, que según Klaus son (Schwab, 2016, p. 7): velocidad, impacto de los sistemas, amplitud y profundidad. De esta manera, se busca el aprovechamiento de la tecnología, teniendo en cuenta los modelos sociales, siempre en búsqueda de una prosperidad inclusiva, que beneficie a la sociedad entera y no a una minoría.

Para finalizar, como la academia hace parte del empoderamiento de la sociedad, frente a los cambios que genera esta revolución, por medio de las investigaciones e interacciones colaborativas necesarias para entender e implementar los cambios en los diferentes sectores económicos, se hace necesario que los resultados de investigaciones como los plasmados en este artículo, aporten a ese periodo de transición de la cuarta revolución industrial, para ayudar a integrar los modos de pensar y actuar de las empresas.

Método

Esta investigación se estableció con el fin de comprender la relación entre dos aspectos y detectar las relaciones entre ellos. Teniendo en cuenta el desconocimiento de las razones, situaciones y condiciones que dan lugar a sus posibles relaciones. Es por lo anterior, que se requirió adoptar una metodología que se adaptará a las condiciones expuestas y que abarcara resultados más allá del estadio descriptivo, llegando a lo explicativo, pero conservando una visión holística de la situación.

La búsqueda dio como resultado que el tipo de investigación que más se adapta a la particularidad del objetivo es la investigación explicativa y entre los autores más destacados de metodologías de la investigación con enfoque holístico, se encuentra Jaqueline Hurtado De Barrera. Esta autora es la referencia más importante para el planteamiento metodológico de la investigación y que se explica a continuación.

Estructura metodológica

La investigación se estructuró metodológicamente bajo el enfoque teórico de Jaqueline Hurtado de Barrera descrito en sus libros *Metodología de la investigación* (2010) y *El proyecto de investigación* (2012). De acuerdo a lo anterior, este trabajo se enmarcó en un nivel de complejidad de tipo comprensivo, es decir, el trabajo alude a la explicación de las situaciones que genera un evento en particular (Hurtado de Barrera, El proyecto de investigación, 2012, p. 101), como se muestra en la Figura 1.

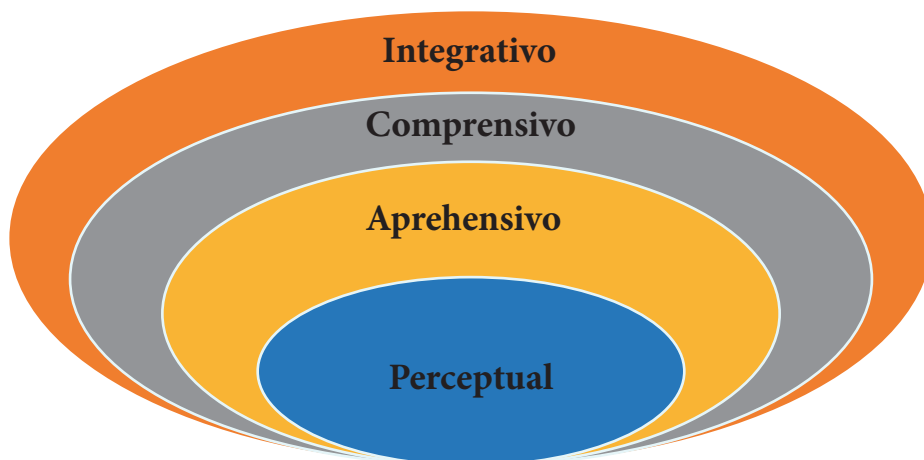


Figura 1. Niveles de complejidad en investigación.

Fuente: Adaptado de (Hurtado de Barrera, *El proyecto de investigación*, 2012, p. 101).

Por otra parte, teniendo en cuenta que el nivel de complejidad es comprensivo, se establece que la investigación se encuadra bajo los lineamientos de una investigación explicativa, teniendo en cuenta que la investigación busca adentrarse en la Industria 4.0 y la Competitividad Industrial, explicando su significancia con base en investigaciones previas que aporten a la determinación de las causas y los efectos en el nivel del establecimiento de las relaciones. De esta manera la investigación explicativa facilitó los siguientes aspectos (Hurtado de Barrera, Metodología de la Investigación, 2010, p. 492) (Hurtado de Barrera, El proyecto de investigación, 2012, p. 116, 117):

1. Detectar relaciones entre eventos, a veces causales, particularmente aquellas que permiten comprender por qué los eventos ocurren y sus condiciones.
2. Conocer el evento a explicar, pero desconocer las razones, situaciones y condiciones que dan lugar a este.
3. Responder las preguntas por qué y cómo, además de las razones y los mecanismos por los cuales ocurre el evento estudiado.

En este sentido, con el tipo de investigación explicativa se planteó como objetivo de investigación principal “Explicar de qué manera se relaciona la Industria 4.0 con la competitividad industrial para generar ventajas competitivas en el sector industrial a nivel internacional”, y para su desarrollo se siguieron los diferentes niveles de elaboración para este tipo de investigación descritos en la Figura 2 (Hurtado de Barrera, Metodología de la Investigación, 2010, p. 505), estableciendo los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar conceptualmente la Industria 4.0, identificando sus antecedentes, diferencias con otros conceptos similares, propósito, características principales y campos de aplicación.
2. Describir la industria, las áreas principales que lo caracterizan y su importancia a nivel nacional e internacional.
3. Identificar las principales características, áreas, métricas, patrones y criterios de interés de la competitividad industrial.
4. Precisar mediante un modelo explicativo los factores o variables que mejor describan la competitividad industrial y la Industria 4.0.
5. Desarrollar un modelo de datos y un estudio teórico que permita explicar de qué manera se relaciona la Industria 4.0 con la competitividad industrial, para dar lugar a la generación de ventajas competitivas en el sector industrial a nivel internacional.

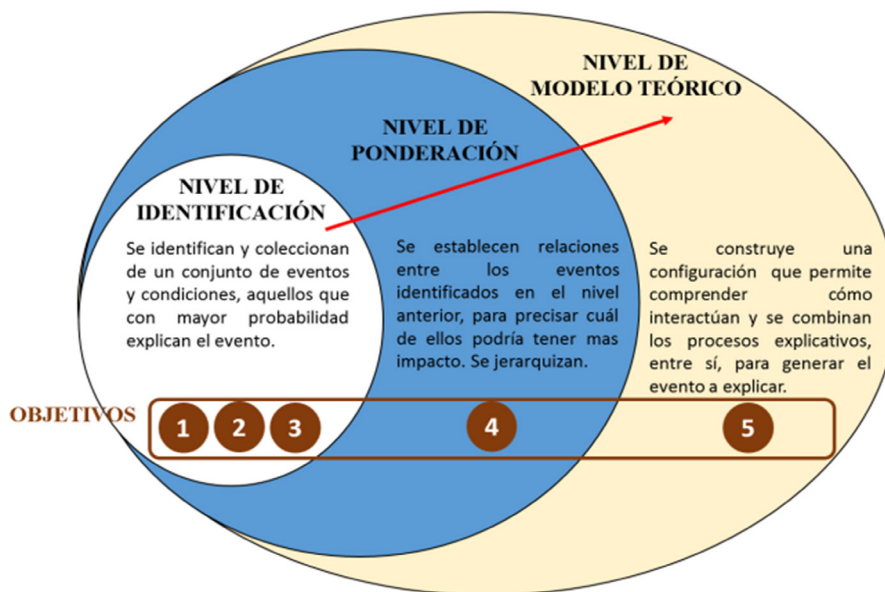


Figura 2. Niveles de elaboración de la investigación explicativa y objetivos.

Fuente: Adaptado de (Hurtado de Barrera, Metodología de la Investigación, 2010, p. 505).

Procedimiento y resultados

Teniendo en cuenta la estructura metodológica presentada en el apartado anterior, la investigación se estructuró cumpliendo los pasos de una investigación explicativa con la finalidad de brindar una explicación de la importancia de la Industria 4.0 como herramienta de gestión para la generación de ventajas competitivas en la industria a nivel internacional, así:

Nivel de identificación

Este nivel respondió a los objetivos de investigación 1, 2 y 3, donde se exploró y describió teóricamente las áreas principales de investigación: Industria 4.0, Industria y Competitividad Industrial, con el fin de concretar las características, importancia y fundamentos teóricos de cada una de las áreas, consiguiendo de esta manera seleccionar los posibles procesos o ejes temáticos que pueden llegar a formar parte del proceso explicativo, que son los insumos para el nivel de ponderación.

A continuación se describen las principales resultados de cada uno de los apartados principales dentro del nivel de identificación:

Antecedentes y conceptualización de la Industria 4.0

Este apartado abordó a manera introductoria el eje principal de la investigación, que es la Industria 4.0, para brindar un primer acercamiento al concepto desde un marco teórico y conceptual que permitiera tratar los siguientes puntos principales: antecedentes, definición y conceptualización, ¿Qué es IoT, IIoT e Industria 4.0?, diferencias y alcances y relevancia a nivel internacional y nacional.

Para lo anterior, se utilizaron técnicas de observación y recolección documental con el fin de recopilar la teoría necesaria para desarrollar los puntos establecidos. Con la información recogida, se concretó un mapa de definición de concepto para Industria 4.0 (Tabla 1), utilizando el esquema de diagrama de conceptos descrito por Campos Arenas (Barrera, 2010, p. 1250) aplicado y adaptado para la Industria 4.0, que sintetiza su conceptualización y definición, fruto de la síntesis de la información recogida y el desarrollo de los puntos principales propuestos, dando cumplimiento al primer objetivo de investigación. Adicionalmente se obtuvieron los siguientes resultados:

1. La cuarta revolución industrial dio paso al concepto de Industria 4.0, que fue acuñado en Alemania por su gobierno en 2011, y presentado formalmente en la feria de Hannover de 2013 para describir cómo la cuarta revolución industrial revolucionará la organización de las cadenas de valor mundiales, donde los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de forma flexible y a escala mundial. Este concepto no es un concepto pasajero y se ha convertido en una estrategia nacional de diferentes países, como España, Alemania y Japón, para generar ventajas competitivas en la industria.

2. La Industria 4.0 se encuentra en desarrollo, con un interés alto por parte de las empresas y los gobiernos, los cuales están invirtiendo un importante capital en investigaciones y tecnología de punta para adaptarse a esta nueva forma de industrialización (Schwab, 2016, p. 9-10).

3. El Industrial Internet of Things (IIoT) es un marco conceptual general, amplio y abstracto en el cual se encuentran inmersos dos segmentos. En uno de ellos se encuentra la Industria 4.0, que involucra dos subsegmentos del IIoT que son el operacional y el de supervisión o monitoreo y que se caracterizan por:

3.1. Administrar eficazmente los servicios o acciones repetitivas. Reconociendo patrones, encontrando excepciones o errores y generando nuevos patrones.

3.2. Realizar tareas peligrosas y/o repetitivas de los humanos.

Aplicando patrones de forma continua e interactiva, buscando mejorar los patrones un alto grado de seguridad en las tareas.

4. Se aclaró que la Industria 4.0 es comúnmente llamada “Internet Industrial de las Cosas”, “Internet Industrial”, “Smart Factory” o “Manufactura 4.0”. Sin embargo, se considera que los nombres más precisos son “Industria 4.0” o “Industrial Internet of Things”, teniendo en cuenta que al analizar la literatura, los demás conceptos tratan temas que abarcan una parte específica de la Industria 4.0 y son comúnmente confundidos con el área principal o tema raíz.

5. La Industria 4.0 tiene sus raíces en la “Cuarta Revolución Industrial” y el “Internet de las cosas”, y su propósito es construir un modelo de producción altamente flexible para productos y servicios personalizados, con interacciones en tiempo real entre ellos, las personas y los dispositivos durante la producción.

6. Se propuso una definición de Industria 4.0 que dice: “La Industria 4.0 es la integración de las tecnologías digitales, de la información y comunicaciones con la industria, permitiendo que las operaciones, procesos y dispositivos industriales sean inteligentes, interconectados y digitalmente ubicuos, con el fin de obtener resultados empresariales.

7. Realizar tareas peligrosas y/o repetitivas de los humanos. Aplicando patrones de forma continua e iterativa, buscando mejorar los patrones para tener un alto transformacionales y volver a la industria digital e inteligente”.

Tabla 1.

Mapa de definición de concepto: Industria 4.0.

Concepto a Ilustrar	Conceptos Similares
Industria 4.0	Internet industrial de las cosas (IIoT)
Raíces del Concepto	Internet Industrial - Fábrica inteligente
Internet de las cosas - Cuarta revolución industrial	Manufactura 4.0

Definición

Es la integración de las tecnologías digitales, de la información y comunicaciones con la industria, permitiendo que las operaciones, procesos y dispositivos industriales sean inteligentes, interconectados y digitalmente ubicuos, con el fin de obtener resultados empresariales transformacionales y volver a la industria digital e inteligente.

Propósito

Construir un modelo de producción altamente flexible para productos y servicios personalizados, con interacciones en tiempo real entre ellos, las personas los y dispositivos durante la producción.

Tabla continua...

Características	Palabras y/o Conceptos Clave	Campos de Aplicación
- Conecta la producción con las TIC's. - Permite la comunicación M2M. - Facilita a los componentes y las máquinas gestionar de forma autónoma la producción de una manera flexible, eficiente y eficaz. - Involucra servicios con amplios ciclos de vida, diseñados para operar en condiciones extremas. - Utiliza soluciones integrales de sistemas. - Tolerancia a fallos, pérdidas de estado y datos. - Permite el uso de cualquier tipo de conexión, con el fin de optimizar su funcionamiento. - Facilita la creación de sistemas <i>end-to-end</i>, que interconecten personas, sistemas, procesos de negocio y soluciones analíticas.	ICosas Sensores y actuadores Sistemas de control Sis. de adquisición de datos Conectividad Gestión de datos Analítica Seguridad Monitoreo y/o supervisión Operacionalización Automatización Sistematización	Fabricación (manufactura) Transporte Energía Agricultura Ganadería Minería Salud Sector público
Puntos de Vista o Capas de Caracterización		
Nivel	Actividades o Acciones	
Procesos de negocio	Identificación de los interesados, modelo de negocio, valores, objetivos y marco regulatorio.	
Uso	Consolidación de las capacidades del sistema, casos de uso y secuencias de actividades que involucran intervención humana o lógica.	
Funcional	Identificación de componentes funcionales, interrelaciones y estructuras del sistema, incluyendo las interfaces de interacción.	
Implementación	Determinación de la tecnología necesaria para implementar los componentes funcionales, esquemas de comunicación y procedimientos.	

Fuente: Elaboración propia

Industria

La finalidad del apartado fue establecer un marco conceptual del sector industrial, determinando las áreas principales que lo caracterizan y su importancia a nivel nacional e internacional. Presentando los conceptos teóricos y característicos de la industria, por medio de la recopilación de información, análisis y diseminación de la misma. De esta manera el apartado buscó desarrollar: la definición y conceptualización de industria, las características y áreas de influencia de la industria y la importancia del sector industrial a nivel internacional, nacional y sectorial.

Lo anterior se logró, mediante el análisis de los conceptos teóricos de la industria, el estudio de diferentes informes de desempeño y el estado de la industria a nivel internacional. Asimismo, se tomó como ejemplo la situación industrial de España para analizar la importancia de la industria para un país. Finalmente, se sintetizaron los resultados en un diagrama descriptivo de la industria (Figura 3), donde se relacionan los conceptos teóricos básicos de la industria y las fuerzas que rodean la labor industrial, logrando el cumplimiento del segundo objetivo de investigación.

Por otra parte, en el tema de la importancia de la industria a nivel nacional e internacional se identificaron los cuatro aspectos que más influyen en ella, que son: el valor agregado manufacturero, exportaciones, empleo y tecnología, de los cuales se obtuvo lo siguiente:

1. La industria y especialmente el sector manufacturero viene participando de manera importante en el PIB de los países durante los últimos 40 años, consolidándose como el motor de crecimiento de las economías.
2. Los encadenamientos internos del sector manufacturero y sus relaciones con los demás sectores provocan un incremento y expansión de la productividad de los sectores, inducido por la demanda (Aparecida Feijó & Tostes Lamónica, 2012, p. 119).
3. La industria promueve el crecimiento económico dinámico, permeando a diferentes sectores de la economía y se debe evitar que la industria nacional de bienes de capital se debilite, de esta manera se impide que la producción de bienes de consumo sea definida y diseñada en otros lugares (Naselli & Leibas, 2014).

4. En relación a los beneficios de la industrialización la United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (Deloitte, s.f., p. 1) concluye que esta es una gran fuerza de cambio estructural y pronostica que seguirá siendo crucial para el crecimiento futuro de los países en desarrollo.
5. La desindustrialización puede generar efectos negativos sobre los países cuando es prematura, reduciendo el potencial de desarrollo económico.
6. La exportación es una de las áreas donde se materializan los efectos positivos que tiene la industria sobre la economía de un país, gracias a la salida de mercancías, capitales y servicios con destino al mercado exterior.
7. Los menores precios y la gran competitividad del mercado, vienen provocando que las empresas manufactureras trasladen su producción a otros países.
8. La industria manufacturera genera efectos a largo plazo en los factores asociados al empleo, debido a la creación de empleos productivos formales, principalmente en la etapa temprana del desarrollo industrial ((Deloitte,s.f., p. 2, 35).
9. La tecnología y la industria van de la mano, por lo que incorporar tecnologías modernas conduce a la transformación industrial, mejora la productividad del trabajo y optimiza la estructura productiva, por consiguiente, la economía del país se vería afectada positivamente a largo plazo por el desarrollo de un sector industrial avanzado, al mejorar los estándares de productividad y competitividad.

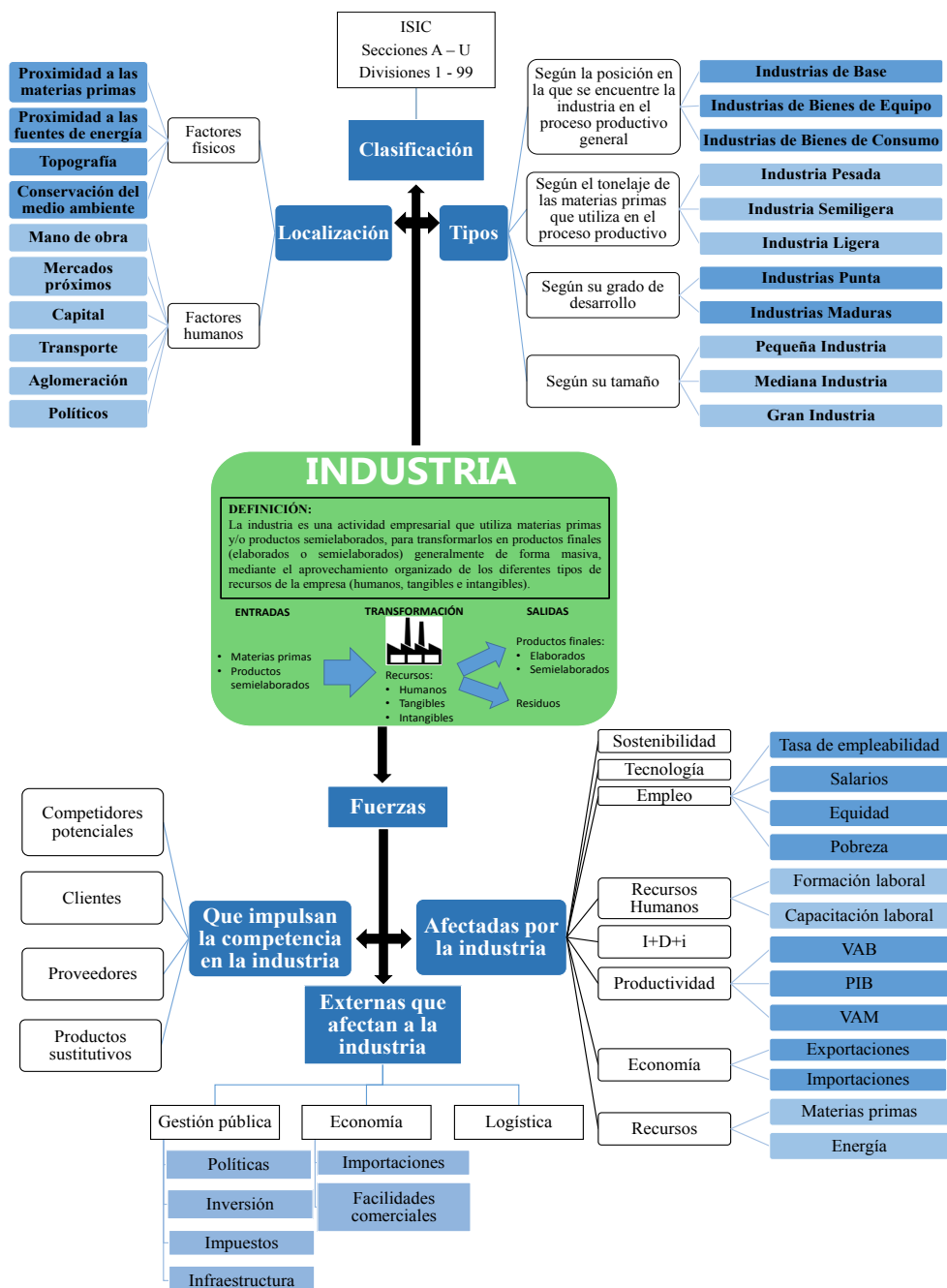


Figura 3. Descripción de la industria.

Competitividad e innovación industrial: el índice de competitividad industrial

Este apartado consta de dos partes, una que responde al nivel de identificación y la otra que responde al nivel de ponderación. Para el nivel de identificación el apartado buscó definir y caracterizar la competitividad industrial a nivel internacional, además de identificar los diferentes índices de competitividad industrial. Para ello se utilizaron técnicas de observación y recolección documental con el fin de determinar inicialmente las bases y enfoques teóricos de la competitividad, para luego poder llegar a una propuesta de definición de competitividad industrial, cumpliendo de esta manera el tercer objetivo de investigación.

Adicionalmente, teniendo en cuenta las diferentes definiciones encontradas sobre competitividad industrial (Garay S, 1998, p. 564) (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, 2016, p. 39), se propone la siguiente definición: “La competitividad industrial es una medida del valor agregado y la capacidad productiva de los sectores y actividades industriales, para poder hacer presencia en los mercados nacionales e internaciones, producto del uso eficiente, eficaz y optimizado de los recursos, relaciones, procesos y tecnologías involucradas, tanto en el proceso productivo, como en la cadena de valor de la industria”.

Por otra parte, el análisis teórico de los índices de competitividad industrial, llevó a concluir que existen dos grupos de índices, que se diferencian en la forma de medir la competitividad en la industria. El primero lo hace mediante flujos comerciales y el segundo utiliza índices de ventajas comparativas reveladas de dos tipos:

1. Aquellos que consideran que la competitividad está determinada por la relación entre exportaciones e importaciones, por ejemplo los índices $nxij$ y Vij .
2. Los que basan la competitividad exclusivamente en el desempeño de las exportaciones, por ejemplo los índices Sij y eij .

Como resultado del análisis de los diferentes desarrollos teóricos sobre índices de competitividad industrial, se determinó que por la dificultad que tienen las industrias tradicionales para medir su competitividad, ante la gran cantidad de variables no disponibles en estadísticas nacionales e internacionales, es conveniente emplear el índice Vij elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO).

En referencia a los índices de competitividad industrial que actualmente están recogiendo datos y elaborando informes de competitividad industrial, se concluye que los más importantes son el Índice de Rendimiento Industrial Competitivo (RIC) de la UNIDO y el índice global de competitividad manufacturera de Deloitte.

Nivel De Ponderación

Una vez cumplidos los objetivos de investigación del nivel de identificación, se tuvieron los insumos necesarios para desarrollar el nivel de ponderación el cual responde al objetivo 4 de investigación. Este nivel buscó concretar los elementos necesarios para el desarrollo del modelo teórico relacional, precisando y jerarquizando los elementos y eventos determinados en el nivel de identificación.

A continuación se describen los principales resultados dentro de cada uno de los apartados del nivel de ponderación:

Competitividad e innovación industrial: el índice de competitividad industrial

Como se mencionó anteriormente, este apartado responde al nivel de identificación y ponderación. Para el nivel de ponderación se tomaron en cuenta los resultados del nivel de identificación, y se compararon los principales índices de competitividad industrial, con el fin de seleccionar el índice internacional que mejor describa la competitividad de este sector y las posibles áreas o procesos que la puedan influir. Para ello se realizó una tabla comparativa (Tabla 2) de las características de cada índice y se analizó posteriormente, con los siguientes resultados:

1. Cada índice es elaborado con técnicas de recolección de datos diferentes, la UNIDO utiliza datos sociales, económicos y financieros, dándole un enfoque más cuantitativo, mientras que Deloitte utiliza datos recogidos de encuestas a expertos, por lo cual presenta un enfoque más cualitativo.
2. Teniendo en cuenta el enfoque y dimensiones de cada índice, estos difieren de gran manera entre ellos, así como sus correspondientes indicadores.
3. El indicador de la UNIDO goza de madurez por tener más de 30 años de elaboración y desarrollo, mientras que el de Deloitte va por su tercera entrega.
4. La UNIDO abarca casi el total de los países, mientras que Deloitte solo presenta datos de un número limitado de países, excluyendo algunos países bien posicionados en el índice de la UNIDO.
5. El índice de Deloitte tiene su última entrega en el año 2016, mientras que el de la UNIDO fue en el año 2014, lo cual supone un problema para su estudio.
6. La periodicidad del índice de la UNIDO es más alta que el de Deloitte, lo cual facilita la trazabilidad de los datos.

7. Deloitte no facilita las fuentes de información y datos utilizados para la construcción del índice, adicionalmente no cuenta con conjuntos de datos o algún medio (Interfaz de Programación de Aplicaciones - API) para extraer y manipular los datos.
8. Los únicos años donde ambos índices publicaron datos de competitividad industrial son el 2010 y 2013, es decir, el 2010 y el 2013 son los únicos años donde se pueden contrastar datos entre índices.

Tabla 2.*Comparación entre índices de competitividad industrial.*

Característica	Índice De Competitividad Industrial De La Unido	Índice Global De Competitividad En Manufactura De Deloitte
Fuente	UNIDO	Deloitte
Año de elaboración	1985	2010
Rango de datos	1990 a 2014	2010, 2013 y 2016
No. de dimensiones	3	3
Dimensiones	1. Capacidad de producción y exportación de manufacturas. 2. Profundización y mejora tecnológica. 3. Impacto nacional.	1. Confianza empresarial y entorno actual. 2. Competitividad en manufactura. 3. Demografía.
No. de Indicadores	8	12
Indicadores	1. Valor Agregado Manufacturero <i>per capita</i> . 2. Exportaciones por manufactura <i>per capita</i> . 3. Intensidad de industrialización. 4. Calidad de las exportaciones. 5. Impacto nacional en la manufactura mundial en términos de participación en el valor agregado mundial.	1. Talento 2. Costo de la competitividad. 3. Productividad de la fuerza laboral. 4. Red de proveedores. 5. Sistema regulatorio y legal. 6. Educación–Infraestructura. 7. Infraestructura física. 8. Factores económicos y financieros. 9. Políticas de innovación. 10. Políticas de energía.

Tabla continua...

Característica	Índice De Competitividad Industrial De La Unido	Índice Global De Competitividad En Manufactura De Deloitte
	6. Impacto nacional en la manufactura mundial en términos de participación en comercio mundial de la industria.	11. Atractivo del mercado local. 12. Sistema de salud.
Método de recolección de datos	Datos económicos de manufactura y relacionados a nivel mundial.	Encuesta a CEO's del sector de la manufactura a nivel mundial.
Cantidad de países relacionados	168	2010: 26, 2013: 38, 2016: 40
API	Sí	No
Dataset disponible	Sí	No
Informe disponible	Sí	No
Acceso a los microdatos de desarrollo	Sí	No
Periodicidad	Anual	Trienal
Escala	0 - 0.7	0 - 10

Paso seguido se realizó un análisis visual de los datos contrastando gráficamente las diferencias en la medición, como se muestra en la Figura 4 y Figura 5.

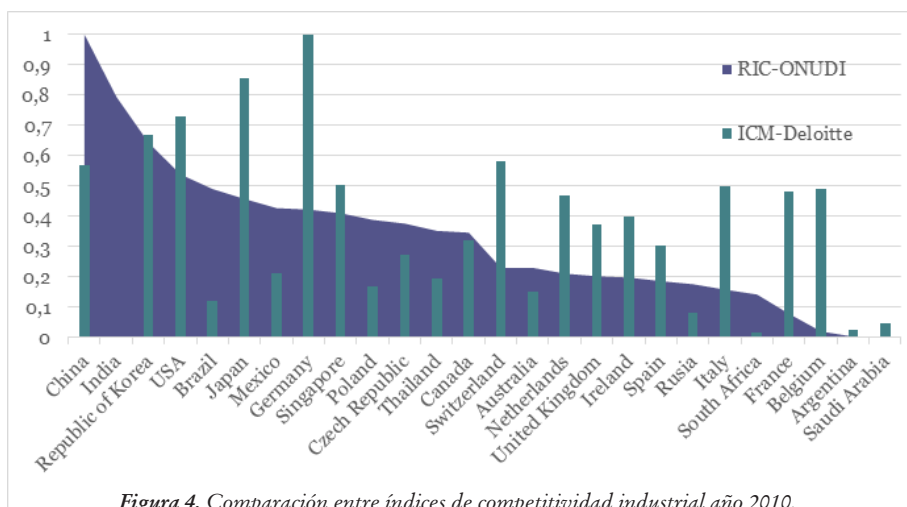


Figura 4. Comparación entre índices de competitividad industrial año 2010.

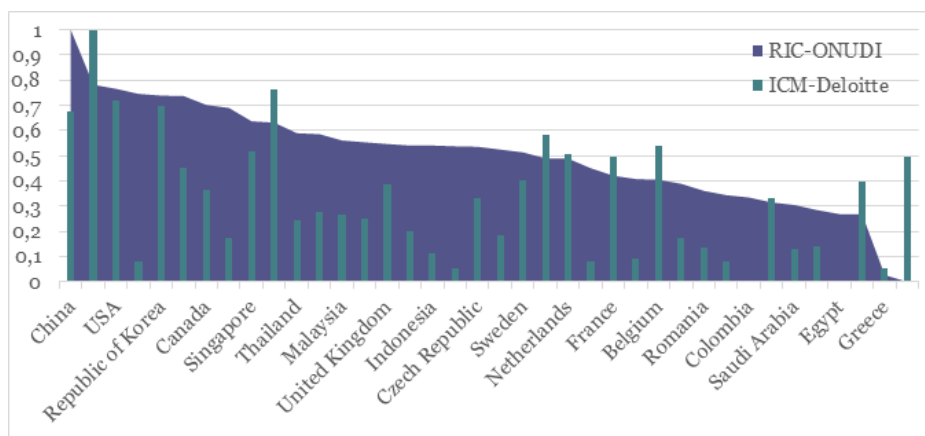


Figura 5. Comparación entre índices de competitividad industrial año 2013.

Luego de realizar el análisis entre los índices, se hizo el cálculo de la suma de los errores cuadrados (SSE) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), para los años referencia, con el fin de observar cuantitativamente las diferencias o error promedio entre ambos índices, tomando como base el índice de la UNIDO, arrojando los resultados presentados en la Tabla 3.

Tabla 3.

RMSE y SSE entre los índices de competitividad industrial.

RMSE_2010	0.30559292933826
RMSE_2013	0.287839182073675
SSE_2010	2.428063
SSE_2013	3.148353

Fuente: Elaboración Propia usando el software R®.

Los resultados del RMSE varían entre 0 y 1, siendo 0 el mínimo error y 1 el máximo error, por lo que los datos indican que existe un error promedio del 30% entre los índices, siendo este un error considerable y representativo del nivel de diferencia a la hora de evaluar los países.

De igual manera, se calculó la correlación entre los índices para los años referencia, con el propósito de medir la relación lineal entre los dos conjuntos de valores y establecer si varían sistemáticamente entre ellos o qué tanto lo hacen, arrojando los resultados de la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4.*Correlación entre los índices de competitividad industrial en 2010.*

	RIC.ONUDI	ICM.Deloitte
RIC.ONUDI	1.0000000	0.2624195
ICM.Deloitte	0.2624195	1.0000000

*Fuente: Elaboración Propia usando el software R®.***Tabla 5.***Correlación entre los índices de competitividad industrial en 2010.*

	RIC.ONUDI	ICM.Deloitte
RIC.ONUDI	1.0000000	0.4711151
ICM.Deloitte	0.4711151	1.0000000

Fuente: Elaboración Propia usando el software R®.

Los resultados de la correlación varían entre 0 y 1, donde 0 indica una baja correlación y 1 alta correlación, por lo que el valor más óptimo para este caso es que sea cercano a 1. Por lo anterior, podemos observar en las tablas que los valores están pobremente correlacionados, confirmando nuevamente la poca relación entre los índices.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que los índices no se corresponden, mostrando valores diferentes y difusos entre ellos. Sin embargo, tomando en cuenta las diferencias encontradas al analizar la Tabla 2 (Comparación entre índices de competitividad industrial.Tabla 2. Comparación entre índices de competitividad industrial.) y las inconsistencias halladas al comparar los datos con los resultados de otras fuentes de informes de competitividad, es válido decir que el índice de la UNIDO es más preciso que el de Deloitte. Por lo anterior el índice RIC de la UNIDO fue el índice base para análisis posteriores de la investigación.

Posteriormente, se consolidaron los factores de competitividad tanto a nivel país, como a nivel empresa. Para ello, se analizaron las diferentes propuestas a nivel internacional y se tomaron en cuenta las mejores aproximaciones. Con lo anterior y los resultados de los apartados y capítulos anteriores se elaboró una propuesta de modelo explicativo de la competitividad industrial a nivel país y a nivel empresa, utilizando como referencia la norma ISO/IEC/IEE 42010:2011 (ISO/IEC/IEEE, 2010), que define los requisitos que debe cumplir las descripciones de arquitecturas empresariales, sistemas o software. De igual forma, para la representación gráfica se adoptó la propuesta del Industrial Internet Consortium (Industrial Internet Consortium Technology Working Group, 2017, págs. 12, 13), que busca mediante la aplicación de la norma ISO/IEC/IEE

42010:2011 identificar los principales constructos, asuntos, interesados, puntos de vista, tipos de modelo, reglas de correspondencia y condiciones de aplicabilidad de un sistema. De esta forma, aclarando, analizando y resolviendo cada elemento en particular que tiene relación con el sistema en sí mismo.

La Figura 6 muestra la propuesta gráfica de la norma ISO/IEC/IEEE 42010:2011 desarrollada por el Industrial Internet Consortium en la que se puede identificar tres componentes principales. El primero de ellos son los interesados (Stakeholders), que representan individuos, equipos, organizaciones o clases que tienen intereses en el sistema. El segundo son los puntos de vista (Viewpoints), estos representan los asuntos, características o aspectos específicos que integran y describen el sistema. El tercer y último componente son las representaciones a bajo nivel de los puntos de vista, que contienen los asuntos (concerns) o tópicos de interés que representan al punto de vista tratado y son los que ayudan a describir y analizar la interacción entre los interesados y los puntos de vista. Igualmente, la propuesta gráfica puede tener elementos transversales a los puntos de vista, que pueden llegar a reforzar la descripción del sistema y sus interacciones.

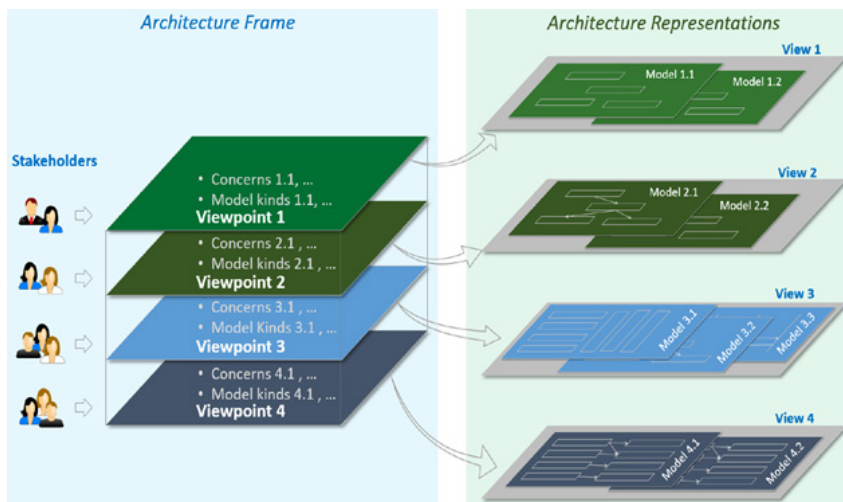


Figura 6. Propuesta gráfica de la ISO/IEC/IEEE 4201:2011.

Fuente: Industrial Internet Consortium Technology Working Group, 2017, p. 13

Teniendo en cuenta lo anterior, la Figura 7 y Figura 8 muestran la propuesta de modelo explicativo de la competitividad industrial a nivel país y a nivel empresa.

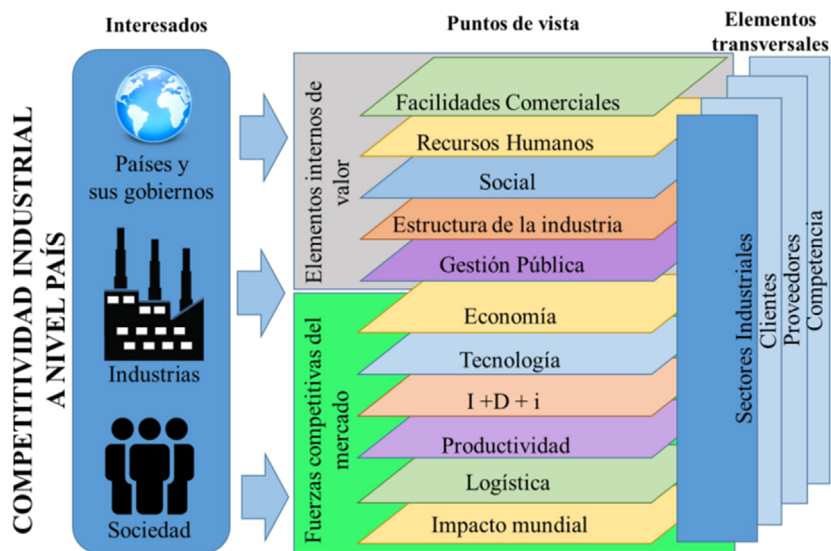


Figura 7. Modelo explicativo de la competitividad industrial a nivel país.

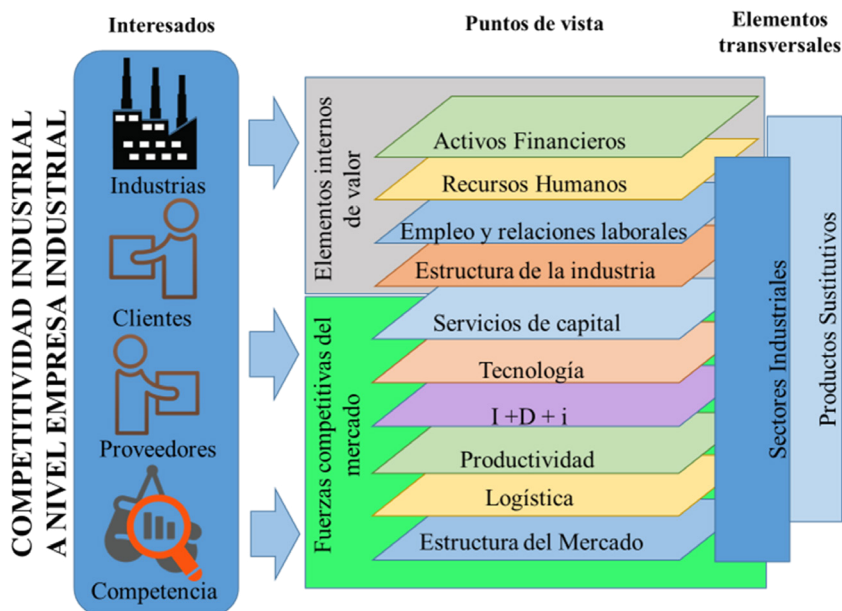


Figura 8. Modelo explicativo de la competitividad industrial a nivel empresa.

Industria 4.0

Este apartado desarrolló a profundidad el concepto de Industria 4.0, retomando los resultados del nivel de identificación, buscando esencialmente determinar las áreas más significativas y que mejor describen el concepto de Industria 4.0, para posteriormente jerarquizarlas y determinar cuál de ellas puede generar mayor impacto mediante un modelo explicativo, para de esta manera dar cumplimiento a la parte final del cuarto objetivo de investigación. Lo anterior se logró tratando los siguientes puntos:

1. Especificación de las áreas de influencia de la Industria 4.0.
2. Identificación de casos de implantación de la Industria 4.0.
3. Prospectiva teórica y potenciales aportaciones futuras de la Industria 4.0.

Así las cosas, a continuación se presenta la propuesta de modelo explicativo de la Industria 4.0 a nivel país (Figura 9) y a nivel empresa industrial (Figura 10), basado principalmente en los modelos conceptuales desarrollados por el Gobierno de España, Gobierno de Alemania y el Industrial Internet Consortium.

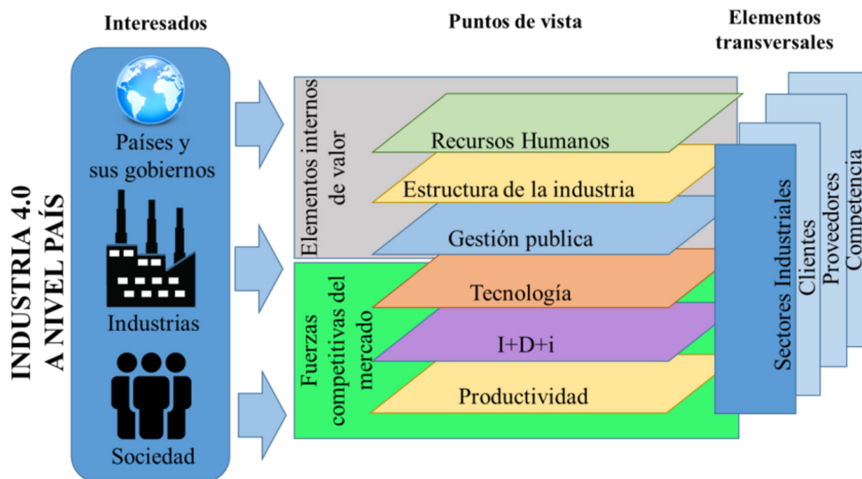


Figura 9. Modelo explicativo de la Industria 4.0 a nivel país.

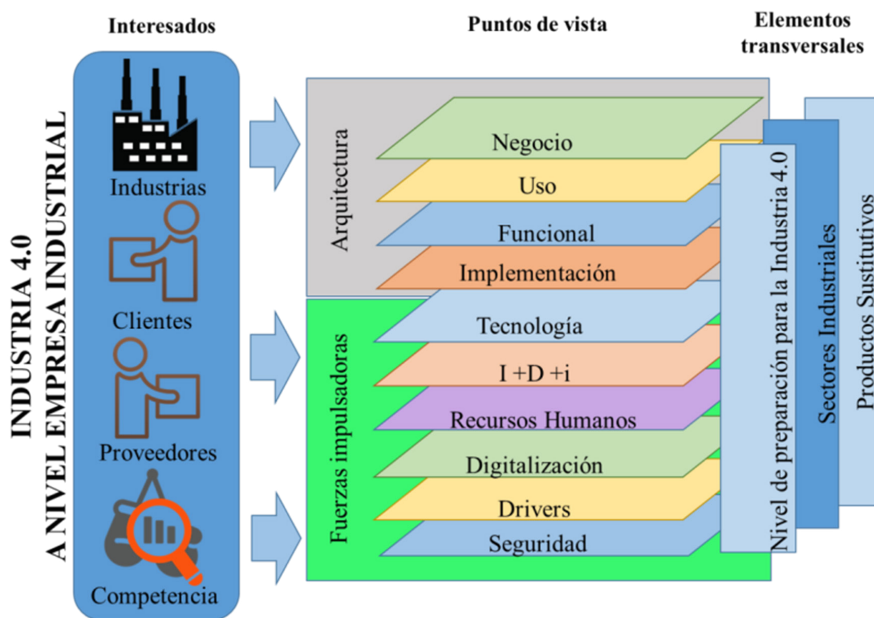


Figura 10. Modelo explicativo de la Industria 4.0 a nivel empresa industrial.

Nivel de Modelo Teórico

Teniendo los resultados del nivel de ponderación se procedió con el nivel de modelo teórico, que responde al objetivo 5 de investigación. Para tal fin se desarrollaron dos modelos de datos y un estudio teórico empírico que permitió explicar de qué manera se relaciona la competitividad industrial y la Industria 4.0, mediante dos etapas, un análisis cuantitativo y un análisis de relaciones.

El análisis cuantitativo consistió en el desarrollo de dos modelos de predicción del índice de competitividad industrial, utilizando factores externos (relacionados en la Tabla 6), mediante el Análisis de Componentes Principales (PCA), tanto para el índice de competitividad de la UNIDO, como para el de Deloitte, utilizando los conjuntos de datos relacionados con los resultados del nivel de ponderación, permitiendo de esta manera conocer las variables más significativas y que mejor describen la competitividad

industrial a nivel internacional, determinando cuantitativamente la relación e importancia de la Industria 4.0 para la primera, así:

1. Modelo de predicción del índice de competitividad de la UNIDO, con factores externos.

$$Y = -0.417435 + 0.0004208 \beta_1 + 0.0406724 \beta_2 + 0.0661156 \beta_3 + 0.1897599 \beta_4$$

Donde,

$$Y = CPI_ONUDI$$

$$\beta_1 = FC_LSCI$$

$$\beta_2 = E_MS$$

$$\beta_3 = IDI_I$$

$$\beta_4 = P_IEQI$$

2. Modelo de predicción del índice de competitividad de Deloitte, con factores externos.

$$Y = -125.126 - 4.815 \beta_1 - 17.053 \beta_2 + 23.552 \beta_3 + 11.931 \beta_4 + 21.993 \beta_5$$

Donde,

$$Y = CPI_DELOITTE$$

$$\beta_1 = FC_LTE$$

$$\beta_2 = GP_INF$$

$$\beta_3 = E_MS$$

$$\beta_4 = IDI_I$$

$$\beta_5 = P_GEM$$

Tabla 6.
Descripción de variables para la elaboración de los modelos.

Punto de Vista (Variables)	Fuente	Nombre	Id Data Set	Periodicidad	Escala	Coefficiente Esperado con Respecto al CPI
OBJ	Deloitte	Competitive Industrial Performance Index	CPI_ELOITTE	Anual	0 - 1	N/A
OBJ	United Nations Industrial Development Organization (United Nations Industrial Development Organization)	Competitive Industrial Performance Index	CPI_UNIDO	Anual	0 - 1	N/A
Facilidades comerciales	World Bank (World Bank)	Burden of customs procedure	FC_BCP	Anual	1 - 7	+
		Lead time to export	FC_LTE	Anual	Días	-
		Lead time to import	FC_LTI	Anual	Días	-
		Documents to export	FC_DE	Anual	Cant	-
		Documents to import	FC_DI	Anual	Cant	-
		Quality of port infrastructure	FC_QPI	Anual	1 - 7	+
	UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development)	Liner shipping connectivity index	FC_LSCI	Anual	0 - 200	+
Recursos humanos	World Economic Forum (World Economic Forum)	4th pillar: Health and primary education	RH_HPE	Anual	0 - 7	+
		5th pillar: Higher education and training	RH_HET	Anual	0 - 7	+
Social	United Nations Development Programme (United Nations Development Programme)	Human development index (HDI)	S_HDI	Anual	0 - 1	+ o -
Estructura de la industria	United Nations Industrial Development	Industrialization intensity index	EI_III	Anual	0 - 1	+

Tabla continua...

Punto de Vista (Variables)	Fuente	Nombre	Id Data Set	Periodicidad	Escala	Coefficiente Esperado con Respecto al CPI
	Organization (United Nations Industrial Development Organization)					
Gestión pública	World Economic Forum (World Economic Forum)	1th pillar: Institutions	GP_INS	Anual	0 - 7	+
		2th pillar: Infrastructure	GP_INF	Anual	0 - 7	+ o -
Economía	World Economic Forum (World Economic Forum)	3th pillar: Macroeconomic environment	E_ME	Anual	0 - 7	+
		8th pillar: Financial market development	E_FMD	Anual	0 - 7	+
		10th pillar: Market size	E_MS	Anual	0 - 7	+
Tecnología	World Economic Forum (World Economic Forum)	9th pillar: Technological readiness	T_TR	Anual	0 - 7	+
	World Economic Forum (World Economic Forum, 2016)	Global Information Technology Index	T_GITI	Anual	0 - 7	+
	United Nations Industrial Development Organization (United Nations Industrial Development Organization)	Share of Medium and High-Tech Activities in Manufacturing Export Index	T_SMHAMEI	Anual	0 - 1	+
I+D+i	World Economic Forum (World Economic Forum)	12th pillar: Innovation	IDI_I	Anual	0 - 7	+
Productividad	World Economic Forum (World Economic Forum)	6th pillar: Goods market efficiency	P_GEM	Anual	0 - 7	+
		7th pillar: Labor market efficiency	P_LME	Anual	0 - 7	+
	United Nations Industrial Development Organization	MVA per capita index	P_MVA_PCI	Anual	0 - 1	+
		Manufactured Exports per capita	P_MEPCI	Anual	0 - 1	+

Tabla continua...

Punto de Vista (Variables)	Fuente	Nombre	Id Data Set	Periodicidad	Escala	Coefficiente Esperado con Respecto al CPI
	(United Nations Industrial Development Organization)	index Industrial export quality index	P_IEQI	Anual	0 - 1	+
Logística	World Bank (World Bank)	Logistic Performance Index	L_IDL	Bienal	0 - 5	+
Impacto mundial	World Economic Forum (World Economi Forum)	11th pillar: Business sophistication	IM_BS	Anual	0 - 7	+

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la aplicación del método de árboles de decisiones usando el software Bigml®, generó un modelo de predicción accionable de los índices de competitividad industrial, utilizando factores externos (relacionados en la Tabla 6), tanto para el índice de competitividad de la UNIDO, como para el de Deloitte, los cuales se pueden consultar en línea a través de los enlaces relacionados en las fuentes (Cabuya Padilla, Big- ml, 2017) y (Cabuya Padilla, Bigml, 2017). La representación de estos modelos se pueden observar en la Figura 11 y Figura 12.

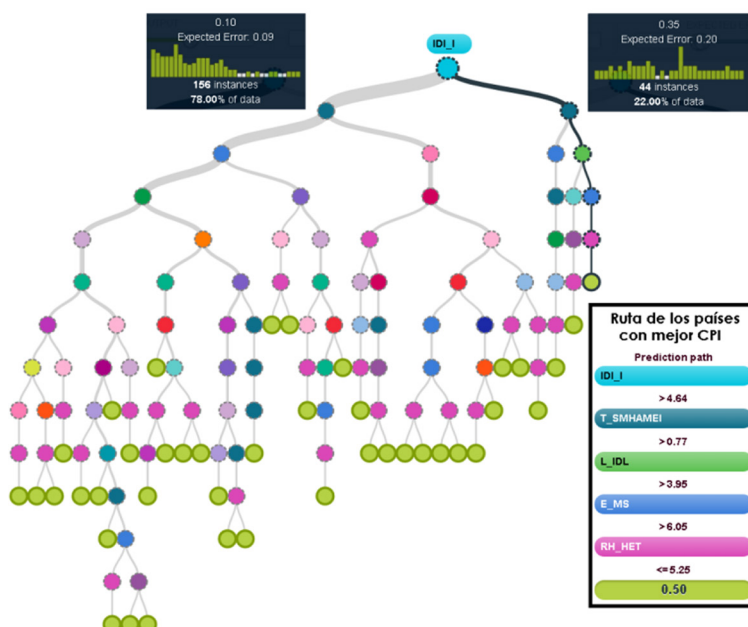


Figura 11. Modelo óptimo en BigML® usando Ensemble methods para el CPI_UNIDO.

Fuente: Elaboración propia usando el software BigML®.

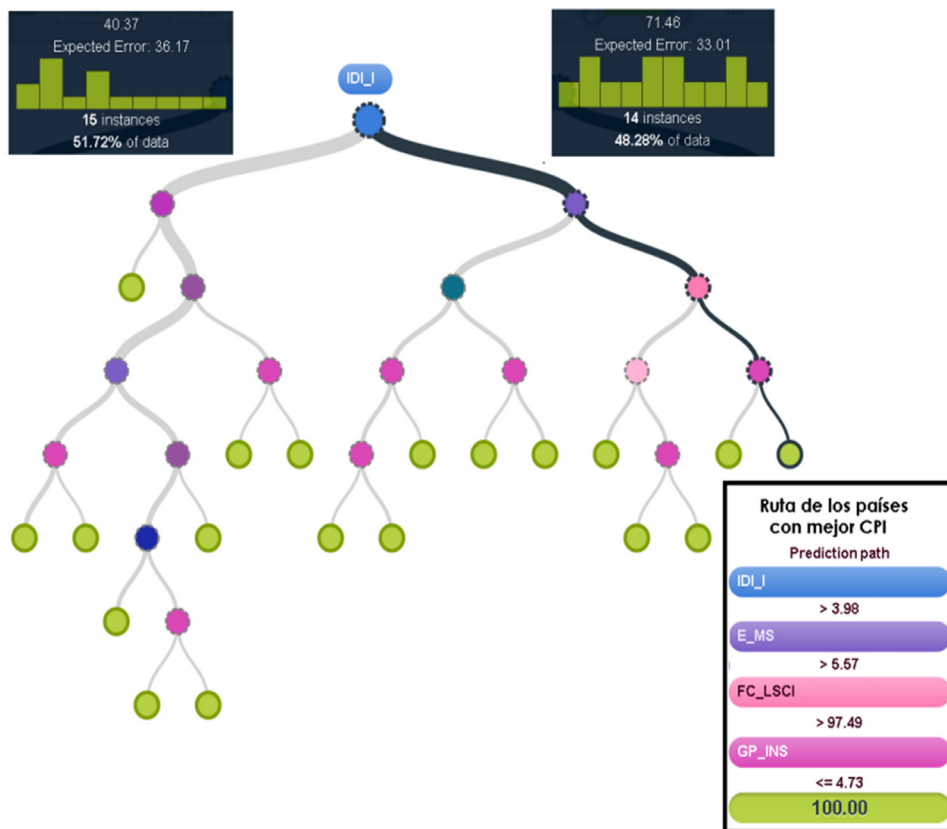


Figura 12. Modelo óptimo en BigML® para el CPI_DELOITTE.

Fuente: Elaboración propia usando el software BigML®.

Finalmente, y con el fin de complementar la explicación de las relaciones entre la Industria 4.0 y la Competitividad Industrial, más allá del análisis cualitativo, se desarrolló un análisis empírico de los tipos de relaciones existentes (identidad, inclusión, unión, correspondencia, oposición, contingencia, etc.) entre la Industria 4.0 y la competitividad industrial, para dar lugar a la generación de ventajas competitivas en el sector a nivel internacional. El análisis parte de lo general a lo específico, teniendo como base para establecer estas relaciones los resultados de los niveles anteriores y las relaciones presentadas en la Figura 13, dando como resultado general lo presentado en la Figura 14.

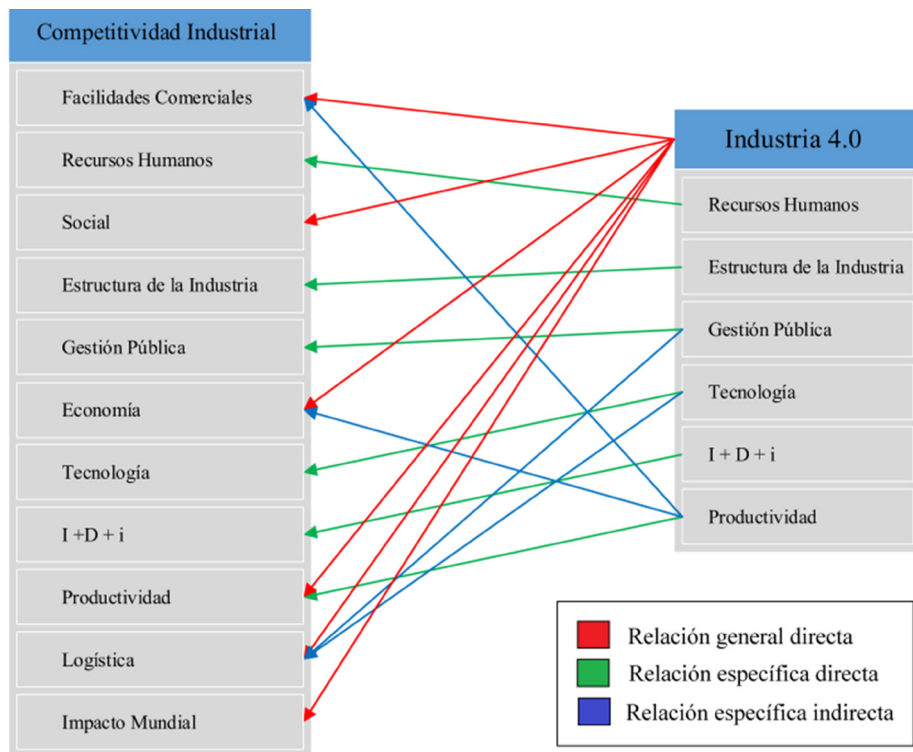


Figura 13. Relaciones de correspondencia a nivel punto de vista.

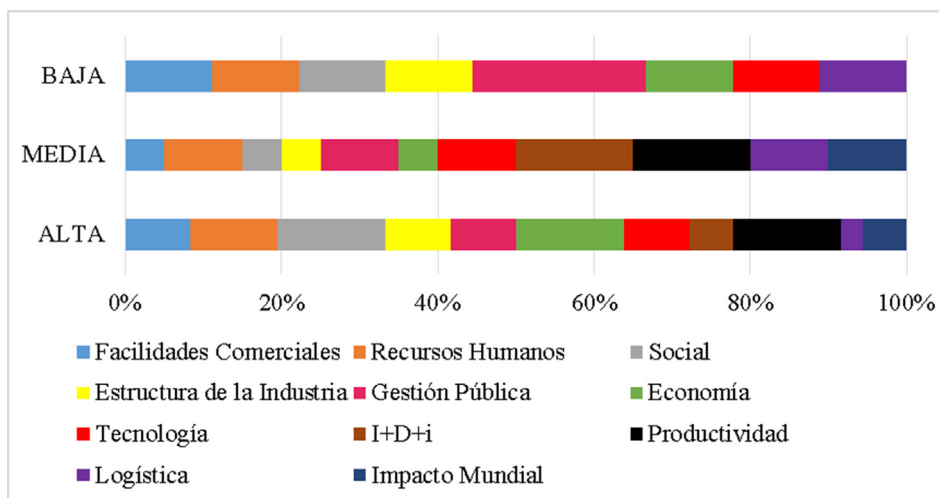


Figura 14. Porcentaje de cada punto de vista en el total por nivel de relación.

Conclusiones

De los modelos de predicción elaborados se concluye lo siguiente:

La aplicación del PCA para el índice de competitividad de la UNIDO, dio como resultado que la variable de Innovación hace parte del conjunto de variables más significativas y que mejor describen a la competitividad industrial de la UNIDO, estableciéndose como el segundo componente más importante de los cuatro componentes establecidos, indicando que para cada unidad adicional en la variable de innovación se puede esperar que el valor del índice de competitividad industrial mejore en una media de 0.066.

La aplicación del PCA para el índice de competitividad de Deloitte, dio como resultado que la variable de Innovación hace parte del conjunto de variables más significativas y que mejor describen a la competitividad industrial de Deloitte, estableciéndose como el cuarto componente más importante de los cuatro componentes establecidos, indicando que para cada unidad adicional en la variable de innovación se puede esperar que el valor del índice de competitividad industrial mejore en una media de 11.931.

La aplicación del método de árboles de decisión para ambos índices dio como resultado que la variable de Innovación es la variable más significativa, con mayor ponderación y que mejor describe el comportamiento de la competitividad industrial, estableciéndose como la variable decisoria de primer nivel para predecir el índice de competitividad industrial.

Los resultados de la aplicación del PCA y del método de árbol de decisiones arrojaron resultados similares para cada uno de los casos, donde se estableció que la variable de innovación es una de las variables más importantes y que mejor describen a la competitividad industrial, y esta variable a su vez refleja el comportamiento de las variables de tecnología por el alto grado de correlación entre ellas, observado en el análisis de correlación realizado. Por lo anterior se confirmó la hipótesis planteada para el análisis cualitativo, que dice: “Las variables de innovación y tecnología son las más significativas y que mejor describen a la competitividad industrial a nivel país y reflejan la relación e importancia de la Industria 4.0 para la generación de ventajas competitivas”.

Del análisis empírico de los tipos de relaciones existentes (identidad, inclusión, unión, correspondencia, oposición, contingencia, etc.) entre la Industria 4.0 y la competitividad industrial, para dar lugar a la generación de ventajas competitivas en el sector a nivel internacional, se concluye que todos los puntos de vista de la competitividad industrial guardan algún nivel y tipo de relación con la Industria 4.0, y más de un 50% de estas relaciones revisten gran importancia e influencia para generar ventajas competitivas a nivel industrial. Entre los puntos de vista más influenciados por la Industria 4.0 están la productividad, I+D+i, tecnología, economía y social.

Finalmente, se proponen unas posibles líneas de investigación en relación al tema, que son:

1. Metodologías de implementación de la Industria 4.0 en sectores específicos, difíciles para su adopción, como es el caso de la industria naval, para facilitar a las empresas procedimientos estándar de implementación, adaptados a sus necesidades.
2. Efectos de la Industria 4.0 sobre el ámbito social y cómo abordarlos en la industria para que se tornen positivos. Con el propósito de mitigar los posibles efectos negativos de la Industria 4.0 sobre la sociedad.
3. Elaboración de perfiles profesionales y planes de carrera profesional en el sector industrial, con miras al cambio dado por la inminente “cuarta revolución industrial”.

Referencias

- Aparecida Feijó, C., & Tostes Lamônica, M. (2012). *Importancia del sector industrial para el desarrollo de la economía brasileña*. (107).
- Atzori, L., Lera, A., & Giacomo, M. (24 de Diciembre de 2016). *Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm*. *Ad Hoc Networks*, 26 (2017), 122 - 140.
- BBC Noticias. (12 de Octubre de 2016). *Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos)*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>
- Cabuya Padilla, D. E. (Junio de 2017). *Bigml*. (Bigml) Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <https://bigml.com/shared/model/6Fbl2HNEYTEOoPeEvZXkn4q5L6t>
- Cabuya Padilla, D. E. (Junio de 2017). *Bigml*. (Bigml) Recuperado el 1 de Junio de 2017, de <https://bigml.com/shared/model/07utKcgEnE3hvb4SzfQUKQEoqez>
- Deloitte. (s.f.). *Índice Global de Competitividad en Manufactura 2016*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/manufacturing/articles/global-manufacturing-competitiveness-index.html#regionalCluster>
- Díaz Chao, Á., & Torrent Sellens, J. (2015). *Construcción del Índice de Competitividad de la Empresa Industrial (ICEMPI)*. Recuperado el 8 de Abril de 2017, de Fundación SEPI: <http://www.fundacionsepi.es/investigacion/publicaciones/documentosTrabajo/wp1.pdf>

- Engineers Journal. (14 de Junio de 2016). *Future trends in engineering: global urbanisation and the fourth industrial revolution*. Recuperado el 10 de Febrero de 2018, de <http://www.engineersjournal.ie/2016/06/14/future-trends-in-engineering-global-urbanisation-the-fourth-industrial-revolution>
- Erol, S., Jager, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
- Garay S, L. J. (Julio de 1998). *Colombia: estructura industrial e internacionalización 1967 - 1996*. Recuperado el 4 de Abril de 2017, de Banco de la República de Colombia: Actividad cultural: <http://www.banrepcultural.org/sites/default/files/libro.pdf>
- Hurtado de Barrera, J. (2010). *Metodología de la Investigación*. Caracas, Venezuela: Quirón Ediciones.
- Hurtado de Barrera, J. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas, Venezuela, Venezuela: Quirón Ediciones.
- Industrial Internet Consortium Technology Working Group. (2017). *The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture*. Industrial Internet Consortium.
- ISO/IEC/IEEE. (2010). International standard 42010. *Systems and software engineering - Architecture description*. Switzerland.
- Naselli, I., & Leibas, L. (25 de Noviembre de 2014). *De política industrial y otras cuestiones*. (Editorial Melipal) Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de Informe Industrial: http://www.informeindustrial.com.ar/verNota.aspx?nota=De%20pol%C3%ADtica%20industrial%20y%20otras%20cuestiones__894
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO). (2016). *Informe sobre el Desarrollo Industrial: El rol de la tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusivo y sostenible (Resumen)*. Viena: UNIDO.
- Schuh, G., Gartzen, T., Rodenhauser, T., & Marks, A. (2015). Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0. (D. Kreimeier, Ed.) *Procedia CIRP*, 32, 82-87.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.

Shiyong, W., Jiafu, W., Daqiang, Z., Di, L., & Chunhua, Z. (Junio de 2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158-168.

United Nations Conference on Trade and Development. (s.f.). *Data Center*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Liner shipping connectivity index, annual, 2004-2016: <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx>

United Nations Development Programme. (s.f.). *Human development reports*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Datos sobre el Desarrollo Humano (1980-2015): <http://hdr.undp.org/es/data>

United Nations Industrial Development Organization . (s.f.). *UNIDO STATISTICS DATA PORTAL*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de CIP: <http://stat.unido.org/database/CIP%202016.jsessionid=DAA69B6C27FA60A5A3A650D6AFA847D7>

World Bank. (s.f.). *Data*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de World Development Indicators: Trade facilitation: <http://wdi.worldbank.org/table/6.7#>

World Bank. (s.f.). *Datos*. Recuperado el 01 de Junio de 2017, de Índice de desempeño logístico: competitividad y calidad de los servicios logísticos: <http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.LOGS.XQ?view=chart>

World Economic Forum. (s.f.). *Datos*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de The Global Competitiveness Report 2006-2016: <http://knoema.es/WFGCI2015/the-global-competitiveness-report-2006-2016>

World Economic Forum. (s.f.). Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Cuarta revolución industrial: <https://www.weforum.org/es/agenda/archive/fourth-industrial-revolution/>

World Economic Forum. (2016). *Datos*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Global Information Technology Report: <http://knoema.es/GITR2015/global-information-technology-report-2016>



Zarpe del Buque Escuela ARC "Gloria" en crucero de entrenamiento de Cadetes.



Cadetes Navales integrantes de la tripulación del Buque Escuela ARC “Gloria”.

PROPUESTA DE UN MODELO LOGÍSTICO APLICADO A LA CADENA DE VALOR EN UN RÉGIMEN FRANCO PARA UN ASTILLERO NAVAL

Proposal of a logistics model applied to the supply chain in a free zone regime for a naval shipyard

Ricardo Ortiz Vergara¹

Recibido: 12 /06 /2017

Aceptado: 10 /08 / 2018

Resumen

El presente artículo se presenta como una propuesta y alternativa de mejoramiento sostenido al modelo logístico del astillero Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial – COTECMAR. Así pues, para el desarrollo de este documento, fue necesaria la caracterización de su estado actual, para luego poder realizar la identificación de oportunidades de mejora posibles, soportando en esto las iniciativas de un modelo logístico de cara al marco normativo de un régimen franco, fundamentado en los valores de competitividad y sostenibilidad del negocio astillero naval. De esta manera, este artículo analiza el sector astillero como punto de partida, y concatena las oportunidades que brinda el régimen franco colombiano a niveles propios del sector y negocio, identificando en este las ventajas que se deberían implementar operativos claramente identificado, análisis financiero y tributario, jurídico, en comercio exterior y normativo entre otros, con su síntesis en las conclusiones y

recomendaciones del presente trabajo.

Palabras clave: régimen franco, modelo logístico, competitividad, sostenibilidad, aranceles, zona franca.

Abstract

This article is presented as a proposal and alternative for sustained improvement to the logistic model of Astillero Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR; and it is based on a bibliographic review of academic studies, reference models and applications in the industry, identifying the opportunities for improvement of the current system, supporting in this the initiatives of a logistic model for the regulatory framework of a free zone regime, based on the values of competitiveness and sustainability of the shipyard business. The research analyzes the shipyard sector as a starting point, and concatenates the opportunities offered by the Colombian free zone regime at levels of the sector and business, identifying in it

¹Jefe División comercio exterior COTECMAR, Especialista en Logística, Cartagena, rortiz@cotecmar.com

the advantages that should be implemented as well as those of the current system that should be maintained, in such a way that the proposal of the logistic system suggests the balance or parameters that the logistic model should maintain in a free zone regime, with its clearly identified operational schemes, financial and tax

analysis, legal, foreign trade and regulatory among others, with its synthesis in the conclusions and recommendations of the present work.

Keywords: free zona regime, logistic model, competitiveness, Sustainability, Customs tariffs, free zone.

Introducción

Esta investigación reúne el rigor metodológico requerido para trabajar y formular estrategias que mejoren las condiciones actuales del sistema logístico del astillero COTECMAR, en el marco de las diferentes figuras aduaneras o regímenes que el Gobierno Nacional ofrece aplicables a actividades de construcción, modernización y reparación de embarcaciones; dichas figuras están soportadas bajo esquemas de modelos logísticos que vinculen su red de valor, en condiciones competitivas en comparación a mercados regionales sustitutos en el caribe latinoamericano, y que sean focos de desarrollo sectorial colectivo y generadores de empleo a nivel nacional.

Inicialmente se contextualiza la investigación para tener una mejor comprensión de todo. En segunda instancia se caracteriza y diagnostica el modelo logístico, y posteriormente, se propone un modelo aplicado a la cadena de valor de un régimen franco para un astillero naval.

Método

El artículo se centra en los métodos lógicos, a través de la consulta, la deducción, el análisis y la síntesis. Se propone un nuevo modelo logístico aplicado a la cadena de valor. De esta manera, se ejecuta un régimen franco en astillero naval, en el que se realizó una investigación de acuerdo con métodos lógicos recopilando información de aspectos relevantes en la corporación. Se realizan modelaciones estatus quo bajo régimen corporativo de ciencia y tecnología de manera cruzada con modelo logístico propuesto bajo un régimen franco. Para tal fin en adición a la revisión documental en cuanto al marco normativo, jurídico e histórico, se investiga, recopila información y se analizan los siguientes datos estadísticos: Estados financieros años 2015 y 2016, análisis de nómina fija, indefinida y ARC, análisis de beneficios parafiscales otorgados por ser una corporación de ciencia y tecnología, operatividad de comercio exterior actual, derechos de importación asumidos por insumos en las condiciones actuales y de manera estadística, modelo logístico actual, datos estadísticos del entorno y región.

Una vez recopilada la información anterior se desarrollaron proyecciones, modelaciones y análisis que converjan en un equilibrio propuesto en un nuevo modelo logístico enmarcado en las condiciones jurídicas de un régimen franco colombiano.

Contexto de la investigación

COTECMAR, entidad sin ánimo de lucro, de naturaleza estatal y derecho privado, enfocado en el desarrollo de ciencia y tecnología, principal dinamizador del sector astillero en el país, el cual se soporta en un modelo tripartida entre universidades, empresa y estado, que propende un continuo desarrollo sostenible y sustentable además con la proyección de ser el principal astillero de vanguardia e innovación situado en la región caribe Colombiana, adicional a ser referente en la región caribe latinoamericana; enfrenta

múltiples amenazas de tipo tributario, fiscal y aduanero, que limitan las posibilidades de competitividad frente a mercados de la región, además de factores exógenos como lo son los precios de commodities, petróleo y mercados cambiarios que impactan de manera directa en las expectativas de venta del astillero, que si bien no recibe asignación presupuestal por parte del gobierno nacional ya que es una entidad autosustentable, si requiere de condiciones especiales que proyecten y soporten el costo inmerso que consigo traen las iniciativas de desarrollo tecnológico e innovación en la industria naval, marítima y fluvial.

Actualmente el astillero COTECMAR disfruta de algunos beneficios fiscales de acuerdo con la Constitución Política de Colombia, Ley 29 de 1990, Decreto 393 de 1991. Ley 1286 de 2009 – Ciencia y Tecnología, sin embargo, a lo largo de los años las políticas estatales han demostrado inestabilidad y cambios periódicos en el ámbito tributario, aduanero y normativo en cuanto a las corporaciones de ciencia y tecnología, aspecto que obliga al astillero a consolidar alternativas de cambio que aseguren la sustentabilidad del objeto social.

El astillero además debe formular estrategias que mejoren las condiciones actuales, en el marco de las diferentes figuras aduaneras o regímenes que el gobierno nacional ofrece aplicables a actividades de construcción, modernización y reparación de embarcaciones.

Una de las oportunidades de mejora identificadas en el alto costo tributario que genera la importación de insumos de procedencia extranjera necesarios para el proceso de construcción como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.
Evolución Derechos aduanales COTECMAR

Valores en pesos colombianos (COP)

Evolución derechos aduanales en importación de bienes 2014 a 2016

Año	Arancel	IVA	Total derechos
2014	581.237.000	604.188.000	1.185.425.000
2015	634.368.000	325.616.000	959.984.000
2016	1.999.336.000	262.013.000	2.261.349.000

Fuente: DIAN – Datos históricos Usuario Aduanero Permanente -UAP

Generando un impacto positivo que minimice la carga que el modelo actual pro- pende en su rubro de costos logísticos asociados a derechos de aduana, el astillero podría avanzar hacia un estado de competitividad que lo coloquen en punto de lanza de captación de potenciales clientes internacionales y nacionales.

Marcos Referenciales

Es preciso decir que el mercado actual, cada vez más globalizado e industrializado ha obligado a las compañías a desarrollar su modelo logístico soportado en un sistema de aprovisionamiento de una manera más directa y efectiva, haciendo necesario un máximo flujo de información y recursos, que le generen una ventaja competitiva en función de ganar y abrir mercados que cada vez más exigentes.

Desde hace más de setenta años, Colombia viene realizando esfuerzos aislados, por diferentes entidades del gobierno o por parte de los mismos astilleros, por establecer una Industria de astillero capaz de construir y dar soporte técnico a embarcaciones marítimas y fluviales para la defensa de la soberanía nacional y para promover el comercio exterior e interior, marítimo y fluvial respectivamente.

Sin embargo, esta industria, por haber tenido sus inicios en el seno de la Armada Nacional ha sido mantenida en el transcurso de estos años bajo su responsabilidad con posibilidades muy reducidas de planificación, e inversión en tecnología y desarrollo. Por su parte los gobiernos se han abstraído de tal compromiso, a pesar de poseer un país con una amplia jurisdicción marítima, con escasa diferencia al área territorial (Carreño, Tascón, & Barrero, 2006).

Es por eso, que después de haber sido testigos de la desaparición de la Flota Mercante Grancolombiana, el resquebrajamiento del sector industrial metalmecánico y del cierre de la planta de astillero de mayor capacidad construida a la fecha en el país (CONASTIL), en el año 1997 nuevamente bajo el liderazgo y responsabilidad de la Armada Nacional, con una importante inversión de recursos, la Nación decide recuperar su capacidad astillera dándole viabilidad, continuidad y permanencia al proyecto, a través de la constitución de una entidad dedicada específicamente a el propósito de desarrollar la Industria Naval Marítima y Fluvial, lo que da lugar a la creación de COTECMAR en el año 2000.

En la actualidad el astillero naval COTECMAR modela su gestión logística orientando sus compras de acuerdo a una matriz de gestión de compras y una matriz de gerencia del suministro, estructuradas inicialmente en 2009 con el proyecto Sistema de Clasificación de Proveedores de COTECMAR (Díaz & Leño, 2009), el cual se consolida como la principal e inicial referencia en lo que concierne en logística de abastecimiento, proponiendo como principales aspectos el riesgo del abastecimiento y su impacto en utilidades. En el 2012, se realizó una validación del modelo por parte de la Universidad Nacional a través del mapeo de los procesos en las líneas de negocio de construcciones y de reparaciones de las plantas Mamonal y Bocagrande y en este último reposa una caracterización y modelación del proceso logístico para COTECMAR (COTECMAR; Universidad Nacional de Colombia, 2012), en el mismo análisis se aplicaron herramientas de Lean Manufacturing (manufactura esbelta), el Mapa de la Cadena de Valor (Value Stream Mapping, VSM) para conocer, explicar y detectar áreas de oportunidad del

proceso de adquisiciones de bienes en COTECMAR, complementado con simulaciones en software SIMIO.

Para este documento se toma como punto de partida información desarrollada por el mismo astillero en periodos anteriores como los es la distribución y concentración de astilleros en el país, lo que refleja el mayor número de astilleros en la costa atlántica colombiana principalmente en la ciudad de Cartagena como lo muestra la Tabla 2, por lo tanto, se puede afirmar que la fortaleza del sector astillero se encuentra en dicha ciudad y la cadena logística se debe desarrollar alrededor de este con un crecimiento exponencial en la misma proporción del crecimiento de astilleros en esta zona del país.

Tabla 2.

Distribución astilleros en Colombia y tipo de embarcación fabricada.

Región	Ciudad	Nº de Astilleros	%	Tipo de Embarcación Construida
Costa Atlántica	Barranquilla	6	58%	Embarcaciones menores, botes de recreo y pesca en fibra de vidrio, planchones. Botes semirrígidos, lanchas. Reparación feeders y buques medianos.
	Cartagena	11	(18)	
		1		
	Santa Marta			Diseño y construcción buques medianos.
Costa Pacífica	Buenaventura	4	18%	Lanchas y botes, embarcaciones en fibra de vidrio. Embarcaciones de recreo y deportes.
	Bahía Solano	1	(6)	
	Cali	1		
Antioquia	Medellín	3	15%	Botes poliéster, fibra vidrio, planchones, ferris para pasajeros y carga. Botes inflables y semirrígidos.
	Envigado	1	(6)	
	Turbo	1		
Cundinamarca	Bogotá D.C	4	12% (4)	Muelles flotantes, fabricación catamaranes, naves patrulleras, botes de aluminio.

Fuente: Cotecmar 2011

En la imagen se muestra la ubicación de Zonas Francas en el país donde la Región Caribe juega un papel importante como foco de desarrollo de esta iniciativa, adicional a esto la Tabla 2 muestra también la mayor concentración de astilleros en esta misma región, aproximadamente el 58% del total de los 33 astilleros del país, es decir 18 de estos se encuentran cerca a la mayor concentración de Zonas Francas del país, de tal manera que el modelo logístico debe ser consecuente a la realidad geográfica y al desarrollo del país de cara al fortalecimiento de las exportaciones.

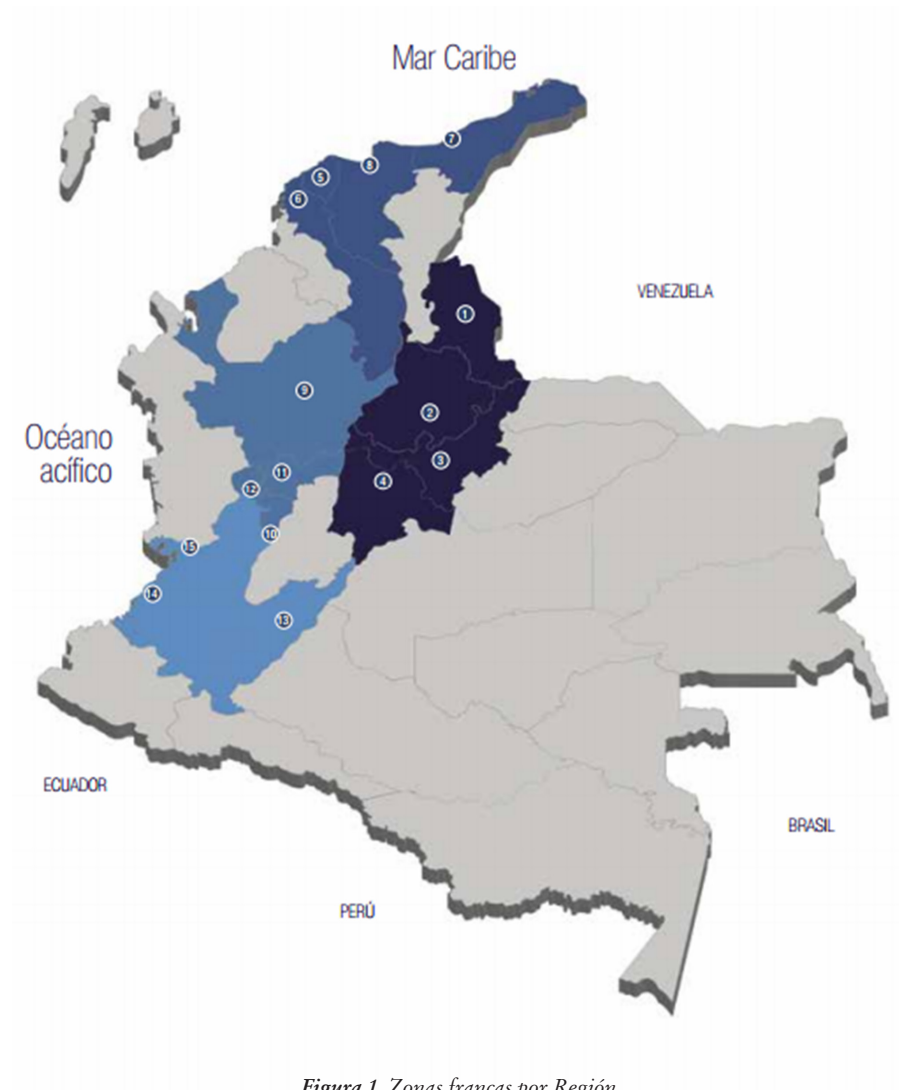


Figura 1. Zonas francas por Región
Fuente: Procolombia

Zonas Francas por Departamento

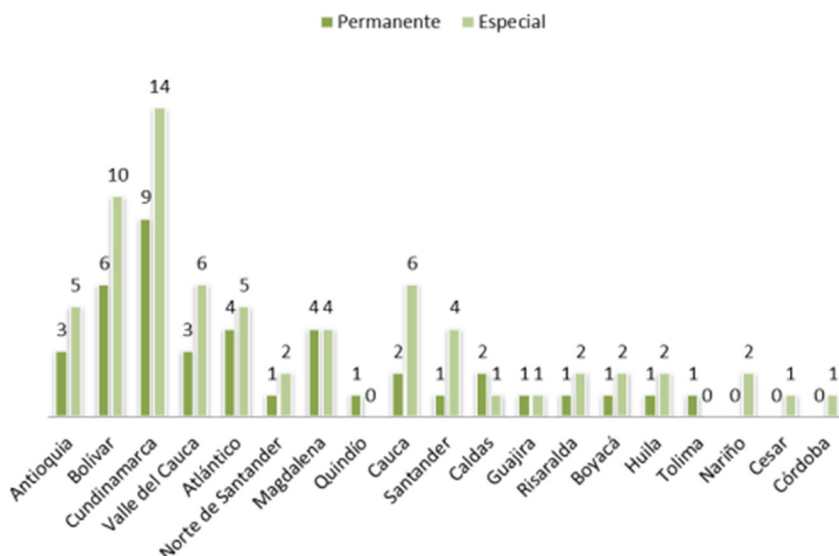


Figura 2. Zonas francas por departamento en Colombia
Fuente: comisión intersectorial de zonas francas (2012)

De acuerdo a la información anterior resulta conveniente vincular la industria astillera, principalmente enlazar los intereses del astillero COTECMAR a los beneficios otorgados por el régimen franco colombiano, que a modo estadístico las cifras de exportaciones de acuerdo al DANE desde las Zonas Francas Industriales en Colombia, que fueron 3.093 millones de dólares en 2016, lo que supone un crecimiento del 46.7 % con respecto al año anterior, asimismo, en 2016 el superávit de la balanza comercial desde las zonas francas también aumentó a 1.121 millones de dólares, cuando un año antes se había registrado un déficit de 208,6 millones.

Según Edgar Orlando Martínez, director de la Cámara de Zonas Francas, las 104 Zonas Francas declaradas a 2016 han tenido una inversión de \$38,9 billones lo que equivale al 275 %. Así mismo, existe un altísimo nivel de inversión, los cerca de \$40 billones dan cuenta de esto, creció el 500% en los últimos 6 años, y ha generado el desarrollo de nuevas infraestructuras de servicios para la industria con más de 800 empresas, en 63 municipios en 19 departamentos del país y con esto, mayores controles aduaneros lo cual lo consolida con un nicho de desarrollo el cual el astillero COTECMAR debe contemplar.

Para Rivera (2001), las Zonas Francas no son un invento del mundo moderno, debido a que su pasado se remonta aproximadamente al año 2000 antes de cristo,

ahora según Farole (2007), quien toma como referencia los datos del Banco Mundial, actualmente existen más de 2000 zonas francas en el mundo, que han generado gran impacto en términos de empleo, exportaciones, inversión extranjera directa, mejoramiento de tecnología y know-how, resaltando que actualmente contribuyen con el 20% de comercio mundial.

Las Zonas Francas fueron creadas para incentivar el desarrollo económico de un país; es por eso por lo que entre sus principales objetivos están:

1. Promover el empleo. Lo que provoca un aumento en el poder adquisitivo de las familias y por ende un mayor consumo por parte de estas.
2. Transferencia tecnológica. La cual permite a los empresarios y trabajadores el conocimiento y manejo de tecnología avanzada en sistemas y procesos.
3. Desarrollo de zonas geográficas deprimidas del país mejoran las condiciones de vida de los habitantes de las zonas de influencia.
4. Incremento de exportaciones de bienes y servicios.
5. Generación de divisas.
6. Inversión extranjera.

Para Engman (Engman, 2012), las Zonas Francas Industriales (ZFI) son las zonas en las que los fabricantes producen bienes que están destinados principalmente para los mercados de exportación delimitados. Las ZFI generalmente ofrecen los inversores orientados a la exportación de una serie de ventajas en relación con el entorno de la inversión doméstica. Los costos de transacción comercial normalmente se reducen por lo que permite una combinación de las importaciones libres de impuestos de las materias primas, bienes intermedios y bienes de capital, así como los servicios de aduanas simplificados y presenciales.

Adicional (Engman, 2012), agrega que los incentivos fiscales como la exoneración temporal de impuestos corporativos y diversos subsidios, por ejemplo, para la formación de nuevo personal, se proporcionan a menudo por un período de tiempo limitado para reducir los costos de puesta en marcha y acelerar el periodo de recuperación. Además, la mayoría de las Zonas Francas industriales ofrecen un entorno simplificado de administración, infraestructura mejorada y los servicios públicos confiables. Al superar las barreras del clima de inversión nacional dentro de un área limitada, el gobierno trata de evitar los costes de ajuste y políticas de aplicación de las reformas en el ámbito nacional.

Para (Hazakis, 2013), el contexto de la inversión y el comercio mundial ha cambiado rápidamente en las últimas dos décadas, lo que permite una influencia cada vez mayor de las Zonas Económicas Especiales (ZEE) o Zonas Francas como herramientas políticas.

Resultados

Caracterización y Diagnóstico del Modelo Logístico

Un modelo logístico tiene como mecanismo básico la minimización de los costos logísticos totales vinculando la adquisición de materiales e insumos con la entrega a las unidades de negocio que conlleven a un cumplimiento de proyectos y exitosa entrega de compromisos al cliente final. En el caso del astillero naval COTECMAR, debido a la estructura convergente de su cadena de suministro, gira en el marco de las necesidades y requerimientos de las unidades de negocio, es decir, cada uno de los proyectos de construcción reparación, inversión o funcionamiento llevados a cabo con el objetivo principal de dinamizar cada uno de los requerimientos de materiales necesario para desarrollar este tipo de proyectos, ya sean de consecución nacional o extranjera, apuntando al suministro oportuno de materiales, ajustado al requerimiento técnico y a un precio favorable para el proyecto.

Como introducción al análisis del modelo logístico del astillero naval es importante precisar que un modelo logístico establece la relación que las empresas tienen con su entorno, es decir, describe qué es lo que los clientes esperan de las compañías cuando realizan un pedido que para el caso particular de COTECMAR sería una embarcación o una reparación. Por ejemplo, frente a una necesidad de compra, el artículo podría (eventualmente) estar disponible en el punto de venta o en el caso del astillero en una zona de venta que podría ser externa como una marina o un evento de venta marítima, o ser adecuado para despacho al momento del pedido de compra (y eso significaría esperar algún tiempo específico en la adecuación), o podría ser enviado directamente desde el centro de distribución al sitio pactado con el cliente (con un plazo de entrega relativo) o, por el contrario, necesitaría ser comprado en ese momento al proveedor (con un plazo de entrega de varios meses entendiendo la naturaleza de una embarcación, por ejemplo).

La diferenciación de todos los escenarios anteriores se conoce como el punto *Push/Pull*. Este punto divide la totalidad de la cadena de distribución en dos partes: una parte de la cadena (a la derecha del punto *push/pull*) es dirigida por el pedido del cliente. La otra parte (a la izquierda del punto *push/pull*) es dirigida por la previsión de la demanda realizada por la propia compañía. Por definición, el inventario siempre estará a la derecha del punto *push/pull*, y de acuerdo con el equilibrio entre las fuerzas de cliente y proveedoría asociado a costos y tiempos logísticos se define la mejor alternativa de modelo logístico, esto lo define de gran manera la naturaleza del bien en venta o servicio ofertado.

Lo ideal es definir estrategias de inventarios de materias primas, bienes intermedios y terminados que sean consecuente a la realidad y expectativa de compra que rige en el mercado y región continuas que se constituyen en mercados sustitos, de tal manera que el producto en cuando a precio y oportunidad de entrega sean atractivas al consumidor final, eso si no dejando a un lado factores de mercado como temas relacionados a comercio internacional, logística, marco normativo y carga tributaria que pueden jugar una alternativa interesante en cuanto a competitividad respecta.

En la tabla 3 se muestran los niveles que presenta cada modelo logístico y combinaciones de las principales variables en la búsqueda del punto *Push/Pull*

Tabla 3.
Clases de modelos logísticos

Modelos Logísticos	Alto Nivel de Stock	Stock Producto Terminado	Rapidez Tiempo de Entrega	Referencias	Ejemplos
Producir contra stock	+++	+	++	++	Mueblerías
Servir desde stock	+	+++	+++	+++	Tiendas de cadena
Ensamblar bajo pedido	+++	-	++	++	Computadores (Dell)
Producir bajo pedido	++	-	+	+	Astillero

Se puede observar que por la naturaleza de un astillero, su modelo logístico se sitúa en el escenario de “producir bajo pedido”, toda vez que el mercado para este tipo de productos es muy particular y el bien final presenta un alto costo, por lo tanto tener el producto en inventario para entrega en primera instancia no es una buena alternativa, y mantener los niveles de stock de materias primas a su mínima expresión es un tópico prioritario, sin embargo lo que debería impactar un nuevo modelo logístico sería el costo de inventarios y los tiempos de entrega, que de manera sistemática se reflejaría en el precio del bien final y en la competitividad del producto en general.

El Modelo Logístico de COTECMAR es un modelo propio que incorpora buenas prácticas a nivel mundial. En este modelo se abordan las etapas de planeación, abastecimiento, producción, entrega y retorno, integrando cada una de estas, hacia la satisfacción de las unidades de negocio y por consecuente del cliente; mediante la aplicación de estrategias de abastecimiento, inventario y almacenes; implementando un sistema de gestión de proveedores, que propenden el menor esfuerzo en compra para impactar los costos y tiempos de entrega de manera positiva y sustancia.



Figura 3. Modelo logístico COTECMAR

Fuente: Manual logístico COTECMAR

En la etapa de abastecimientos se puede encontrar estrategias de compras orientadas al grupo en qué se ubica cada uno de estos materiales de acuerdo con la Matriz de Gestión de Compras incluido en el Manual Logístico Corporativo y la clasificación de los proveedores son la base fundamental para el desarrollo de las estrategias de abastecimiento de la Corporación, las cuales están desarrolladas en la Matriz de Gestión de Compras

El esquema de la Matriz de Gestión de Compras Corporativa para los materiales se muestra a continuación:

RIESGO DE APROVISIONAMIENTO

ALTO

BAJO

MATRIZ DE GESTIÓN DE COMPRAS CORPORATIVA PARA MATERIALES

Gr. Const	Gr. Artículo	BIENES CUELLO DE BOTELLA	Gr. Const	Gr. Artículo	BIENES CRÍTICOS
(GC0100)		• ORANALLA	(G300)	(GC2400)	• MOTORES Y GENERADORES
(GC0900)		• ACCESORIOS PARA REFRIGERACIÓN		(GC1500)	• REPUESTOS PARA MOTOR
(GC1100)		• MAQUINARIA Y EQUIPO DE MEDICIÓN	(G500)	(GC5300)	• SISTEMA AUXILIARES
(GC1700)		• FILTROS		(GC0900)	• LÁMINAS BALÍSTICAS
(G800)	(GC0700)	• BATERÍAS, TRANSFORMADORES, PANELES		(GC1500)	• MAQUINARIA Y EQUIPOS ESPECIALIZADO
	(G400)	• TABLEROS Y CABLES	(G500)	(GC0700)	• SISTEMAS ESPECIALES (ELECTRÍCOS, ELECTRÓNICOS REFRIGERACIÓN ACONDICIONADO, COMUNICACIONES, COMPUTO, ETC)
(G500)	(GC5200)	• BITAS	(G600)	(GC1500)	• ELEMENTOS ESPECIALES HABITACIONALES (PUERTAS Y MANPAROS NO ESTRUCTURALES)
	(GC2000)	• RESINAS Y SUS DERIVADOS			• SISTEMAS DE PROPULSIÓN: MOTORES PROPULSORES, CAJA REDUCTORA, LINEAS DE EJE PROPELAS, COJINETES, CHUMACERAS DE EJES)
	(GC1000)	• HILOS, TELAS, PLÁSTICOS	(G200)		
(G500)		• EQUIPO DE TRATAMIENTO AGUAS NEGRAS EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, SISTEMA DE SUCCIÓN CALENTADOR DE AGUA			
(G500)		SISTEMA DE GOBIERNO MECÁNICO DE MANIOBRAS (PILOTO)	(G400)		• EQUIPOS DE CONTROL, NAVEGACIÓN Y COMUNICACIÓN
		• AUTOMÁTICO, CADENAS, TIMÓN, SERVOMOTOR, ANCLAS, CADENS, CABRESTANTES, BALSAS, SALVAVIDAS, BOTES, INFLABLES, WINCHES)		(GC1400)	
				(GC1500)	• LICENCIAS
					• MATERIALES Y EQUIPOS SINCRONELEVADOR
BIENES RUTINARIOS			BIENES PALANCA		
(GC0100)		• ABRASIVOS (INCLUIDA ARENA PARA SANDBLASTINO)	(G100)	(GC0900)	• LÁMINAS
(GC0200)		• MANGUERAS Y SUS ACCESORIOS		(GC0400)	• ACCESORIOS NAVALES
(GC0900)		• ACCESORIOS PARA SOLDADURA	(G200)	(GC0300)	• TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS
(GC2500)		• PINTURAS Y RECURRIMIENTOS	(G200)	(GC0200)	• BOMBAS
(GC0900)		• TORNILLOS, TUERCAS, ARANDELAS		(GC0700)	• ELEMENTOS ELECTRÍCOS Y ELECTRÓNICOS
(GC1000)		• CAUCHOS, EMPAQUES Y SELLOS		(GC2700)	• VIDRIOS
(GC1000)		• CORREAS		(GC2800)	• SOLDADURA
(GC1200)		• ELEMENTOS DE ASEO Y CAFETERÍA	(G100)	(GC0200)	• ADOORNOS, PERFILERA PLATINAS, BARRAS DE ACERO Y ALUMINIO
		• GASES INDUSTRIALES	(G600)	(GC1300)	• ACABADO Y AMOBILIAMIENTO (MENAJE, UNEN, CHALECOS, AMOBILIAMIENTO, ENTRETENIMIENTO)
(GC1400)		• EQUIPOS DE CÓMPUTO Y COMUNICACIONES (ORAL)			
(GC1600)		• FERRETERÍA Y CONSTRUCCIÓN		(GC5100)	• MATERIALES COMPUESTOS (AISLAMIENTO)
(GC2000)		• RODAMIENTOS			
(GC2100)		• MADERAS			
(GC2000)		• LUBRICANTES Y QUÍMICOS INDUSTRIALES			
(GC2200)		• MEDICAMENTOS Y ELEMENTOS DE ENFERMERÍA			
(GC2300)		• PAPELERÍA Y ÚTILES DE OFICINA			
(GC2500)		• VESTUARIO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL			
(GC1500)		• HERRAMIENTAS			
BAJO			ALTO		
IMPACTO EN LAS UTILIDADES					

Figura 4. Matriz de gestión de compras para materiales COTECMAR

Fuente: manual logístico

La Figura 4 muestra cuatro segmentos que impactan en las variables utilidad y riesgo de aprovisionamiento, encontrando en los segmentos “Bienes Palanca y Bienes Críticos” el noventa por ciento del material importado, que es principalmente el impacto predominante en los costos directos de fabricación en cuanto a cifras se refiere además y representan un alto grado de complejidad en la compra.

Con relación a proveeduría, el astillero cuenta con 1631 proveedores nacionales activos y 254 internacionales con una participación 87% y 13% relativamente, y orientado al desarrollo de su SRM (Supplier Relationship Management) se encuentran las siguientes figuras especiales de gestión de stocks de inventario disponible en la Corporación:

Tabla 4.
Proveedores en desarrollo actual de IN-House COTECMAR

No.	Nombre	Objeto
1	Empaquetaduras y empaques	Varios Ferretería
2	Central de soldaduras	Varios ferretería, y EPP
3	Macroelectricos	Elementos Eléctricos (Bgde)
4	Confecciones el overol	Dotación Overoles
5	Pintuco	Pinturas
6	Sumatec	Varios ferretería

Bajo esta figura se encuentran proveedores que suministran materiales considerados principalmente rutinarios, de alta rotación y de bajo impacto económico unitario en los proyectos, de los cuales se encuentra un alto volumen de transacciones tanto en sistema como en la gestión física de colaboradores, para lo cual el astillero ha tomado una estrategia de implementación de figuras tipo In-House, en las que los proveedores asumen la tenencia, custodia, conservación y administración del inventario suministrado, todo en el marco de una contratación marco de precios acordados, de tal manera que el astillero brinda un espacio físico ya sea en áreas independientes (contenedores), o en su defecto si la naturaleza del material lo amerita se otorga un espacio en las instalaciones del propio almacén en los cuales el proveedor dispone de un contenedor tipo oficina, de donde despacha de manera directa a los proyectos y genera facturaciones periódicas al astillero, todo dentro del sistema de información ERP SAP corporativo.

Encontramos que el proceso logístico del astillero COTECMAR se encuentra debidamente estipulado en procedimientos, manuales, cartillas, directivas que caracterizan cada uno de sus procesos y subprocesos, además el modelo logístico aun que esta adecuadamente constituido y en mejora continua, también brinda oportunidades de mejora en relación a la oportunidad, inventarios, costos asociados a materiales o insumos, y relacionamiento con proveedores.

Propuesta de un Modelo Logístico Aplicado a la Cadena de Valor en un Régimen Franco para un Astillero Naval

En consecuencia, al análisis financiero y tributario, jurídico, en comercio exterior, normativo, y de condiciones actuales del modelo logístico de COTECMAR de cara a la propuesta, se establece que la Corporación de Ciencia y Tecnología COTECMAR se encuentra habilitada para aplicar el régimen franco manteniendo algunas particularidades que aseguran el cumplimiento normativo en ley, aprovechando el margen otorgado por el decreto 2147 de 2016, dentro de las posibilidades de Zona Franca, principalmente Zona Franca Permanente y Zona Franca Permanente Especial.

Los requisitos en cuanto a la creación de una Zona Franca se relacionan a continuación, extractando del decreto 2147 de 2016 los principales aportes con relación a este tópico, los cuales tiene algunos de aplicación tanto para las Franca Permanente y Zona Franca Permanente Especial, y para los usuarios industriales de bienes y de servicio, usuarios operadores y comerciales.

Tabla 5.
Requisitos para Zona Franca Permanente

Inversión	Hectáreas	Documentos	Usuario Operador
Al menos 5 Usuarios Industriales de Bienes y/o Servicios vinculados que realicen una nueva inversión que sumada sea igual o superior a 46.000 S.M.M.LV.	Extensión continua no inferior a 20 hectáreas.	Adjuntar plano topográfico y fotográfico con la ubicación y delimitación precisa.	Debe comprometerse a establecer un programa de sistematización de las operaciones de la Zona Franca Permanente para el manejo de inventarios.
Acreditar un patrimonio líquido de veintitrés mil salarios mínimos mensuales legales vigentes (23.000 S.M.M.L.V.).		Allegar estudio de títulos de propiedad de los terrenos sobre los que se desarrollará físicamente el proyecto de la Zona Franca Permanente. Allegar la hoja de vida de la totalidad del personal directivo y de los representantes legales. Presentar estudios de factibilidad técnica, económica, financiera y de mercado que demuestren la viabilidad del objetivo de la Zona Franca Permanente solicitada. Presentar el Plan Maestro de Desarrollo General de la Zona Franca aprobado por la Comisión Intersectorial de Zonas Francas.	Podrán solicitar la declaratoria de existencia como Zona Franca Permanente cumpliendo los requisitos establecidos legales.

Fuente: Legiscomex, 2013

Los requisitos de la ZFP relacionados en la Tabla No 5 básicamente aplican para aquellos que contemplen la posibilidad de crear una nueva Zona Franca y fungir como usuarios operadores, de tal manera que las responsabilidades y compromisos de la ZFP son unos y los de los usuarios que la conforman representan, otros en menor proporción.

En la siguiente tabla se relacionan los requisitos más importantes que el decreto 2147 de 2016 estipula para la creación y continuidad de las ZFPE.

Tabla 6.
Requisitos Zona Franca Permanente Especial

Inversión	Documentos
Nueva inversión por un monto igual o superior a 150.000 igual o superior a 150.000 S.M.M.L.V y crear 150 nuevos empleos directos y formales.	Allegar la hoja de vida de la totalidad del personal directivo y de los representantes legales.
Por cada 23.000 S.M.M.L.V de nueva inversión adicional, el requisito de empleo se podrá reducir en un número de 15, sin que en ningún caso el total de empleos sea inferior a 50.	Presentar el plan maestro de Desarrollo General de la Zona Franca Permanente Especial aprobado por la Comisión Internacional de Zonas Francas.
Nueva inversión por un monto igual o superior a 10.000 S.M.M.L.V y hasta 46.000 S.M.M.L.V, y la creación de 500 o más nuevos empleos directos y formales.	Allegar al estudio de Títulos de Propiedad de los terrenos sobre los que desarrolla físicamente el proyecto de la Zona Franca Permanente Especial.
Nueva inversión por un monto igual o superior a 46.000 S.M.M.L.V y hasta 92.000 S.M.M.L.V, y la creación de 350 o más nuevos empleos directos y formales.	Adjuntar plano topográfico y fotográfico con la ubicación y delimitación precisa del área para la que se solicita la declaratoria y los linderos de la misma.
Nueva inversión por un monto igual o superior a 92.000 S.M.M.L.V y creación de 150 o más nuevos empleos directos y formales.	Anexar certificación expedida por la autoridad competente en cuya jurisdicción se pretenda obtener la declaratoria de existencia de la Zona Franca Permanente Especial.
Ejecución del 100% de la nueva inversión incluyendo la instalación de activos fijos reales de producción (maquinaria, equipo y bienes).	Allegar certifica de Registro de Libertad y Tradición de los terrenos que formen parte de área que se solicita declarar como ZFPE.

Fuente: Legiscomex, 2013

Nota: Las inversiones van de acuerdo al tipo de zona franca permanente especial tales como agroindustriales, de bienes, de servicio entre otros, que requieren inversiones iniciales sustentables a 5 años, con requerimientos periódicos de nuevas inversiones.

Tabla 7.

Requisitos usuarios industriales de bienes y servicio

Rango Activo Fijos Reales					
De	Hasta	Inversión	Plazo Años	Empleos	Salario Mínimo
0	500	0		7	
501	5000	1000	3	20	781.242
5001	30000	5000	3	30	
30001	Indefinido	11500	3	50	
Rango Activo Fijos Reales					
De	Hasta	Inversión	P l a z o Años	Empleos	
0	390.621.000	0	3	7	
391.402.242	3.906.210.000	781.242.000	3	20	
3.906.991.242	23.437.260.000	3.906.210.000	3	30	
23.438.041.242	Indefinido	8.984.283.000	3	50	

Fuente: Elaboración propia acorde a Decreto 2147 de 2016

Los requisitos específicos de los usuarios industriales y comerciales de Zona Franca se estipulan en los artículos 79 y 80 del decreto 2147 de 2016, adicional a los anteriores, se encuentra el de la generación de una firma nueva que no se halle en proceso del objeto social a desarrollar, y en aprovechamiento a lo nombrado en capítulos anteriores con relación a la extensión territorial de la declaratoria de Zona Franca permanente, se encuentra viable apuntar a esta posibilidad, toda vez que los requerimientos de inversión y generación de empleo tanto de la ZFP y ZFPE tienen un alto nivel de compromiso monetario, aspecto que podría generar un balance poco alentador si los intereses del astillero es el de generar competitividad con un grado de equilibrio importante en temas de inversión en general.

Como resultado del análisis anterior se concluye que se debe aplicar el modelo logístico en el astillero COTECMAR, bajo régimen franco aplicado a las realizar una extensión de Zona Franca Permanente como usuario industrial de bienes y servicios creando una razón social tipo SAS, manteniendo la actual firma como corporación de ciencia y tecnología; se decide lo anterior de acuerdo a las implicaciones que se relacionan

en apartes seguidos, además por representar las de menor riesgo y requerimiento de inversión y generación de empleo, que se podrá dar en consecuencia del crecimiento exponencial en la operación.

Modelos en operación de comercio nacional y exterior de bienes, servicios y productos terminados

A continuación, se relacionan los flujogramas operativos tanto de los movimientos de embarcaciones que se reciben en el astillero de manera periódica a surtir procesos de reparación, modernización, reconversión y otros acondicionamientos entre otros, tanto de clientes nacional, de la Armada Nacional como de clientes extranjeros.

También se relacionan los movimientos operativos por medio de flujograma para los insumos y materias primas necesarios en la construcción y reparación de embarcaciones de todo tipo.

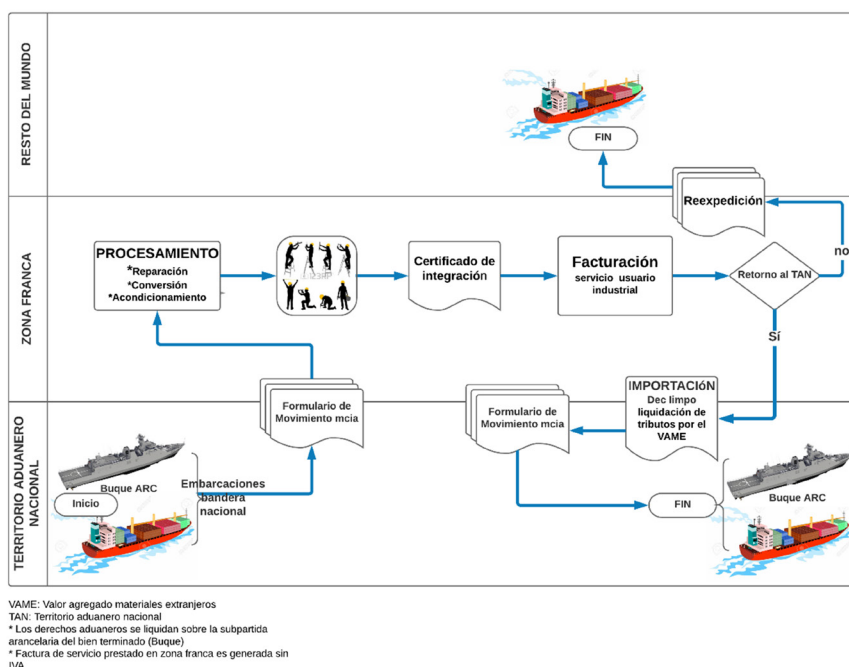


Figura 5. Procedimiento operativo de ingreso y salida de buques de bandera nacional y Armada nacional de Colombia para procesamiento industrial en zona franca

En la Figura 5 se encuentra la modelación gráfica de la operación de ingreso de embarcaciones de registro nacional como también los navíos al servicio de la Armada Nacional de Colombia y demás entidades gubernamentales que disponen de embarcaciones. Se puede decir que el régimen zona franca permite de manera sencilla realizar recepción de este tipo de embarcaciones para procesamiento industrial, atracando directamente a los muelles de COTECMAR los cuales serían una extensión de una Zona Franca ubicada dentro del perímetro de un kilómetro a la redonda (en este caso la única Zona Franca que aplica a ese parámetro es Zona Franca La candelaria).

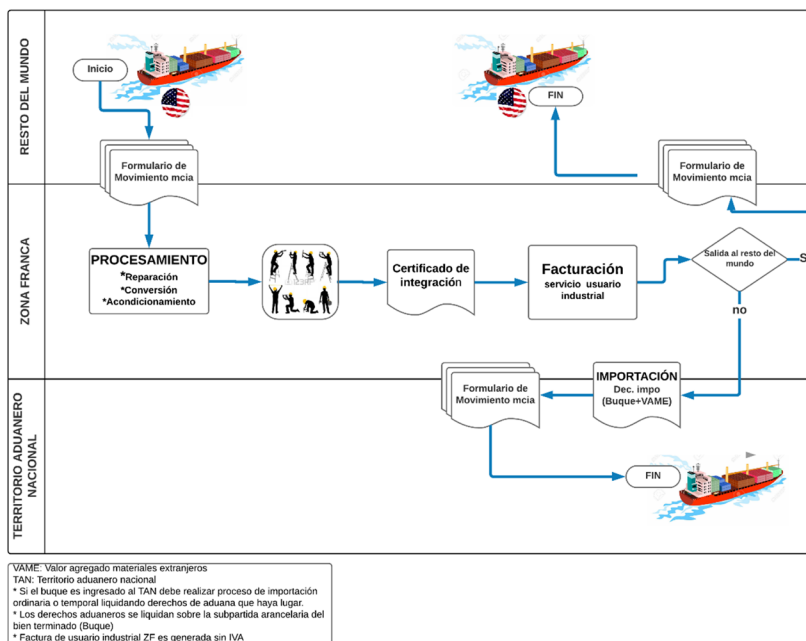


Figura 6. Proceso operativo de ingreso y salida de buques de bandera extranjera para procesamiento industrial en zona franca.

La Figura 6 representa el proceso operativo de las embarcaciones de bandera extranjera, que ingresan en el astillero Zona Franca para efectuar servicios de reparación, de acuerdo a este procedimiento se podrían optimizar los tiempos establecidos en el proceso aduanero actual, que requiere para ingreso en condiciones diferentes a Zona Franca, de un trámite que habilita el arribo directo a la zona industrial el cual toma varias

días y se legaliza con un acto administrativo DIAN, por otro lado el agente marítimo debe realizar importación temporal para perfeccionamiento activo, que inmersamente trae con el compromisos en tiempo, y sanciones que podrían ser ejecutadas en caso de incumplir algún compromiso como lo es permanecer más de 6 meses continuos en el país sin solicitud de prórroga previa, o más de 12 meses en caso de tener prórroga, mientras que en Zona Franca el tiempo de permanencia de la embarcación podrá ser ilimitada, sin tramites de importación temporal teniendo en cuenta que en Zona Franca se considera territorio nacional mas no aduanero.

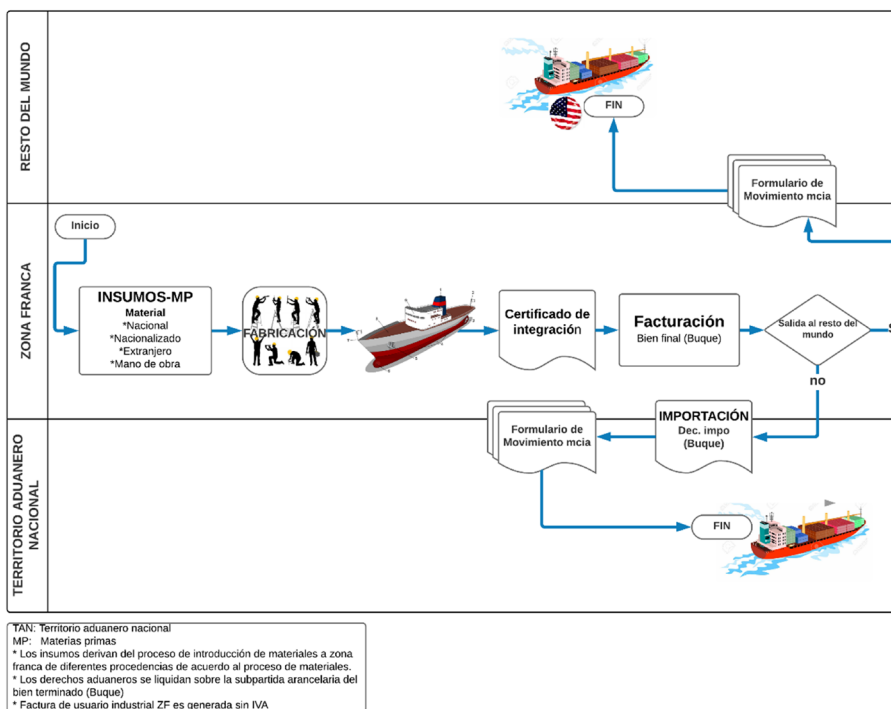


Figura 7. Proceso operativo de construcción en zona franca de buques con fines de exportación e importación

En la Figura 7 encontramos el proceso operativo de los proyectos de construcción dentro del astillero Zona Franca, en este caso posterior a la construcción se tiene la posibilidad realizar el movimiento de la embarcación al resto del mundo o en su defecto realizar internación al país, realizando la importación por la subpartida del bien terminado y solo pagando tributos sobre el material con procedencia internacional sin nacionalizar.

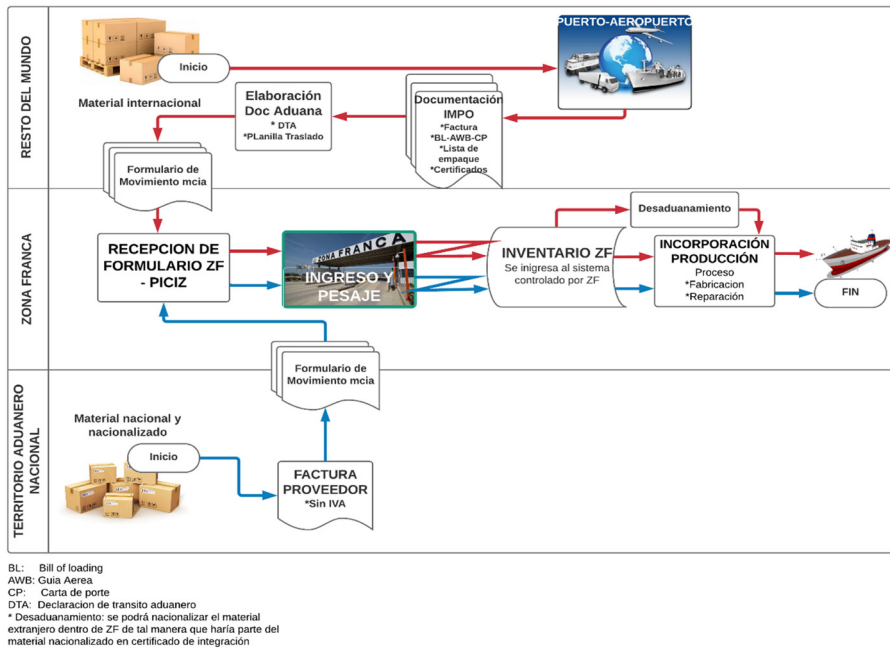


Figura 8. Proceso operativo de ingreso de materiales de procedencia nacional, nacionalizado y extranjero hacia zona franca.

En la Figura 8 encontramos el proceso operativo de los grupos de materiales que a la postre ingresan a conformar parte del certificado de integración de un proceso de construcción, y al mismo tiempo despenden la base gravable para el pago de tributos en una oportunidad de internación al territorio aduanero nacional de así requerirse. Se han identificado cuatro grupos de materiales de naturaleza nacional y extranjera de la siguiente manera:

1. Materiales de fabricación nacional.
2. Material de procedencia internacional con previa nacionalización (Nacionalizados) en el TAN.
3. Materiales de procedencia internacional.
4. Materiales de procedencia internacional que son nacionalizados dentro de ZF.

Operativamente el trato del material nacional como nacionalizado es el mismo, sin embargo el trato del material extranjero que ingresa a Zona Franca COTECMAR genera la oportunidad de mantener en stock ZF o en su defecto surtir un proceso de

nacionalización aun estando dentro de Zona Franca, de esta manera podría ser utilizado en procesos de transformación o fabricación Zona Franca o en su defecto ingresar al TAN de manera indefinida, todo esto en base a la estrategia de comercio exterior que desea aplicar el usuario franco, pues cada una de estas situaciones generan que el material apunta a un renglón diferente dentro del certificado de integración, por ejemplo el material extranjero apunta a la base de liquidación de tributos, mientras que si este ha sufrido nacionalización dentro de zona franca, entonces apuntaría al renglón de material nacional al igual que el material que goza de preferencia arancelaria en el marco de tratados internacionales (Presentando certificado de origen), en ese orden este último renglón no es objeto de tributación o generación de derechos aduaneros a la importación.

Lo que se propone es un modelo aplicado en las bases de un régimen franco como Zona Franca Permanente, aplicando una extensión territorial como usuario industrial de bienes y servicio, de esta manera se habilitaría el territorio o espacio geográfico que hoy ocupa COTECMAR.

La Zona Franca más cercana ideal para realizar la extensión de la declaratoria territorial sería Zona Franca La Cancelaria, que se encuentra en un radio no mayor a un kilómetro.

El modelo propuesto en la Figura 9 consiste en la creación de una persona jurídica llamada Zona Franca COTECMAR, y se fundamenta en el aprovechamiento de cada régimen, por lo tanto deben permanecer algunas actividades tal cual funciona la corporación COTECMAR en la actualidad, toda vez que por su condición de Corporación de Ciencia y Tecnología, y ser entidad sin ánimo de lucro, goza de exoneración de impuesto de renta siempre y cuando se reinviertan los excedentes contables generados en la operación anual, en ese orden de ideas el modelo logístico se soporta en la sinergia entre COTECMAR Zona Franca y corporación COTECMAR.

El proceso logístico llevado a cabo esta COTECMAR Zona Franca se describe a continuación, y está dado principalmente por la ejecución de sus actividades operativas, administrativas y logísticas normales, pero con el cuidado y cumplimiento que en materia aduanera se debe tener en las Zonas Francas con el fin de garantizar que se la introducción de materias primas, bienes, equipos etc., se realizan cumpliendo con las obligaciones pertinentes y pagado los derechos aduaneros a que haya lugar, así como mantener la seguridad en la cadena de suministro y evitar que emerjan riesgos de contrabando o narcotráfico entre otros.

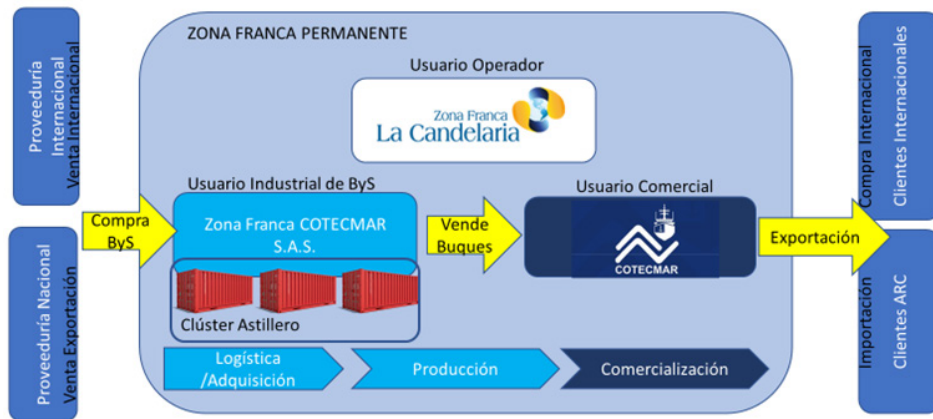


Figura 9. Propuesta de modelo logístico en el marco de una zona franca aplicada a un astillero naval CASO Cotecmar.

Se considera que debe existir un equilibrio entre COTECMAR ZF y Corporación COTECMAR de tal manera que aprovechando los beneficios que cada una posee y se someten a las siguientes operaciones cada una de las figuras como sigue:

COTECMAR Zona Franca

1. Adquisición de materiales internacionales y nacionales.
2. Almacenamiento de materiales de procedencia nacional e internacional.
3. Gestion del clúster astillero de proveedores nacionales e internacionales.
4. Construcción de embarcaciones.
5. Atención de clientes extranjeros, estos evitarían realizar habilitación de zonas no autorizadas para arribo, además podrían atracar al muelle sin realización de procesos de importación temporal para perfeccionamiento activo.

Corporación COTECMAR (Actual)

1. Comercialización de los productos fabricados por COTECMAR ZF.
2. Seguimiento y atención a los clientes atendidos.
3. Atención a clientes nacionales para servicios de reparación y mantenimiento.
4. Mantenimiento de las áreas comunes compartidas entre Corporación Cotecmar y COTECMAR ZF.
5. Se deberá habilitar como usuario Comercial de zona franca, para tal fin deberá actualizar el RUT manteniendo la calidad de corporación sin ánimo de lucro.

Lo que se desea conseguir con la figura planteada anteriormente es que COTECMAR ZF genere recursos adecuados para su apropiación, sin la ambición de producir altas rentabilidades, toda vez que estas están grabadas al 20%, mientras que se espera que en la comercialización se generen los mayores excedentes, de tal manera que esta operación según el modelo logístico será desarrollada por Corporación COTECMAR, la cual se encuentra exenta del impuesto de renta.

Para el caso del funcionamiento entre COTECMAR y COTECMAR Zona Franca, estarían divididas las responsabilidades en lo que a contratación y compromisos independientes de carácter tributario según el régimen al que apliquen. En la siguiente tabla, se discriminan las actividades que cada persona jurídica mantiene en con el fin de operativizar la figura de Zona Franca.

Tabla 8.

Responsabilidades por compañía en el modelo logístico propuesto

Actividad	COTECMAR	Zona Franca COTECMAR S.A.S
Patrón de empleados	Nómina general productiva y administrativa	Personal administrativo para registro de transacciones.
Clientes	Mantiene clientes nacionales. Incluye como cliente a Zona Franca Cotecmar.	Mantiene Clientes Internacionales
Actividades productivas	Actividades específicas de reparación y mantenimiento para clientes nacionales	Todas las relacionadas con la operación. Y prestadora de servicios a Zona Franca Cotecmar
Activos Fijos	Mantiene todos los Activos Fijos	Se le asignan espacios de Oficinas Administrativas y transferencia de algunos activos
Estados Financieros	Mantiene sus estados financieros, los cuales incluyen patrimonio en una SpinOff (ZFC)	Genera sus propios Estados Financieros como SAS
Renta	Mantiene condición de ESAL para efectos de renta	Obligada a declarar y pagar impuesto a la Renta

Tabla continua...

Actividad	COTECMAR	Zona Franca COTECMAR S.A.S
Tributario	EL IVA se le dará tratamiento de acuerdo de la naturaleza del cliente de acuerdo con la reforma tributaria. Deberá asumir retenciones por concepto de ICA y retefuente	El IVA generado en su proceso de producción en zona franca podrá ser descontado toda vez que las operaciones que este realice son tratadas como exportación, y las exportaciones tienen derecho a devolución. Se generarán retenciones como ICA y Retefuente que se deben cumplir ante el ente de control. La Facturación de los productos fabricados es exenta de IVA

Conclusiones

La Ley colombiana generó la capacidad a empresas del sector como COTECMAR a asociarse con Zonas Francas y poder generar competitividad mediante la reducción de costos por concepto de gravámenes aduaneros, con el fin de procesar materias primas, bienes y demás materiales que vayan a ser exportados, o inclusive importados posteriormente, pero con mejores condiciones tributarias.

Cotecmar cuenta con la facilidad del establecimiento de esta figura mediante la asociación con Zona Franca La Candelaria dada la cercanía de su ubicación, tiempo de constitución de ambas empresas, sus objetos sociales y potencial exportador que Cotecmar tiene debido a sus actividades comerciales y portafolio de clientes.

Analizadas las implicaciones logísticas, de inversión, laborales, jurídicas, tributarias, comerciales etc., que se generan con ocasión de constituir una Zona Franca se encuentra que existe total viabilidad para su implementación, siendo el aspecto del equilibrio en las cargas entre COTECMAR Zona franca y Corporación COTECMAR el tema a analizar y estructurar de manera más cuidadosa con el fin de no incurrir en riesgos.

El constituir la Zona Franca COTECMAR SAS, le implicaría a COTECMAR ahorros hasta por \$5.119 millones anuales, dependiente también de el volumen de venta, es decir el ahorro es en el mismo sentido en que se comporte el volumen de venta, debido principalmente a reducción de costos por gravámenes aduaneros, y reducción de costos de acreencias laborales al bajar el porcentaje de parafiscales a cargo de la empresa.

De cara al enfoque internacional que desea adquirir COTECMAR, estas medidas aportan las herramientas para generar mejores condiciones en precios competitivos y atracción de clientes potenciales que encuentran hoy los tramites de aduana en Colombia extensos para sus pretensiones al momento de decidir realizar un servicio de reparación y mantenimiento o construcción.

Se reducen para clientes internacionales la generación de garantías de cumplimiento que van ligadas a tiempos de permanencia autorizadas en el país, que de no cumplirse podrían verse sometidos a multas y sanciones aplicadas a dichas garantías, por lo tanto encontramos una condición de riesgo y una condición de tiempo que se verán anuladas en el marco de una Zona Franca pues no requerirían de generación de garantías aduaneras, y podrían permanecer de manera ilimitada en los espacios habilitados para ellos.

COTECMAR podrá realizar inversiones de tipo funcional y de mantenimiento como lo son plantas y equipo especializados y maquinaria pesada, necesarios para el desarrollo y ampliación de sus capacidades, en estos se pueden nombrar equipos de manipulación como lo son grúas telescópicas, minicargadores entre otros. Por otro lado, en función de aumentar la capacidad de levante podrá realizar inversión en un dique seco, sincroelevador, plataformas flotantes, estos equipos ingresaran exentos de derechos de aduana y permanecer de manera ilimitada en el país, como consecuencia podrá incrementar su competitividad, ampliar el portafolio de servicio y/o aspirar a nuevos mercados en lo que a buques de mayor tonelaje se refiere.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones es importante establecer un análisis que permita proponer modificaciones a la norma con el fin de facilitar la estructuración de cada empresa como Zona Franca Permanente especial sin que dependa de otras previamente constituidas, esto basado en un análisis sectorial que respalde y justifique el incentivo que se debe dar a estas empresas que generan empleo y dinamizan la cadena logística a diferentes sectores como el industrial, de mantenimiento, metalmecánico, electrónico, de motores entre otros manteniendo unos niveles en requerimiento de inversión y generación de empleo acordes a la situación financiera del país, y que sea atractivo a inversionistas extranjeros, proponiendo además estabilidad jurídica.

Es importante generar líneas de investigación en prácticas comerciales dentro de Zonas Francas a nivel mundial, que sirva como parámetro de medición y comparación, así como para la identificación de brechas respecto a países que han avanzado tanto en esta materia, generando facilidades a empresarios en la producción y movimiento de sus productos al resto del mundo sin mayores costos impositivos o aduaneros por manejo interno, sin dejar a un lado el objetivo principal de las zonas francas que es la generación de desarrollo por medio de la generación de empleo e inversión, además del impulso positivo de la balanza comercial por a través de las exportaciones.

Por último, hacer extensivo este análisis a astilleros de naturaleza diferente a COTECMAR en tipo de constitución, líneas de negocio, tipo de clientes entre otras, de cara a generar competitividad a nivel sectorial y que esta iniciativa sea de impacto nacional.

Referencias

- Carreño, J. E., Tascón, O. D., & Barrero, G. E. (2006). *Sistema de Innovación para la Industria Astillera de Colombia*.
- COTECMAR; Universidad Nacional de Colombia. (2012). *Desarrollo de un modelo logístico que permita el incremento de la competitividad en Cotecmar*.
- Díaz, L., & Leño, C. (2009). *Sistema de Clasificación de Proveedores de COTECMAR*. Cotecmar, División de Gestión Logística, Cartagena.
- Engman, M. (2012). *Zonas Francas Industriales*. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470670590.wbeog195/abstract>
- Hazakis, K. J. (2013). Key Conditions for the Effectiveness of Special Economic Zones in Regional Development: Opportunities and Challenges for the Thrace Region. In Greece's Horizons.
- Legiscomex. (1 de Septiembre de 2013). *Legiscomex*. Obtenido de Requisitos para las Zonas Francas Permanentes: <https://www.legiscomex.com/BancoConocimiento/R/requisitos-zonas-francas-colombia-rci278/requisitos-zonas-francas-colombia-rci278.asp>.



Mástil principal de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.

CORRELACIÓN CANÓNICA ENTRE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN HUMEDALES COSTEROS

Canonical correlation between physicochemical and microbiological variables in coastal wetlands

Juan Carlos Valdelamar-Villegas¹

Recibido: 29 /06 /2018

Aceptado: 05 /09 / 2018

Resumen

El Análisis de Correlación Canónica (ACC), es una técnica estadística multivariada de uso poco frecuente, pero de gran potencia para reducir la dimensionalidad de los datos y encontrar el mejor grupo de combinaciones lineales intra-grupales. El ACC fue aplicado a dos conjuntos de datos que incluyen variables fisicoquímicas (Alcalinidad Conductividad Fosfatos, pH, Salinidad, Temperatura, Tensoactivos y Turbidez) y otras asociadas al componente microbiológico (Coliformes totales y coliformes fecales y DBO5). El análisis de los datos indica que existen correlaciones altas y significativas (0,94; p-valor << 0.01), entre los dos conjuntos de variables analizadas, destacándose en el primer grupo la salinidad por el mayor peso de su autovalor (2,08), seguida de los tensoactivos (1,04) y los fosfatos (0,78), mientras que el segundo grupo de variables se destacaron los coliformes fecales (0,98). Se concluye

que el ACC es una técnica adecuada para relacionar algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas en humedales costeros, permitiendo además la identificación de patrones espaciales, temporales u otras asociadas a las características hidrológicas de los ecosistemas.

Palabras clave: fisicoquímica, microbiológica, correlación canónica.

Abstract

Canonical Correlation Analysis is a multivariate statistical technique of unfrequented use, but of great power to reduce the dimensionality of the data and to find the best group of intra-group linear combinations. The ACC was applied to two sets of data that include physicochemical variables (Alkalinity Conductivity Phosphates, pH, Salinity, Temperature, Surfactants and Turbidity) and others associated with the microbiological component (total

¹Universidad de Cartagena, Magíster en Ciencias Ambientales - jvaldelamarv1@unicartagena.edu.co

*Agradecimientos: a Leydis Suarez por facilitar el acceso a los datos empleados en los análisis del presente trabajo. También al Departamento de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia (Colciencias), por el apoyo brindado a través del programa de formación de Doctorados Nacionales (Convocatoria 647 de 2014).

coliforms and fecal coliforms and BOD5). The analysis of the data indicates high and significant correlations (0.94; p-value $<< 0.01$), between the two sets of variables analyzed, standing out in the first group the salinity by the greater weight of its auto-value (2.08), followed by surfactants (1.04) and phosphates (0.78), while the second group of variables stood out the fecal coliforms (0.98). Result showed that

CCA is an adequate technique to relate some physicochemical and microbiological variables in coastal wetlands, also allowing the identification of spatial, temporal or other patterns associated with the hydrological characteristics of the ecosystems.

Keywords: physicochemical, microbiological, canonical correlation.

Introducción

El monitoreo constante de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua es un aspecto de gran importancia para conocer la evolución de estado de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, y de esta manera identificar de forma temprana, las alteraciones que puedan presentarse al respecto, y sus posibles causas (Anchal et al., 2008; Chappel et al., 2017), lo cual resulta de gran ayuda para gestionar de manera rápida y eficiente las medidas requeridas para su recuperación (da Rocha et al., 2018).

Sin embargo, la medición permanente de las variables ambientales antes mencionadas, resulta costosa en términos económicos, de tiempo y uso de personal calificado, lo cual ha obligado a las autoridades e investigadores a optimizar el proceso de monitoreo mediante el uso de variables críticas (de mayor ponderación) para la caracterización de la calidad ambiental, identificadas mediante la implementación de métodos estadísticos fundamentados en la relación lineal del conjunto de variables analizadas (Alilou et al., 2018), o mediante el uso de métodos de análisis multivariado como, el Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Factorial, Cluster y Discriminante, con los que ha sido posible realizar agrupaciones naturales entre conjuntos de variables, cuya aplicación se ha extendido a las variables fisicoquímicas y microbiológicas (Filik et al., 2008; Partyka et al., 2017; Avila et al., 2018).

Algunas investigaciones en las que se ha intentado identificar la existencia de algún grado de relación, mediante el modelo de regresión lineal simple o de asociación mediante correlación simple, entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas, han mostrado que la relación entre la mayoría de estas variables puede ser baja y no significativa estadísticamente (Catalao et al., 2000; Kacar, 2011; Lothrop et al., 2018);

No obstante, durante los últimos años, los investigadores han recurrido a otros métodos de análisis, como la regresión lineal múltiple, con la cual se ha podido identificar de manera parcial la relación entre algunas de estas variables. Asimismo, este método tiene como limitación el hecho de que solo permite relacionar una única variable dependientes con varias independientes, lo que no ocurre con el Análisis de Correlación Canónica (ACC), el cual permite relacionar de manera simultánea, un conjunto de variables dependientes con otro conjunto de dependientes (Mazurkiewicz-Zapalowicz et al., 2012). Esto lo consigue mediante la combinación lineal de cada conjunto de variables, que posee la más alta correlación entre ellas, y de esta forma permite determinar la existencia de algún tipo de asociación entre los dos conjuntos de variables de interés (Díaz y Morales, 2016).

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones el presente trabajo tuvo como propósito, determinar el grado de asociación entre dos conjuntos de variables fisicoquímicas y microbiológicas, de amplio uso para las caracterizadoras de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos costeros, mediante la aplicación del Análisis de Correlación Canónica.

Método

Los aspectos contemplados en la metodología del presente estudio se describen a continuación:

Obtención de la información

Los datos empleados en el presente análisis, así como la metodología empleada para la medición de cada una de las variables analizadas, se pueden consultar en Beltrán y Suarez (2010), quienes realizaron una caracterización de la calidad ambiental del agua en seis humedales internos de Cartagena de Indias (norte de Colombia, 10° 26' de latitud norte y 75° 33' de longitud oeste), durante tres campañas de muestreo realizadas en el año 2007 (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio y parámetros analizados por Beltrán y Suarez (2010).
Fuente: Beltrán y Suarez (2010).

En cada uno de los ecosistemas seleccionados, se midieron las variables fisicoquímicas: pH, temperatura (°C), Conductividad (mS/cm), Salinidad, Sólidos totales (mg/L), fosfatos (mg/L), alcalinidad (mg/L) y turbidez (NTU), tensoactivos (mg/L), mientras que en la medición de variables microbiológicas los autores incluyeron la concentración (NMP/100 mL) de coliformes totales (CT) y fecales (CF); y como indicador de la tasa de oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, midieron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (mg/L).

Procesamiento y análisis de la información

Para analizar el comportamiento espacio-temporal de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en conjunto, se realizó un análisis de Correlación Canónica (ACC), cuya ecuación general (Ecuación 1), denota el grado de dependencia lineal de las variables de interés (Badii et al., 2007).

$$R = R_{yy}^{-1} R_{yx} R_{xx}^{-1} R_{xy} \quad (1)$$

Donde R_{yy}^{-1} y R_{xx}^{-1} , corresponden a las correlaciones internas para los conjuntos de variables dependientes (y) e independientes (x) respectivamente, y R_{yx} y R_{xy} , representan las correlaciones entre x e y. Además, se calculan los autovalores, a partir de la ecuación 2.

$$\lambda_i = r_{ci}^2 \quad (2)$$

Donde r_{ci} , es el valor de la correlación canónica para cada par de variables.

El cálculo de la correlación canónica, requiere el valor de dos grupos de coeficientes canónicos, uno para combinar las variables dependientes (Ecuación 3), y otro para las independientes (Ecuación 4).

$$B_y = (R_{yy}^{-1/2})' \hat{B}_y \quad (3)$$

$$B_x = R_{xx}^{-1/2} R_{xy} B_y^* \quad (4)$$

Dónde: B_y = matriz normalizada de autovalores; R = matriz de correlaciones.

El ACC, está diseñado para identificar asociaciones entre dos conjuntos de variables. Esto lo hace encontrando combinaciones lineales de las variables en los dos conjuntos que exhiban correlaciones fuertes. El par de combinaciones lineales con la correlación más fuerte, forman el primer conjunto de variables canónicas. El segundo conjunto de variables canónicas es el par de combinaciones lineales que muestran la siguiente correlación más fuerte entre todas las combinaciones que no están correlacionadas con el primer conjunto. Frecuentemente, un número pequeño de pares puede ser usado para cuantificar la relación que existe entre los dos conjuntos (Basu y Mandal, 2010).

Para la ejecución del ACC y posterior obtención de su modelo, inicialmente se organizaron los datos, en hojas de cálculo del programa computacional Excel de Microsoft, y posteriormente se analizaron teniendo en cuenta la conformación de dos grupos; de estas, de acuerdo con su naturaleza. El primer grupo, al que se le denominó “fisicoquímicas”, estuvo conformado por aquellas variables frecuentemente utilizadas para evaluar la calidad ambiental del agua, tales como el pH, temperatura, conductividad, sólidos totales, turbidez, salinidad, fosfatos, tensoactivos y alcalinidad.

Mientras que el segundo grupo al cual se le denominó “microbiológicas”, estuvo compuesto por los coliformes totales, coliformes fecales y la demanda bioquímica de oxígeno, ambas de gran aplicación durante la evaluación de la calidad microbiológica y del proceso de oxidación de la materia orgánica, mediado por los microorganismos del agua (Jouanneau et al., 2014).

La validación del modelo propuesto del ACC, se realizó a partir de la selección aleatoria de una muestra comprendida por el 30% de los datos originales, con los que se practicó nuevamente este análisis. Posteriormente se compararon los resultados del autovalor, correlación canónica y Lambda de Wilks, mediante la prueba U de Mann-Whitney a un nivel de significancia $p < 0,05$.

La totalidad de los análisis se realizó con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV. Los valores de la Correlación Canónica fueron clasificados en cuatro categorías, de acuerdo a Chen et al. (2018): Alta ($> 0,75$); moderada ($0,50-0,75$); baja ($0,25-0,50$) y débil ($< 0,25$). Los resultados del ACC sirvieron como base para identificar patrones espaciales, temporales y de la tipología hidrodinámica del sistema (lenticos: lagunas y ciénagas; loticos: caños), de acuerdo con el criterio de Roldan y Ramírez (2008).

Resultados

Comportamiento espacio temporal de las variables fisicoquímicas y microbiológicas

El comportamiento espacio temporal del promedio de las variables fisicoquímicas y microbiológicas analizadas, se resumen en la Tabla 1. En esta se observa que el pH más bajo fue de 7,53 en el caño Juan Angola (CJA) durante la segunda campaña, mientras que el más alto (8,20), se presentó en la Laguna de San Lázaro (LS), durante la tercera campaña de muestreo. Para el caso de la temperatura los valores medios, mínimo (29,85 °C) y máximo (31,50°C) se presentaron en la Ciénaga Las Quintas, (CQ). Por su parte la conductividad y salinidad presentaron un descenso progresivo en todos los sitios de muestreo durante el transcurso de las campañas, presentándose el mayor valor de conductividad (53,45 mS/cm), en la LS y el de salinidad (35,63 ppm), en el Caño de Bazurto (CB).

Los fosfatos se caracterizaron por su baja variabilidad temporal, presentándose el mayor promedio de estos (0,24 mg/L), en el CJA, durante la tercera campaña, mientras que el menor valor promedio (0,03 mg/L), se dio en el CB y la Bahía de Cartagena (BHC), durante la primera y tercera campaña. Respecto a la alcalinidad, esta mostró un gradiente de distribución creciente de sus valores medios en casi todos los sitios, en la medida que se efectuaron las campañas de muestreo, presentándose el mayor promedio en la LC (171,82 mg/L) y el menor en la BHC (56,80 mg/L).

El anterior comportamiento fue similar al presentado por los sólidos totales, ocurriendo su mayor promedio 40134 (mg/L), durante la tercera campaña de muestreo, en la CQ, mientras que el menor promedio 26250 (mg/L), se presentó en el CJA, durante la primera campaña, mientras que la turbidez presentó gran variación entre las estaciones y las campañas de muestreo; ocurriendo su mayor promedio (107 NTU) en la estación CB durante la segunda campaña, mientras que el menor (13,0 NTU), ocurrió durante la tercera campaña en la BHC.

Los tensoactivos mostraron un comportamiento variable entre estaciones y campañas de muestreo, siendo mayor el promedio (0,19 mg/L), durante la segunda campaña, en la CQ, mientras que el menor promedio (0,02 mg/L) se presentó en la LS, durante la tercera. En lo que respecta a las variables microbiológicas, se evidenció una alta variabilidad de la DBO5 con respecto a las estaciones y campañas de muestreo, presentando el mayor promedio (13,98 mg/L) en el CJA, durante la primera campaña; mientras que el menor promedio (2,94 mg/L) se dio en la BHC, a diferencia de esta variable, los coliformes totales y fecales presentaron mayor promedio, durante la segunda campaña de muestreo, con 6500 NMP y 22100 NMP respectivamente.

Correlación Canónica entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas

El análisis de correlación Canónica mostró que entre las variables Fisicoquímicas y las Microbiológicas existían dos grupos de correlaciones altas y significativas, sin embargo el primer grupo de estas correlaciones, se caracterizó por el que presentó mayor correlación y mayor peso del Autovalor (0,94 y 0,89 respectivamente), gozando además de mayor significancia estadística (p -valor $<<0.01$), como se muestra en la Tabla 2.

Por su parte, el análisis de los coeficientes obtenidos para cada grupo de variables, mostró, en el caso de las Fisicoquímicas, que la salinidad, los tensoactivos y los fosfatos, fueron las variables representativas dentro de su conjunto, debido a su mayor grado de correlación canónica, con valores 2,08, 1,04 y 0,78 respectivamente (Tabla 3); mientras que, en el conjunto de las variables Microbiológicas, los coliformes fecales fue la variable representativa con un valor de correlación igual 0,97

En el dispersograma de la Figura 2A, se aprecia la relación canónica de tipo directa que existe entre los conjuntos de variables fisicoquímicas, y microbiológicas. Al realizar el esto mismo, por sitios de muestreo, se aprecia la existencia de un patrón de distribución espacial con respecto a los valores de los dos conjuntos de variables analizadas, entre estos sitios, especialmente el CJA, quien se caracterizó por presentar los mayores valores, seguido de la LC, la LS, el CB, y la BHC. Ésta situación indica que el Caño Juan Angola, es el humedal que presenta los mayores valores de salinidad, tensoactivos, fosfatos y temperatura, que Probablemente propiciaron los mayores valores de Coliformes fecales y DBO5 en éste sitio, con respecto a los demás. También es destacable el hecho de que la CQ, presenta tanto valores altos como bajos (Figura 2B), denotando una alta variación de las variables analizadas este sitio con respecto a los demás.

Tabla 1. Promedio de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, analizadas en los humedales internos de la ciudad de Cartagena de Indias, durante las campañas de muestreo desarrolladas en los meses de: marzo: 1, Abril: 2 y Mayo: 3. En los ecosistemas: BHC: Bahía de Cartagena; CB: Caño de Bazarito; CJA: Caño Juan Angola; CQ: Ciénaga de las Quintas; LC: Laguna del Cabrero y LS: Laguna de San Lázaro. Modificado de Beltrán y Suarez (2010).

Campaña	Sitio	pH	Temperatura (oC)	Conductividad (mS/Cm)	Salinidad	Fosfatos (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Turbidez (NTU)	Tensoactivos (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)
1	BHC	7,84	30	52,7	35,63	4,55	0,03	56,8	26855,33	23,67	0,08	960	960
1	CB	7,79	30	52,95	35,65	9,75	0,07	58,3	27031	47	0,13	930	12115
1	CJA	7,75	30,05	52,35	34,75	13,98	0,04	59,7	26250	33,75	0,11	4240	4065
1	CQ	7,69	29,97	51,97	35,57	12,09	0,06	60,1	27564,67	65,67	0,16	600	6000
1	LC	7,83	30,43	53,2	35,07	13,2	0,03	62,13	26660,67	30,33	0,05	596,67	596,67
1	LS	7,9	30,55	53,45	35,25	11	0,07	61,55	27197	28	0,05	840	840
2	BHC	7,69	30,3	41,51	26,47	4,55	0,11	128,42	31622,67	88,67	0,07	2270	4546,67
2	CB	7,87	29,95	41,95	26,85	6,03	0,19	135,49	32736	107	0,09	615	1215
2	CJA	7,53	30,9	43,6	27,9	10,88	0,12	145,6	35046,5	84,5	0,1	2666,67	21575
2	CQ	7,79	29,85	41,5	26,74	6,86	0,12	150,41	32698,67	104	0,19	6950	22100
2	LC	7,96	30,8	41,47	26,43	7,64	0,19	136,47	32942,67	69,33		946,67	1986,67
2	LS	7,69	30,95	41,74	25,55	10,81	0,03	102,78	31590	51,5	0,05	2265	2265
3	BHC	8,04	30,07	38,7	24,7	2,94	0,09	143,38	39345,33	13	0,02	132	562
3	CB	8,1	31,15	38,6	24,8	4,35	0,24	156,62	39630	33	0,03	4795	4830
3	CJA	7,87	30,68	40,18	24,55	12,51	0,08	153,53	38468,5	93	0,04	2515	7425
3	CQ	7,99	31,5	38,97	25	6,63	0,16	171,44	40134	64	0,02	846,67	930
3	LC	8,17	30,83	36,97	23,57	9,17	0,09	171,82	38012,67	74	0,03	696,67	1410
3	LS	8,2	30,8	38,25	24,5	6,68		161,9	39288	40	0,02	1145	3380
Promedio		7,87	30,49	44,45	28,83	8,53	0,10	117,58	32948,54	58,36	0,07	1889,46	5377,89
DE		0,18	0,49	6,27	4,83	3,40	0,06	44,88	5203,09	29,14	0,05	1810,81	6681,23

DE: Desviación estándar

Tabla 2.
Correlaciones Canónicas.

	Número	Autovalor	Correlación Canónica	Lambda De Wilks	Chi-Cuadrado	G.L.	P-Valor
Datos totales	1	0,888	0,942	0,024	87,667	27	0,000
	2	0,678	0,823	0,214	36,175	16	0,003
	3	0,334	0,578	0,666	9,553	7	0,215
Muestra (30%)	1	0,993	0,996	0,0002	61,544	27	0,0002
	2	0,918	0,958	0,039	24,329	16	0,0826
	3	0,525	0,724	0,475	5,581	7	0,5894
U Mann-Whitney-p-valor		0,400	0,400	0,700			

Números en negrilla indican correlación significativa, con p-valor < 0.05.

Al analizar los puntos resultantes del análisis, teniendo en cuenta las campañas de muestreo (Figura 2C), se observa que durante la primera campaña se presentaron los mayores valores, seguidos de las campañas tres y dos. Por su parte, el análisis planteado para analizar la distribución de los autovalores, de acuerdo a las características hidrodinámica de los sistemas, mostró que los mayores valores de las variables analizadas se presentan en los sistemas loticos y los menores en los lenticos (Figura 2D).

Por este lado con respecto a la validación del modelo obtenido, los resultados de ésta se presentan en la Tabla 2, donde se observa que no hubo diferencias significativas (U de Mann-Whitney: $p > 0,05$), entre los parámetros calculados para el autovalor, la correlación canónica y el estadístico Lambda de Wilks, a partir de los resultados originales y la muestra del 30% de los datos originales seleccionado aleatoriamente.

Discusión

De acuerdo con la legislación Colombiana que regía durante el periodo en que fue realizado el estudio de Beltrán y Suarez (2010) (Decreto 1594 de 1984), los valores de pH, se encontraron dentro de lo admisible por la norma tanto para la destinación de contacto primario y secundario, así como para preservación de fauna y flora.

La variación de la salinidad en los cuerpos de agua cercanos a la Bahía Interna de Cartagena (Laguna San Lázaro y Ciénaga de Las Quintas), indica que en estos humedales existe un proceso continuo de renovación de la misma, sin embargo, el comportamiento de los sólidos totales y la turbidez, sugiere que a estos humedales también ingresa

material alóctono, insoluble en suspensión, coloides y microorganismos, procedentes de los residuos dispuestos inadecuadamente en sus laderas, así como del lavado y la erosión de los suelos circundantes (Tirado et al., 2010).

Esta situación impacta negativamente estos cuerpos de agua, debido a que reduce la zona fótica, y con ello la fotosíntesis de los productores primarios, lo que disminuye la oferta de oxígeno. Adicionalmente bajo esta situación, la demanda de oxígeno aumenta por parte de microorganismos como las bacterias y protozoarios, que oxidan rápidamente la materia orgánica disuelta en el agua (Hu et al. 2017); situación esta, que se evidenció principalmente en ecosistemas como el Caño Juan Angola, el cual presentó altos valores de DBO₅ (6,02-18,84 mg/L), que excedieron el límite establecido en la normatividad colombiana (5 mg/L). La explicación a este comportamiento se debe a que durante la época del estudio, este sitio funcionaba como receptor de las descargas de emergencia de aguas residuales de la estación del Oro, perteneciente a la empresa Aguas de Cartagena S.A ESP.

Al igual que los resultados anteriores, la concentración de los coliformes totales y fecales, indicó que el agua de los ecosistemas analizados presentaba calidad inadecuada para fines recreativos (Decreto 1594 de 1984), cuya casusa se relaciona directamente con el vertimiento de aguas residuales.

El análisis particularizado de los datos posee ciertos inconvenientes, entre estos la comprensión integral de los fenómenos estudiados, ya que desconoce aquellos efectos que se pueden derivar de la sinergia entre variables, así como la identificación de “variables críticas” (Alilou et al., 2018), que pueden servir como descriptores de procesos que ocurren en los sistemas naturales, y a partir de las cuales se pueden generar estrategias de análisis como la construcción de indicadores de calidad ecológica y ambiental, lo cual puede lograrse adecuadamente mediante el uso de técnicas de análisis multivariados como la correlación canónica (Ramírez et al., 1997; Yuvaraj et al., 2018).

El uso de la ACC puede ser complejo cuando existen datos de muy alta dimensión ($m > n$) sin embargo, una de las principales ventajas de este análisis, es que se fundamenta en uso de una matriz de covarianza fácilmente computable, en lugar de la gran cantidad de datos (Shen et al., 2014); además, la representación gráfica de este tipo de análisis, usualmente en dispersogramas de dos dimensiones resulta menos complejo que en el de otras técnicas de análisis multivariado (Khalil et al. 2011), permitiendo identificar, como el presente trabajo patrones de tipo espacial (sitio), temporales (campana), o de otros factores diferenciadores de los datos, como ocurrió en el presente análisis con la tipología hidrodinámica del sistema.

Así que las bondades del ACC han sido evidenciadas en el presente estudio, mediante el cálculo del coeficiente de correlación producto-momento (Díaz y Morales, 2016), que permitió identificar el aporte de cada variable dentro de su respectivo conjunto (variable canónica), destacándose en este sentido la salinidad, por ocupar el primer

lugar; condición que puede ser explicada por los cambios que usualmente experimenta esa variable en los ecosistemas costeros, debido a la incidencia de la estacionalidad climática; sobre todo por la precipitación, que al hacerse mínima facilita el incremento de la temperatura y salinidad del agua, debido al desbalance entre la tasa de reposición del agua y la tasa de pérdida por evapotranspiración (Cloern et al., 2017); además este mismo fenómeno influye de manera directa en el incremento de la concentración de otras variables, como los tensoactivos y los fosfatos, así como en la concentración de coliformes totales y la DBO₅, (de mayor peso en el segundo grupo de variables canónicas) (Gavio et al., 2010).

Los resultados hasta ahora encontrados permiten afirmar que el ACC, ha sido método de análisis eficaz para identificar el grado de relación entre los dos conjuntos de variables analizadas, lo cual se suma a la gama de aplicaciones que previamente han sido reportadas para este método (Khaki et al. 2018; Chen et al. 2018), denotando una vez mas la importancia del ACC como técnica estadística exitosa para la reducir la dimensionalidad de los datos, y con ello obtener mejores resultados en cuanto a la identificación de relaciones difícilmente observables mediante el uso de técnicas de análisis univariado (Liu et al., 2018).

Tabla 3.

Coefficientes de Correlación Canónica del primer y segundo grupo de variables.

Primer grupo: **Fisicoquímicas**

	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3
Alcalinidad	-0,496	-0,788	1,750
Conductividad	-2,513	-1,837	4,194
Fosfatos	0,783	0,970	-0,624
pH	-0,370	0,176	0,661
Salinidad	2,084	1,965	-4,013
Sólidos totales	0,153	-0,469	-2,110
Temperatura	0,450	0,160	0,159
Tensoactivos	1,037	-0,298	-0,182
Turbidez	-0,664	-0,258	0,386
Segundo grupo: Microbiológicas			
Coliformes Fecales	0,966	-0,601	0,870
Coliformes Totales	-0,019	0,558	-1,327
DBO ₅	0,129	0,877	0,480

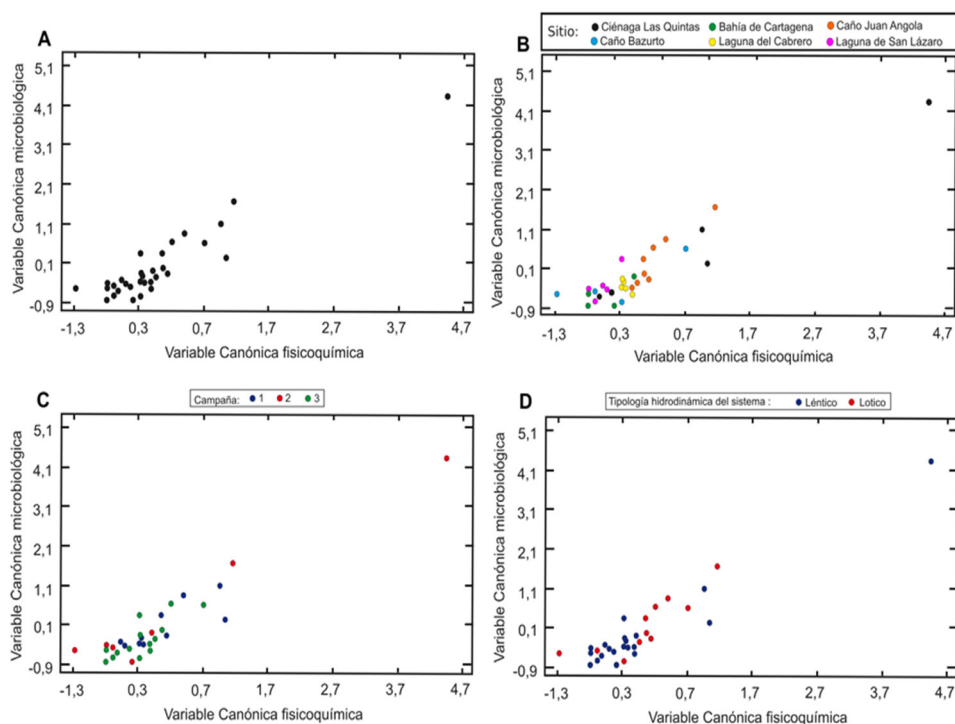


Figura 2. Dispersograma de la Correlación Canónica, entre las variables Fisicoquímicas y Microbiológicas (A), para los sitios de muestreo (B), mes de campaña de muestreo (1: Marzo; 2: Abril, y 3: Mayo) (C) y la tipología hidrodinámica del sistema (D).

Conclusiones

La aplicación del Análisis de Correlación Canónica, permitió maximizar la correlación entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas, frecuentemente utilizadas para la caracterización de la calidad ambiental de los humedales internos de Cartagena de Indias, identificándose además a la salinidad, los tensoactivos, fosfatos y coliformes fecales, como las variables representativas de estos ecosistemas, sugiriendo su inclusión durante los próximos programas de monitoreo de calidad ambiental que se pretendan desarrollar en este tipo de humedales. Seguramente el desarrollo de un mayor número de estudios de este tipo en estos ecosistemas ayudará a afianzar algunas de estas variables como representativas del resto, pudiéndose requerir solo la medición de mismas, al momento de determinar la calidad ambiental de estos humedales, lo que sin duda permitirá reducir los costos operacionales que usualmente se tienen con los actuales programas de monitoreo de la calidad ambiental de las aguas.

Además de las anteriores consideraciones, el ACC, ha sido útil para identificar fácilmente patrones de distribución espacio-temporal y otros relacionados con la tipología hidrodinámica de los ecosistemas, lo cual permitirá entender muchos fenómenos ecológicos y ambientales que se llevan a cabo en humedales de este tipo, sirviendo además como información de base, para la adecuada gestión ambiental por parte de las autoridades locales.

Referencias

- Alilou H., Moghaddam A., Hamidreza N., Dawei K., Michaela H. (2018). *A cost-effective and efficient framework to determine water quality monitoring network locations*. Science of The Total Environment, 624:283-293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.121>.
- Anchal S., Kamal D., Piyush S., Shivesh P. (2008). *Assessment of bacterial indicators and physicochemical parameters to investigate pollution status of Gangetic river system of Uttarakhand (India)*. Ecological Indicators, 8(5): 709-717.
- Avila R., Horn B., Moriarty E., Hodson R., a Moltchanova E. (2018). *Evaluating statistical model performance in water quality prediction*. Journal of Environmental Management, 206: 910-919.
- Badii, M., J. Castillo, K. Cortez, A. Wong & P. Villalpando. (2007). *Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica*. Innovaciones de Negocios, 4(2): 405 - 422 disponible en (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717311258>)
- Basu A. y A. Mandal. (2010). *Canonical Correlation*. International Encyclopedia of Education (Third Edition), Editors-in-Chief: Penelope Peterson, Eva Baker and Barry McGaw, Oxford, p:52-57.
- Beltrán A. y Suárez L. (2010). *Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de Indias*. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco- Cardique. Cartagena, Colombia. Diposnible en: www.eumed.net/libros/2010b/691/.
- Catalao Dionisio Lidia Po, G Rheinheimer, Juan J Borrego. (2000). *Microbiological Pollution of Ria Formosa (South of Portugal)*. Marine Pollution Bulletin, 40(2): 186-193.
- Chappel N., Jones T., Tych W. (2017). *Sampling frequency for water quality variables in streams: Systems analysis to quantify minimum monitoring rates*. Water Research, 123: 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.047>.

- Chen, N., Mo, Q., Kuo, Y.-M., Su, Y., y Zhong, Y. (2018). *Hydrochemical controls on reservoir nutrient and phytoplankton dynamics under storms*. Science of The Total Environment, 619–620, 301–310. DOI: 10.1002/Ino.10537.
- Cloern J., Jassby A., Schraga T., Nejad E., Matin C. (2017). *Ecosystem variability along estuarine salinity gradient: Examples from long-term study of San Francisco Bay*. Limn.Oceanogr, 62:272-291.
- da Rocha, M.P., Dourado, P.L.R., Cardoso, C.A.L. et al. *Environ Monit Assess*, (2018) 190: 61. DOI:10.1007/s10661-017-6440-2.
- Díaz L. y Morales M. (2016). *Análisis estadístico de datos multivariados*. 2ª ed. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.635p. ISBN: 978-958-761-325-4.
- Filik Iscen, C., Emiroglu, Ö., Ilhan, S. et al. (2008). *Application of multivariate statistical techniques in the assessment of Surface water quality in Ulubat Lake, Turkey*. Environ Monit Assess, 144: 269. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9989-3>.
- Gavio B., Palmer-Cantillo S., Mancera J. (2010). *Historical analysis (2000–2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia*. Marine Pollution Bulletin. 60(7):1018-1030. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.01.025.
- Hu X., Li Q., Huang W., ChenB., Cai W., Rabalais N., Turner R. (2017). *Effects of eutrophication and benthic respiration on water column carbonate chemistry in a traditional hypoxic zone in the Northern Gulf of Mexico*. Marine Chemistry. 194:33-42. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2017.04.004>.
- Jounnaeau S., Recoules L., Durand M., Boukabache A., Picot V., Primault Y., Lakel A., Sengelin M., Barillon A., Thouand G. 2014. *Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review*. Water research, 49:62-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066>.
- Kacar A. (2011). *Analysis of spatial and temporal variation in the levels of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey*. Ecological Indicators, 11(5): 1360–1365.
- Khaki, M., Forootan, E., Kuhn, M., Awange, J., Papa, F., & Shum, C. K. (2018). *A study of Bangladesh's sub-surface water storages using satellite products and data assimilation scheme*. Science of The Total Environment, 625: 963–977. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.289>.

- Khalil B., Ouarda T., St-Hilaire A. (2011). *Estimation of water quality characteristics at ungauged sites using artificial neural networks and canonical correlation analysis*. Journal of Hydrology, 405: 277-287. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.024.
- Liu, W., Yang, X., Tao, D., Cheng, J., & Tang, Y. (2018). *Multiview dimension reduction via Hessian multiset canonical correlations*. Information Fusion, 41: 119–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.09.001>.
- Lothrop N., Bright K., Sexton J., Pearce-Walker J., Reynolds J., Verhougstraete M. (2018). *Optimal strategies for monitoring irrigation water quality*. Agricultural Water Management, 199: 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.018>.
- Mazurkiewicz-Zapałowicz K., Silicki, A., Gregorczyk, A. et al. 2012. *Ocean and Hydrol* 41(4): 8-16.
- Partyka M., Bond R., Chase J., Atwill E. (2017). *Monitoring bacterial indicators of water quality in a tidally influenced delta: A Sisyphean pursuit*. Science of The Total Environment, 578(): 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.179>.
- Rheinheimer, Juan J Borrego. (2000). *Microbiological Pollution of Ria Formosa (South of Portugal)*. Marine Pollution Bulletin, 40(2): 186–193.
- Ramírez A., Restrepo R., Viñas G. (1997). *Cuatro índices de contaminación para la caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación*. Ciencia, Tecnología y Futuro. 1(3): 135-153.
- Roldan P. Gabriel y Ramírez R. John J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2ª edición. Ed. Universidad de Antioquia. 440p.
- Shen, C., Sun, M., Tang, M., & Priebe, C. E. (2014). *Generalized canonical correlation analysis for classification*. Journal of Multivariate Analysis, 130: 310–322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmva.2014.05.011>.
- Tirado O., Manjarrez G., Díaz C. (2011). *Caracterización ambiental de la ciénaga de La Quinta localizada en Cartagena de Indias, Colombia, 2009-2010*. Actualidad & Divulgación científica. 14(2): 131-139.
- Yuvaraj P., Satheeswaran T., Damotharan P., Karthikeyan V., Kumar D. Dharani G., Balasubramanian T., Kirubakaran R. (2018). *Evaluation of the environmental quality of Parangipettai, Southeast Coast of India, by using multivariate and geospatial tool*. Marine Pollution Bulletin. 131(Part A): 239-247. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.022>.



Pabellón Nacional de la Republica de Colombia.

REGULACIÓN DEL TERRITORIO MARINO-COSTERO EN COLOMBIA DESDE LAS INICIATIVAS LEGISLATIVAS DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA ENTRE 1998–2016*

Regulation of marine coastal territory in Colombia from the legislative initiatives of the Congress of the Republic between 1998–2016

Camilo M. Botero¹
Liliana Marin²

Recibido: 15/03/2018

Aceptado: 06/08/2018

Resumen

Colombia es un país marino y costero desde la perspectiva ambiental, pero no desde la perspectiva jurídica, como lo demuestra la inexistencia de una Ley de Mares y Costas. Buscando identificar las causas de esta invisibilización del territorio marino-costero, se revisaron las iniciativas legislativas presentadas en el Congreso de la República desde 1998 por medio de técnicas exploratorias, documentales y analíticas, con apoyo de fichas de registro. Como resultado, se identificaron 16224 gacetas entre 1999 – 2016, de las cuales el 2,1% (n=336) tenían una relación directa, indirecta o probable con temas marino-costeros. A partir de esta muestra, se reconstruyó el trámite legislativo de

80 proyectos de ley y se analizaron las tendencias procedimentales, políticas y temáticas de los 52 que tenían relación directa con asuntos marino-costeros. Como conclusiones, se identificó una debilidad estructural en el procedimiento de trámite legislativo en Colombia, acompañado de una alta dispersión de esfuerzos por parte de los legisladores y un bajo conocimiento de los asuntos marino-costeros evidenciado en los textos de los proyectos de ley analizados.

Palabras Clave: territorio marino-costero, iniciativas legislativas, ordenamiento territorial, Congreso de la República, planeación espacial marina.

¹Universidad Sergio Arboleda - Santa Marta. Ph.D en Gestión del Agua y la Costa, Grupo de Investigación Joaquín Aaron Manjarres - camilo.botero@usa.edu.co

²Universidad Sergio Arboleda - Santa Marta. Abogada. Grupo de Investigación Joaquín Aaron Manjarres - lilianamargaritamb@gmail.com

*Agradecimientos: Este documento es resultado del proyecto de investigación “Factores políticos y jurídicos que han influido en la generación de propuestas legislativas relativas al ordenamiento territorial marino-costero en Colombia en el periodo 1997-2015”, financiado por la III Convocatoria interna seccional de proyectos de investigación “Construyendo oportunidades para la competitividad”, de la Universidad Sergio Arboleda – Santa Marta.

Abstract

Colombia is a coastal and marine country from the environmental perspective, but not from a legal perspective when considered the absence of a Marine-Coastal Law. In order to identify the causes of this invisibility of the marine-coastal territory, the legislative initiatives presented in The Congress since 1998 were reviewed through exploratory, documentary and analytical techniques. As a result, 16224 gazettes were identified between 1999 - 2016, of which 2.1% (n = 336) had a direct, indirect or probable relationship with marine-coastal issues. From this sample, the legislative process

of 80 law projects was reconstructed and the procedural, political and thematic tendencies of the 52 directly related to marine-coastal matters were analyzed. As conclusions, a structural weakness was identified in the legislative procedure in Colombia, accompanied by a high dispersion of efforts on the legislators and a low knowledge of the marine-coastal issues evidenced in the texts of the law projects analyzed.

Keywords: marine-coastal territory, legislative initiatives, territorial planning, Congress of the Republic, maritime spatial planning.

Introducción

En Colombia el ordenamiento territorial está principalmente regulado por la Ley 388 de 1997 y la Ley 1454 de 2011. No obstante, la legislación sobre ordenamiento territorial en Colombia no reconoce las zonas marinas y costeras como parte de su objeto de actuación. Como consecuencia, variados autores han resaltado la importancia de incluir estas amplias zonas al desarrollo nacional (Avella et al. 2010; Botero y Sosa 2011), incluso creando una categoría de suelo costero (Mora y Guerrero 2010).

Las zonas marinas del país representan casi un millón de kilómetros cuadrados, mientras que la longitud de la línea de costa supera los 3000 km (CCO, 2007; MMA, 2000). En esta vasta extensión se ubican ocho departamentos del Caribe Continental, un departamento en el Caribe Insular y cuatro departamentos en la costa Pacífica. En el año 2000 el Ministerio de Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) propuso la creación de once Unidades Ambientales Costeras, que fueron finalmente establecidas por el Decreto 1120 de 2013.

A pesar de estos avances desde la perspectiva ambiental el territorio marino costero en Colombia ha sido subvalorado en la mayoría de políticas públicas sectoriales y en las iniciativas legislativas que se han presentado en el Congreso de la República. Prueba de ello es la inexistencia en Colombia de un ordenamiento jurídico que regule y establezca lineamientos para la ocupación y aprovechamiento de sus áreas jurisdiccionales en el Mar Caribe y el Océano Pacífico, así como en las tres zonas costeras con que limitan (Caribe Continental, Caribe Insular y Pacífica).

Como respuesta desde el sector académico a inexistencia de un ordenamiento jurídico integral del territorio marino-costero, en 2015 se formuló un proyecto de investigación exploratoria que buscó identificar las principales causas de la invisibilización del territorio marino-costero en las iniciativas legislativas. Este documento presenta los principales antecedentes conceptuales, hallazgos y reflexiones generados por este esfuerzo científico.

Antecedentes Conceptuales

Gestión Costera Integrada

Aunque el ser humano es una especie principalmente terrestre, gracias a los avances de la tecnología durante milenios ha logrado dominar los ambientes acuáticos y más recientemente los aéreos. No obstante, la necesidad de gestionar las zonas costeras con un enfoque integrado se inicia apenas en el año 1972, con la Coastal Zone Management Act de los Estados Unidos de América (Vallega, 1999). Posteriormente se presentaron avances legislativos e institucionales en países como Francia y Reino Unido, desembocando en la inclusión de un capítulo exclusivo para la Gestión Costera Integrada

– GCI en el documento final de la Cumbre de la Tierra llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992 (Barragán, 2003).

A partir del Capítulo 17 de la Agenda 21 emanada de Río'92, la GCI empezó un veloz desarrollo conceptual y metodológico. La documentación sobre GCI es muy amplia, principalmente en la década entre 1995 y 2005, cuando se desarrollaron la mayoría de manuales y programas a nivel internacional (Clark 1995; COI-UNESCO 1997; Post y Lundin 1996; Cicin-Sain y Knecht 1998; Vallega 1999; Barragán 2003). Posterior a esta profusión de literatura científica vino la formulación de cientos de programas de gestión costera integrada en prácticamente la totalidad de países del mundo.

La GCI es concebida por la mayoría de autores como un proceso cíclico de toma de decisiones, a partir de cinco fases consecutivas: a. Diagnóstico, b. Planeación; c. Implementación, d. Adopción formal y financiamiento; y e. Evaluación (GESAMP, 1999).

Enmarcado en este ciclo básico, tomado de las ciencias políticas, las acciones del Estado y los particulares se deben alinear para lograr un desarrollo sostenible de las costas.

En Colombia la GCI se inicia formalmente en 1997 con la formulación de un documento base para la formulación de una política ambiental en GCI (Steer et al., 1997). A partir de este documento, se aprobó en diciembre del 2000 la Política Nacional para el Desarrollo Sostenible de las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (MMA, 2000), la cual fue reforzada con el Documento CONPES 3164, que la dotaba de recursos financieros para su ejecución (CONPES, 2002). De forma simultánea, la Comisión Colombiana del Océano aprobaba los Lineamientos de la Política Nacional del Océano (CCO, 2002), que posteriormente se convertirían en una política intersectorial y de gran amplitud en temas costeros y del océano (CCO, 2007). A partir de estas dos políticas, una ambiental y otra intersectorial, se realizaron múltiples proyectos de diagnóstico, caracterización y planificación en las zonas costeras del país (Rojas, Sierra, P., & López Rodríguez, 2010), aunque de acuerdo al diagnóstico de la Red Iberoamericana de Manejo Costero Integrado, el avance ha sido mucho menor del esperado (Avella et al., 2010).

Más allá de la implementación, completa o parcial, de la GCI, se debe mencionar que la mayoría de iniciativas se limitan a una estrecha franja tierra adentro, que excluye muchas de las interacciones del territorio marino-costero. Muestra de ello es el Decreto 2324 de 1984, que define la jurisdicción de la autoridad marítima a escasos 50 metros desde la línea de más alta marea, mientras que el Decreto 1120 de 2013 establece que la franja tierra adentro de la zona costera es de dos kilómetros, independiente de sus características geomorfológicas. En relación a mar afuera, el mismo Decreto 1120 de 2013 establece como límite la plataforma continental en la isóbata de 200 metros, aunque las competencias de las autoridades ambientales solo llegan hasta la anchura del mar territorial (12 millas náuticas) de acuerdo al artículo 208 de la Ley 1450 de 2011.

Planeación Espacial Marina

Ante la debilidad de la GCI en las áreas marinas, a principios del siglo XXI se empezaron a proponer otros modelos, siendo la Planeación Espacial Marina (PEM) el que tuvo más auge (Ehler y Douvere 2009). La PEM se concibe como una respuesta a la ausencia de instrumentos para ordenar el espacio marino, dado que la GCI se concentra demasiado en las aguas interiores y no propone instrumentos precisos para la ordenación del espacio marino.

Aunque la PEM se asemeja en muchos aspectos, en especial metodológicos, a la GCI, se distingue principalmente por su enfoque práctico y centrado en la ordenación de actividades económicas (Ehler y Douvere 2009). El desarrollo de la PEM se ha plasmado sobre todo en proyectos e iniciativas regulatorias en países con amplia tradición marítima o con situaciones particulares de utilización del océano, como el caso de los estrechos o archipiélagos (EU 2011; Ferreira, Johnson, y Silva 2014).

En Colombia la implementación de la PEM es muy reciente, aunque existen iniciativas similares en su objeto, pero enfocadas en otros marcos de referencia. Se destaca el Plan de Ordenamiento Marítimo de la Bahía de Cartagena, en el cual ya se esbozaban los principios centrales de la PEM (Torres, 2004). Otra iniciativa similar fue realizada en la costa Pacífica, en el Golfo de Cupica, donde se ordenan los usos y actividades económicas desde un enfoque de ciencias de la complejidad, aunque con un procedimiento distinto al establecido por la UNESCO en su guía de PEM (Botero, Tosic, Calderón, & Niño, 2014).

Usos y actividades marino-costeras

Uno de los aspectos centrales de las iniciativas de gestión, bien sean costeras o marinas, es la definición de los intervinientes (stakeholders en inglés) que participarán de la identificación e implementación de los instrumentos jurídicos, administrativos, económicos o técnicos. A pesar de su relevancia, el consenso científico al respecto es mínimo, en gran parte por la tendencia de los investigadores en proponer nuevos métodos, sin haber permitido a los ya propuestos comprobar su eficacia.

En consecuencia, cada iniciativa debe establecer al inicio su propio marco de referencia respecto a quienes intervendrán en las acciones de gestión a proponer. En el caso de la PEM es más evidente, dado que se concentra fuertemente en las actividades económicas localizadas en las aguas marinas, pero en el caso de la GCI los abordajes son muy diversos. Para facilitar esta definición, en este estudio se propone el marco de usos humanos y actividades económicas propuesto inicialmente por (Barragán, 2003) y ajustado posteriormente por Botero et al. (2014).

Como se observa en la Tabla 1, la estructura se conforma por seis categorías de usos humanos de la costa y cinco categorías de actividades económicas, siendo la

diferencia entre unos y otras el interés de lucro en la utilización del espacio marino (Barragán, 2003). En este esquema se diferencian 25 usos de las áreas marino-costeras y 41 actividades económicas que se pueden desarrollar en tres ubicaciones: a. Terrestre, cuando el uso o actividad (U/A) solo puede desarrollarse tierra adentro; b. Costera, cuando el U/A solo se puede desarrollarse en la interfaz continente-mar; y c. Marina, cuando el U/A se realiza exclusivamente en las áreas marinas. Adicionalmente, hay varias actividades que se pueden localizar en dos o incluso las tres zonas.

La ventaja de esta estructura de usos y actividades marino-costeras es que cumplen con la máxima metodológica de las clasificaciones, según la cual todo elemento debe pertenecer a una sola categoría, sin quedar elementos sin categorizar (Hurtado, 2010). Además, esta clasificación permite la aplicación de instrumentos de evaluación y análisis, como la Matriz de Interacciones Costeras, inicialmente propuesta por UNESCO (2006) y posteriormente adaptada por Botero et al. (2014).

La utilización de esta estructura de U/A marino-costeras busca incluir tanto las interacciones que se generan en las zonas costeras, y que son objeto de interés de la GCI, como las interacciones en las zonas marinas, que son abarcadas por la PEM. En consecuencia, se supera la dicotomía costa-mar, generando la opción de ordenar un nuevo espacio más complejo denominado como territorio marino-costero.

Tabla 1.

Estructura de usos humanos y actividades económicas en el territorio marino-costero (M: Marino; C: Costero; T: Terrestre).

Categoría Uso	Sub-Uso	Ubicación			Categoría Actividad	Sub-Actividad	Ubicación		
		M	C	T			M	C	T
Espacio natural	Área Protegida Natural Pública	X	X	X	Extractivas o primarias	Exploración petrolera	X	X	X
	Área Protegida Natural sociedad civil	X	X	X		Extracción de moluscos y bivalvos		X	
						Minería costera (áridos, salinas)		X	
Asentamientos humanos	Residencial baja densidad			X		Minería fondos marinos	X		
	Residencial alta densidad			X		Pesca Arrastre		X	
	Segunda residencia baja intensidad			X		Pesca Artesanal		X	
	Segunda residencia alta intensidad			X		Pesca de altura		X	
	Asentamientos palafíticos		X		Básicas	Acuicultura		X	X
	Residencial de lujo			X		Agricultura Comercial			X
Infraestructura e instalaciones	Alimentaciones de playa		X			Agricultura de Pancoger			X
	Infraestructura Vial			X		Avicultura/Porcicultura			X
	Instalaciones eléctricas	X	X	X		Extracción de Madera Comercial			X
	Muelles públicos			X		Extracción de Madera Local			X
	Obras de defensa costera		X			Ganadería			X
	Paseos y camellones			X		Maricultura		X	X
	Poliductos (gas/petróleo)	X	X	X					

Tabla continua...

Categoría Uso	Sub-Uso	Ubicación			Categoría Actividad	Sub-Actividad	Ubicación		
		M	C	T			M	C	T
	Vías férreas			X					
Receptor de vertidos	Emisario submarino	X			Industriales	Desalinización			X
	Relleno sanitario			X		Generación energía (eólica)	X	X	X
Defensa	Instalaciones militares en tierra			X		Generación energía (mareomotriz)		X	
	Instalaciones militares navales					Generación energía (térmica)		X	X
	Instalaciones Policía Nacional o Local			X		Manufactura			X
				X		Siderúrgica	X	X	
				X					
Tradiciones locales (patrimonio cultural)	Área Protegida Cultural Pública	X	X			Transporte Marítimo Interno		X	
	Producción Artesanías			X		Transporte Marítimo Cabotaje		X	
	Territorios Ancestrales	X	X			Transporte Marítimo Internacional		X	
	Zona ceremonial	X	X			Megapuestos (HUB)		X	
					Comercio y transporte marítimo	Puertos mercancía general		X	
						Puertos de gráneles sólidos		X	
						Puertos multipropósito		X	
						Puertos de gráneles líquidos o gaseosos		X	
						Puertos contenedores		X	
						Puertos pesqueros		X	
					Turismo y recreación	Turismo de Naturaleza	X	X	X
						Turismo Náutico	X	X	
						Turismo de Sol y Playa		X	
						Turismo de Cruceros	X	X	
						Turismo de Avistamiento Ballenas		X	
						Turismo de Aventura	X	X	X
						Recreación urbana		X	
						Pesca Deportiva		X	
						Campos de Golf			X
						Buceo Recreativo	X		

Método

La investigación se desarrolló en dos fases: una primera de tipo exploratorio descriptivo y una posterior de tipo analítico, de acuerdo a los postulados de Hurtado (2010). La primera fase se sustentó en la inexistencia en Colombia de suficientes referentes sobre la temática de ordenamiento territorial marino-costero (OTMC) desde la perspectiva jurídica. A partir de los hallazgos de esta fase exploratoria, se identificaron las fuentes de información relevantes y se calibraron los instrumentos de registro documental.

Para el acceso a la información sobre las iniciativas legislativas, se consultaron los registros entre 1999 y 2016 publicados por la Gaceta del Congreso, dado que es la fuente oficial de información del Congreso de la República de Colombia. Simultáneamente, se consultó la página web del Senado de la República, siendo la principal fuente de información por la organización, calidad y cantidad de datos relevantes para la investigación y la cual tiene el registro de mayoría de proyectos de ley cursados en el Congreso desde el año 2000. Finalmente, se verificó la información obtenida y se complementaron vacíos documentales en dos visitas a la Unidad de Gacetas del Congreso de la República.

Respecto al registro de la información, a medida que se identificaron proyectos de ley relacionados con temáticas marino-costeras (tabla 1), se fueron registrando en un instrumento diseñado para la investigación, en el cual se incluyeron datos ligados al trámite legislativo, tales como legislatura, autor, ponente, partido político, número de gaceta de cada etapa, entre otros. Esta labor fue realizada por dos auxiliares de investigación, quienes extractaban e ingresaban la información de cada iniciativa legislativa de forma sistemática.

Posteriormente, y debido a que las Gacetas del Congreso son organizadas únicamente de forma cronológica, se debió reconstruir el trámite de cada proyecto de ley, generando un documento único compilado por cada iniciativa legislativa identificada. Con esta información ordenada y tabulada, se procedió al análisis descriptivo de frecuencias en las principales variables, tales como periodo legislativo, partido político y último trámite cursado. A partir de ello se generaron los resultados que soportan los hallazgos procedimentales y temáticos que se presentan en este documento.

Resultados y Discusión

Acceso y disponibilidad de la información legislativa

El primer hallazgo relevante de la investigación fue la escasez, o incluso nula existencia, de iniciativas legislativas sobre OTMC. Si bien el proyecto identificó cincuenta y dos proyectos de ley con relación directa a los U/A marino-costeros o sobre ordenamiento territorial (Tabla 2), ninguno cumplía las características para ser denominado como Ley de Costas, menos como iniciativa de ordenamiento del territorio marino-costero.

Tabla 2.

Gacetas del Congreso identificadas en línea desde la expedición de la Ley 388 de 1997.

Año	Total Gacetas	Relación Directa	Relación Indirecta	Relación Probable	Sin Relación
1997	IND	IND	IND	IND	IND
1998	IND	IND	IND	IND	IND
1999	IND	IND	IND	IND	IND
2000	253	4	0	1	248
2001	370	10	2	6	352
2002	1821	2	0	1	1818
2003	1929	4	0	6	1919
2004	785	7	9	2	767
2005	954	9	10	3	932
2006	694	5	4	14	671
2007	678	11	2	18	647
2008	958	4	16	4	934
2009	1305	17	9	7	1272
2010	1128	7	3	1	1117
2011	1004	17	3	0	984
2012	961	2	8	0	951
2013	1055	10	7	0	1038
2014	869	17	1	1	850
2015	1078	4	25	5	1044
2016	382	20	13	5	344
Suma	16224	150	112	74	15888
%	100%	0,9%	0,7%	0,5%	97,9%

Respecto a las fuentes de información, se encontró que los proyectos de ley son difícilmente consultables por una persona sin experiencia en temas legislativos. La aplicación web del Congreso de la República para la consulta de las Gacetas tiene una interface poco intuitiva, que no permite búsquedas por temáticas, sectores estatales (ej. Ambiente o educación) o grupos políticos. Una fuente de consulta más intuitiva, aunque menos robusta, es la ofrecida por el Programa Congreso Visible de la Universidad de Los Andes, quienes permiten búsquedas de proyectos de ley por temática o año. Si bien esta fuente de información fue utilizada en la primera instancia del proyecto, fue reemplazada posteriormente por la dificultad para hacer búsquedas efectivas sobre los usos y actividades marino-costeras, dado que la categorización utilizada por este programa se debe más a la clasificación de temáticas de las comisiones del Senado y Cámara de Representantes, que invisibilizan los temas marino-costeros.

La tercera fuente, que finalmente fue la más utilizada, se refirió a la página web del Senado de la República, que contiene un motor de búsqueda de proyectos de ley

desde el año 1990, organizados por legislaturas. De cada proyecto de ley se obtiene una ficha con la descripción del trámite legislativo, las gacetas de referencia, y el estado actual. A partir de esta información ordenada, se logró recuperar las gacetas de interés dentro del aplicativo inicialmente comentado del Congreso de la República, aunque los proyectos de ley entre 1997 y 2005 tenían menos nivel de detalle.

En consecuencia, el procedimiento de consulta de iniciativas legislativas en Colombia es altamente tortuoso, empezando por la consulta de las fuentes oficiales. Asimismo, no existe una agrupación de las gacetas del Congreso en función de los proyectos de ley. Esto, implica tener que revisar cientos y hasta miles de gacetas para lograr rearmar el trámite legislativo de un solo proyecto. Adicionalmente, la organización de la información en las gacetas (exposición de motivos en senado, primera ponencia en senado, segunda ponencia en senado, texto de plenaria en Senado, conciliación en senado, exposición de motivos en cámara, primera ponencia en cámara, segunda ponencia en cámara, texto de plenaria en cámara, conciliación en cámara) no es uniforme, generando dificultades al momento de su reconstrucción en cada una de las etapas del trámite legislativo. La desorganización de la información imposibilita comprender las modificaciones realizadas durante el trámite legislativo, puesto que, de un debate a otro puede mutar el objetivo, contenido normativo o finalidad inicial, desconociéndose la motivación que impulso los cambios.

Temáticas legisladas

Desde el punto de vista técnico, se encontró una gran concentración en las temáticas legisladas en torno al territorio marino-costero en Colombia. Se encontraron 52 proyectos de ley con relación directa sobre ordenamiento territorial, de las cuales 11 presentados en el Senado y 7 radicados en la Cámara de Representantes, que versan sobre el ordenamiento territorial, que tenían como finalidad la distribución de competencias entre las autoridades centrales, regionales y locales. Así mismo, dos proyectos de ley radicados en Senado y dos en Cámara de Representantes, que dan cuenta sobre los asentamientos humanos, estos últimos, enfocados en cambiar el régimen jurídico de las playas de bajamar y permitir su desafectación.

También, se encontraron 10 proyectos de ley presentados en el Senado y 5 radicados en la Cámara de Representantes que guardan relación con el comercio y transporte marítimo, cuyo objetivo era el diseño de una política en materia portuaria que garantice la eficiencia y competitividad de la actividad portuaria y el transporte marítimo. Finalmente, se tienen 4 proyectos de turismo y recreación propuestos en el Senado y que propendían por incorporar al ordenamiento jurídico colombiano las recomendaciones de la Organización Marítima Internacional en lo relacionado con las medidas de seguridad que se deben ejecutar en la práctica de ciertas actividades turísticas y de recreación, como el buceo (Figura 1).

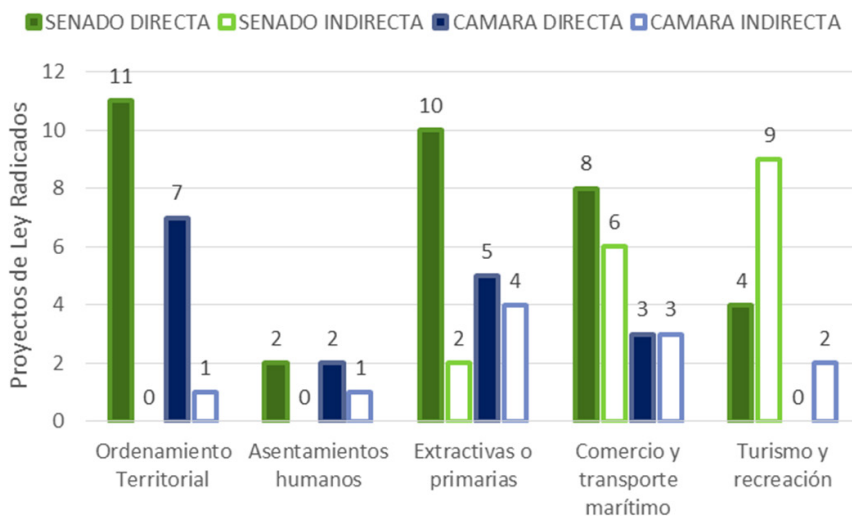


Figura 1. Proyectos de Ley en temas marino-costeros con relación directa (n=52) e indirecta (n=28).

Fuente: Organización Marítima Internacional.

Uno de los hallazgos más relevantes de la investigación fue el bajo éxito de los proyectos de ley en su trámite legislativo. En el documento de Sepúlveda (2014) se especifica claramente el procedimiento que debe seguir cualquier proyecto de ley que se tramite en el Congreso de la República. No obstante, se evidencia que son muy pocas las iniciativas legislativas que logran llegar a sanción presidencial, cursando los cuatros debates legislativos requeridos para ser ley, dado que gran número de los proyectos legislativos no logran superar el primer debate (Figura 2).

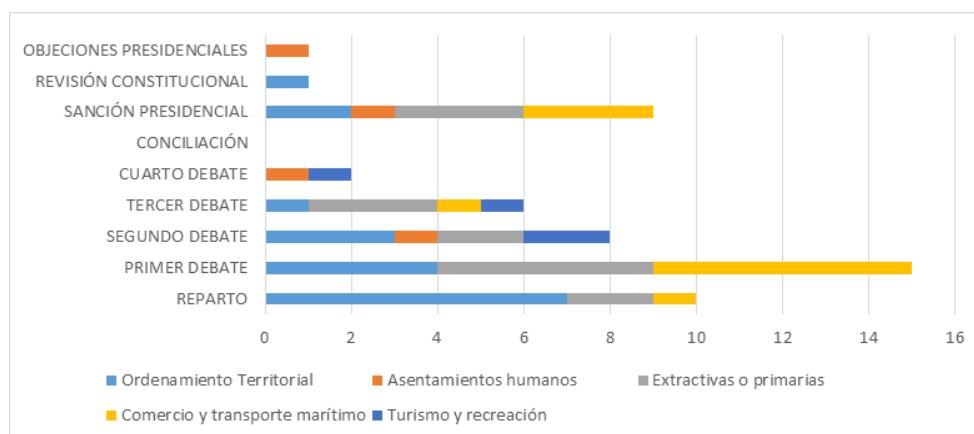


Figura 2. Máximo avance del trámite de proyectos de ley en temas marino-costeros entre 1998 y 2016

Fuente: Elaboración propia.

A un hallazgo similar se llega al revisar el último trámite cursado por los 52 proyectos de ley analizados. Exactamente el 50% (n=26) de los proyectos relacionados con OTMC fueron archivados por tránsito de legislatura, al aplicarles el artículo 190 de la Ley 5 de 1992 (Sepulveda, 2014), dejando la mitad de las iniciativas sin efecto por simples cuestiones de agenda legislativa (Figura 3). Se destaca que la causal de archivo o sanción es proporcionalmente homogénea en las cinco temáticas encontradas, demostrando que no hay un sesgo particular hacia un uso o actividad costero por parte del Legislativo.

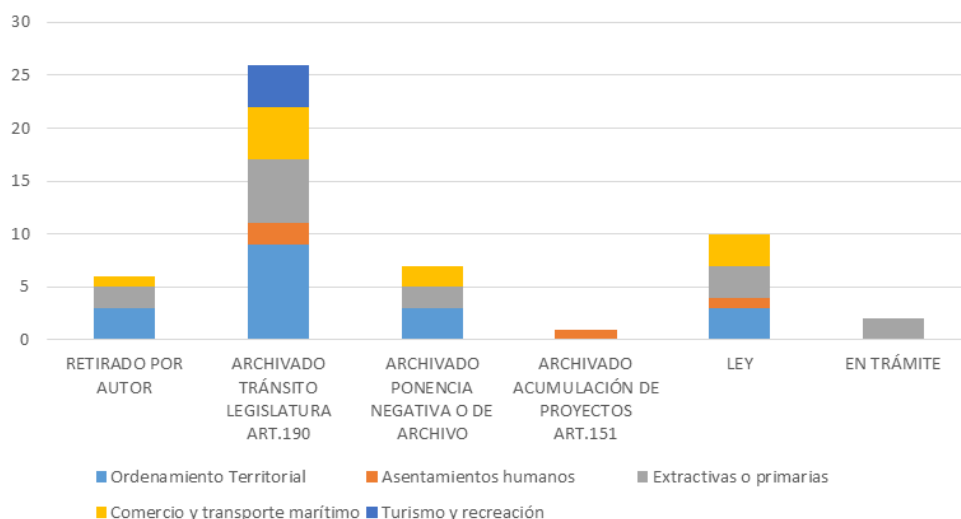


Figura 3. Último trámite legislativo de los proyectos de ley en temas marino-costeros entre 1998 y 2016
Fuente: Elaboración propia.

Otro elemento particular que evidencia la dificultad de legislar sobre los asuntos marinos y costeros en Colombia es la división de temáticas de las Comisiones Constitucionales del Congreso. Como se observa en la Tabla 3, la estructura de usos y actividades costeras está fragmentada en las siete comisiones constitucionales que componen las dos cámaras, aunque en algunas con menor claridad, como las comisiones quinta y sexta, que si incluyen algunas de las actividades económicas de forma explícita (ej. Turismo, puertos, minería).

Tabla 3.*Relación de las comisiones constitucionales del Congreso de la República con los asuntos marino-costeros.*

Comisión	Sen	Rep	Temáticas Relacionadas con Marino-Costeros
Primera	19	35	Organización territorial; asuntos étnicos.
Segunda	13	19	Defensa nacional y fuerza pública; comercio exterior e integración económica; política portuaria; fronteras; zonas francas y de libre comercio.
Tercera	15	29	Regulación económica.
Cuarta	15	27	Enajenación y destinación de bienes nacionales; creación, supresión, reforma u organización de establecimientos públicos nacionales.
Quinta	13	19	Régimen agropecuario; medio ambiente y recursos naturales; adjudicación y recuperación de tierras; recursos ictiológicos y asuntos del mar; minas y energía.
Sexta	13	18	Comunicaciones; calamidades públicas; funciones públicas y prestación de los servicios públicos; obras públicas y transporte; turismo y desarrollo turístico; educación y cultura.
Septima	14	19	Recreación; deportes; salud, organizaciones comunitarias; vivienda; economía solidaria.

Fuente: SEN: Número de Senadores; REP: Número de Representantes

En consecuencia, algunos proyectos de ley empezaron su trámite en comisiones que no se relacionaban de forma directa con su temática, a la vez que la mayoría de comisiones tramitaron proyectos de ley de más de dos usos y actividades diferentes. La figura 4 demuestra esta inconsistencia, mostrando que comisiones como la segunda y tercera tramitaron proyectos de ley hasta de las cinco categorías identificadas. Asimismo, la única comisión que no tramitó ningún proyecto de ley fue la Séptima, a pesar de ser la responsable de legislar temas como vivienda (categoría asentamientos humanos) y recreación (categoría turismo y recreación). Finalmente, se identificaron a las comisiones primera y quinta como las más consistentes en función de las temáticas que legislan y los proyectos de ley que tramitaron.

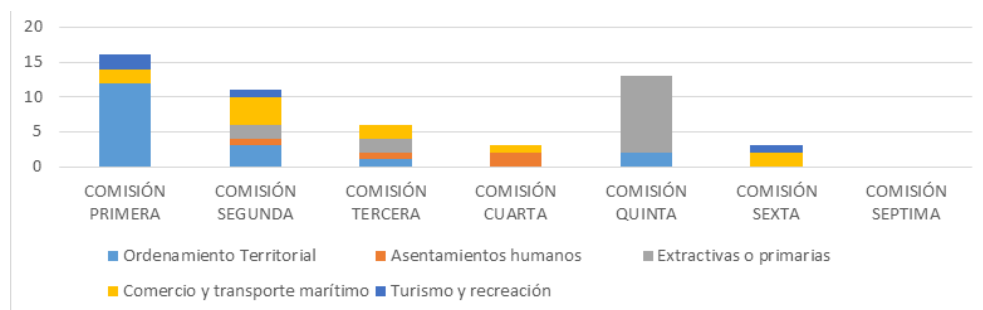


Figura 4. Comisión Constitucional del Congreso de la República que debatió los proyectos de ley en temas marino-costeros entre 1998 y 2016.

Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, la regulación del 42% del territorio nacional, representado en los 928.660 km² de áreas marinas (CCO, 2016), se ha restringido en las últimas dos décadas a menos de la mitad de los usos humanos y actividades económicas marino-costeras. Adicionalmente, dentro de este limitado ejercicio legislativo, un escaso 18% de los proyectos de ley presentados se han sancionado como Leyes de la República, dejando un vacío importante de temas por legislar en pro del desarrollo marítimo nacional. En consecuencia, a pesar de las políticas nacionales en temas del océano y zonas costeras, Colombia todavía no se puede considerar un país costero y marino.

Conclusiones

Colombia es un país donde la riqueza de su territorio marino-costero es inversamente proporcional al interés por su ordenamiento para el beneficio de la sociedad y la protección del patrimonio natural y cultural. A pesar de contar con casi un millón de kilómetros cuadrados de áreas marinas jurisdiccionales en tres zonas costeras, lo que le permite tener frontera con doce países, no ha sido suficiente para llamar la atención de la Rama Legislativa hacia su regulación integrada. Las raíces de esta situación gravosa para el desarrollo de la Nación pueden explicarse desde diversas perspectivas.

Inicialmente, la evolución histórica de Colombia ha privilegiado las zonas interiores, donde se encuentran las grandes ciudades y áreas pobladas, en detrimento de las zonas costeras. Resultado de ello es la concentración de los presupuestos nacionales, y por ende la voluntad política, en la región andina, centrando el interés legislativo en asuntos más ligados al desarrollo de las regiones montañosas. La primera consecuencia de ello son los bajísimos índices de desarrollo en las tres zonas costeras colombianas (DNP, 2008).

Por otra parte, la clasificación de las temáticas legislativas dificulta la concepción del desarrollo en términos territoriales. El Congreso de la República se organiza en dos cámaras, que a su vez tienen comisiones constitucionales (Art. 2 Ley 5ª de 1992) y comisiones legales (Art. 55 Ley 5ª de 1992) para tratar todos los temas inherentes a su función legislativa. A raíz que el ordenamiento territorial es un asunto transversal, se regularon por la Ley 1454 de 2011 las Comisiones de Ordenamiento Territorial en Senado y Cámara. Sin embargo no han logrado incluir el territorio marino-costero dentro de sus prioridades. Por lo tanto, siguen sin doliente en el legislativo todas las áreas marinas y costeras del país.

Finalmente, las áreas marinas e incluso las costeras, han sido excluidas de forma sistemática de la inmensa mayoría de propuestas científicas y estatales de ordenamiento territorial. El solo término en inglés de ordenamiento territorial (Land Planning) ya indica un sesgo absoluto sobre las zonas continentales. No obstante recientemente, debido en gran parte al avance de la tecnología para explotar los recursos marinos (en el subsuelo y columna de agua) y el aumento del tráfico marítimo, se han empezado a proponer planes que también incluyan las áreas marinas; pero en Colombia se está realizando sobre bases jurídicas inciertas.

La reflexión gira entonces sobre la adecuada inclusión del territorio marino-costero en las iniciativas de ordenamiento territorial, pues al menos en Colombia todavía se regula en términos de suelo urbano y suelo rural, olvidando propuestas tan interesantes como la de Ramos y Guerrero (2010) en relación al suelo costero. Sería necesario repensar estas clasificaciones del territorio, no solo con objeto de incluir el territorio marino-costero, sino incluso en la concepción de territorio como suelo, olvidando las actividades que se desarrollan sobre el agua. Con este avance conceptual y legislativo, seguramente se logrará incluir de forma más efectiva estos vastos espacios al desarrollo de la Nación.

Referencias

- Avella, F., Osorio, A., Parra, E., Burgos, S., Vilardy, S., Botero, C. M., ... Mojica, D. (2010). Gestión del litoral en Colombia. Reto de un país con tres costas. In A. Pedro & A. Chica (Eds.), *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio*. Red IBERMAR (CYTED), (pp. 175–209). Cadiz: Red Iberoamericana en Manejo Costero Integrado.
- Barragán, J. M. (2003). *Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales*. Cadiz: Publicaciones Universidad de Cádiz.
- Botero, C. M., & Sosa, Z. (2011). *Propuestas para la gestión litoral de un país con tres costas: Colombia*. In J. M. Barragan (Ed.), *Manejo costero integrado y política pública en Iberoamérica: propuestas para la acción* (pp. 139–157). Cadiz: Red Iberoamericana en Manejo Costero Integrado. Retrieved from www.ibermar.org

- Botero, C. M., Tosic, M., Calderon, H., & Niño, D. (2014). *Ordenamiento del golfo de Cupica (Pacífico colombiano) como ejemplo de gestión costera integrada a escala local*. *Bol. Cient. CIOH*, 32, 105–122.
- CCO. (2002). *Lineamientos de la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros*. Bogota: Comisión Colombiana del Océano.
- CCO. (2007). *Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros*. Bogota: Comisión Colombiana del Océano.
- CCO. (2016). *Hacia una potencia oceánica*. Bogota: Secretaria Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano.
- Cicin-Sain, B., & Knecht, R. W. (1998). *Integrated coastal and ocean management: concepts and practices*. Washington: Island Press.
- Clark, J. R. (1995). *Coastal Zone Management Handbook*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- COI-UNESCO. (1997). *Methodological guide to integrated coastal zone management*. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission - UNESCO. Retrieved from http://www.jodc.go.jp/jodcweb/info/ioc_doc/Manual/121249eo.pdf
- CONPES. (2002). *Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia - Plan De Acción 2002 - 2004*. Bogota: Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- DNP. (2008). *Elementos básicos para el manejo integrado de zonas costeras*. Bogota: Departamento Nacional de Planeación.
- Ehler, C., & Douvere, F. (2009). *Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management*. Paris: intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. [https://doi.org/Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme](https://doi.org/Intergovernmental%20Oceanographic%20Commission%20and%20Man%20and%20the%20Biosphere%20Programme)
- EU. (2011). *Maritime Spatial Planning in the EU – Achievements and Future Development*. Brussels: Commission of the European Community. <https://doi.org/10.2771/81687>
- Ferreira, M. A., Johnson, D., & Silva, C. P. da. (2014). How can Portugal effectively integrate ICM and MSP? *Journal of Coastal Research*, (Special Issue 70-Proceedings of the 13th International Coastal Symposium), 496 – 501. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2112/SI70-085.1>

- GESAMP. (1999). *La contribucion de la ciencia al manejo costero integrado*. Roma: Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidad/PNUMA sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino.
- Hurtado, J. (2010). *Metodología de Investigación. Guía desde una perspectiva holística*. Bogota: Ediciones Quiron.
- MMA. (2000). *Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia*. Bogota: Ministerio de Medio Ambiente.
- Post, J. C., & Lundin, C. G. (Eds). (1996). *Guidelines for integrated coastal zone management*, (9), 28pp. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3735-1>
- Ramos, A., & Guerrero, D. S. (2010). *El suelo costero*. Bogota: Procuraduría General de la Nación.
- Rojas, X., Sierra, P., P., L.-R., & López Rodríguez, A. (2010). *Guía metodológica para el manejo integrado de las zonas costeras en Colombia, manual 2: planificación de la zona costera*. Santa Marta: Serie de Documentos Generales INVEMAR.
- Sepulveda, J. A. (2014). *Procedimiento Legislativo Colombiano*. Bogota: Fundación Domopaz.
- Steer, R., Arias, F., Ramos, A., Sierra, P., Alonso, D., & Ocampo, P. (1997). *Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas*. Bogota: Documento de Consultoria del Ministerio de Medio Ambiente.
- Torres, R. R. (2004). *Plan de Ordenamiento Marítimo. Trabajo de grado especialización en política y estrategia marítima*. Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla.”
- UNESCO. (2006). *Exit from the labyrinth. Integrated coastal management in the Kandalaksha District, Murmansk Region of the Russian Federation*. Paris: Coastal region and small island papers 21, UNESCO.
- Vallega, A. (1999). *Fundamentals of Integrated Coastal Management*. Dordrecht: Kluwer Publishers.



Toma aérea Plaza de Armas de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”.

REFLEXIONES EN TORNO A LA CAPACIDAD DE RESILIENCIA DE LA COMUNIDAD DE LOS MONTES DE MARÍA

Reflections regarding the Resilience Capacity of the community of Los Montes de María

María Antonia Alfonzo¹
Camilo Andrés Castiblanco²

Recibido: 22/06/2018

Aceptado: 23/08/2018

Resumen

Este artículo es el resultado de un proceso de investigación desarrollado entre la Armada Nacional de Colombia y la Universidad Santo Tomás en el que se contextualizaron las dinámicas de violencia y seguridad en la región de los Montes de María durante el periodo de mayor intensidad del conflicto, comprendiendo las formas de afectaciones y victimización que se presentaron en esta zona del país. Para ello se recurrió a un enfoque mixto, en el que se trianguló información documental, estadísticas provenientes de centros de investigación, observación en territorio y entrevistas en profundidad a víctimas civiles y militares. Este trabajo permitió evidenciar las intensidades, dinámicas y patrones del conflicto en la región, y el importante papel desempeñado por las Fuerzas Militares en revertir dicha situación. Este análisis interdisciplinar permitió generar dos conclusiones puntuales: las múltiples

formas de afectación que sufrió la población civil y los miembros de la Fuerza Pública; y la necesidad de generar enfoques investigativos en los que se dimensione de forma sistemática la narrativa y lógica de las víctimas miembros de las instituciones militares.

Palabras clave: Víctimas, Narrativas, Montes de María

Abstract

This article is the result of a research process carried out between the Colombian Navy and the Santo Tomás University in which the dynamics of violence and security in the Montes de María region were contextualized during the period of greatest intensity of the conflict, understanding the forms of affectations and victimization that occurred in this area of the country. For this purpose, a mixed approach was used, in which documentary information was triangulated, as well as statistics

¹Armada Nacional, Especialista en Derecho Penal, Derechos Humanos y DIH aplicado a los conflictos - maria.alfonzo@armada.mil.co

²Universidad Santo Tomás, Maestría en Sociología. Codirector del grupo de investigación Análisis en conflicto.

from research centers, observation in the territory and in-depth interviews with civilian and military victims. This work highlighted the intensity, dynamics and patterns of the conflict in the region, and the important role played by the Armed Forces in reversing this situation. This interdisciplinary analysis made it possible to generate two specific conclusions: the multiple forms of affectation suffered by

the civilian population and members of the security forces; and the need to generate research approaches in which the narrative and logic of the victims, members of the military institutions, were systematically dimensioned.

Keywords: victims, narratives, Montes de María.

Introducción

En el presente artículo se sintetizan los resultados de las investigaciones desarrolladas en el marco del convenio entre la Armada Nacional de Colombia y la División de Ciencias Sociales de la Universidad Santo Tomás entre los años 2016 y 2018; investigaciones de las que surgieron los libros “La vida me dio otra oportunidad. Dinámicas sociales del conflicto armado interno en la región de los Montes de María” y “Protegiendo el azul, comprendí el rojo de la bandera: Narraciones desde la Armada”. Investigaciones que se centraron en esclarecer las dinámicas del conflicto armado interno, en particular en la región de los Montes de María, determinando el papel que desempeñó la Armada Nacional en la regulación de dicha conflictividad. Tres motivos puntuales llevaron a que se focalizara la mirada investigativa sobre este contexto: en primer lugar, la crudeza de la violencia en esta región, en la que confluyeron diversas estructuras armadas ilegales, las que emplearon diferentes repertorios de terror, principalmente en contra de la población civil; en segundo lugar, esta región presentó indicadores de número de víctimas particularmente elevados frente a los promedios nacionales, víctimas que tenían distintas características sociales, y que documentaban las múltiples afectaciones que el conflicto generó sobre la población –civil y militar–; finalmente, esta es una región en la que se logró consolidar la seguridad, especialmente con la reducción definitiva de los grupos guerrilleros que allí operaban, lo que la convirtió en una experiencia a sistematizar, para comprender las dinámicas sociales que se dan alrededor de la seguridad.

En este artículo se analizaron las consecuencias del conflicto y sus afectaciones, dimensionando los hechos victimizantes desde la lectura que hacen las víctimas militares y las víctimas civiles de los hechos trágicos que sobre sus vidas se dieron. Para ello, se realizó un primer ejercicio de contextualización de la región, reseñando las principales amenazas de seguridad que allí se vivieron, las correlaciones entre economía, política y conflicto, y las subdivisiones regionales que emanaron del proceso de segregación que la violencia generó. Finalmente, se construyeron reflexiones y conclusiones a partir de las posibilidades epistemológicas que ofrece el concepto de la antropología militar, discutiendo y comprendiendo las afectaciones particulares que el conflicto genera en la población adscrita a la Armada Nacional de Colombia.

Conflicto armado en la región de los Montes de María

Los Montes de María ha sido una de las regiones más afectadas por el conflicto armado colombiano, principalmente por la presencia de grupos al margen de la ley como las FARC y las AUC; esto ha generado tensiones y afectaciones de carácter social, político, ambiental, económico y cultural en el territorio y en la población civil. Desde una perspectiva histórico-estructural puede evidenciarse que el fenómeno de violencia en la región obedece a unas luchas por el monopolio de la tierra, generando cuadros de violencia que se materializan en desplazamiento forzado como en afectaciones a la integridad física, simbólica y emocional de los habitantes. Pese al fenómeno de la guerra el territorio de Montes de María ha sido escenario de acciones y movilizaciones de la

población civil, para protegerse de los actores armados ilegales (Marín et al. 2017).

En este sentido, se puede afirmar que los Montes de María es uno de los pocos territorios que se ha recuperado de las secuelas del conflicto, gracias a la intervención de organizaciones sociales, entidades públicas e instituciones del Estado (principalmente de la Armada Nacional).

Los Montes de María se han caracterizado por ser la despensa de la región, gracias a su privilegiada posición geográfica, ha consolidado relaciones productivas, agropecuarias y agroindustriales. Sin embargo, su ubicación estratégica y geográfica, favoreció la injerencia de diferentes grupos armados (desde la década de los setenta) con el fin de lograr el control territorial. Lo cual confluyó para desdibujar, debilitar y transformar completamente sus dinámicas sociales, políticas, económicas y culturales.

La región ha pasado por diferentes episodios de violencia. Su proceso puede ser entendido a través de una mirada de largo plazo que evidencie su prolongación en el espacio tiempo, es decir, desde la conquista española, la hegemonía conservadora, la violencia política bipartidista, la lucha de organizaciones armadas en los años 60 y 70 del siglo XX y la agudización de todo este conflicto con la llegada de las Autodefensas Unidas de Colombia en la década de los 90 (De los ríos, Becerra, Oyaga, 2012, p. 11).

La génesis del conflicto actual se puede rastrear en los conflictos sociales que se produjeron en los años 60 y 70, que se caracterizaron por la fuerte presencia de la lucha agraria regional y que terminó en la conformación de la Asociación Nacional de Usuarios Campesinos -ANUC, como una organización política, que tenía por objetivo “redistribuir la tierra, de manera que todos los campesinos tuvieran su parcela y que se respetara la vocación agrícola de las tierras fértiles que estaban siendo utilizadas para la ganadería” (PNUD, 2010, p. 7).

Los movimientos campesinos le apostaban a un modelo de desarrollo basado en una economía campesina, (cultivos de pan coger y producción familiar) el cual discrepaba con el modelo de desarrollo basado en la concentración de la tierra para la producción de extensos monocultivos y ganadería extensiva, propio de las elites del campo. Esto fue un factor dinamizador de violencia política, en donde los promotores del latifundio generaron acciones violentas irregulares contra las organizaciones campesinas y contra sus líderes. En este orden de ideas el movimiento campesino de la mano con las juntas de acción comunal, sindicatos y ligas agrarias se consolidaron como un movimiento político. Sin embargo, según el PNUD (2010), el ímpetu campesino de los años 60 y 70 marca una coyuntura importante de esta situación, ya que el conflicto por la tierra dio paso a un esquema represivo que hacendados pusieron en manos de criminales entre los que se destacaron los llamados penca-ancha, que finalmente dieron inicio a un proceso sistemático de eliminación de dirigentes campesinos vinculados a organizaciones agrarias, especialmente de la ANUC.

Ahora bien, con el debilitamiento de la ANUC, se dio un giro en las manifestaciones de conflicto en la región, ya que durante el período de 1980 apareció el fenómeno de las FARC en los Montes de María, a través del Frente 37. El territorio se convirtió en epicentro de nuevos grupos armados ilegales; allí se asentaron las FARC, el ERP y el ELN (PNUD, 2010). La presencia de nuevos grupos armados convirtió el territorio en un escenario de conflicto continuado que agudizó aún más el fenómeno de la violencia (García, 2010).

En medio de esta coyuntura, la ANUC continuó ejerciendo la toma de tierras y los procesos de organización social. Este fenómeno resultó ser de interés para las organizaciones armadas, que querían que las movilizaciones sociales se vincularan a ellas. Sin embargo, los campesinos rechazaron este intento de cooptación y las acciones por la vía de las armas, lo cual generó que la ANUC se convirtiera en el objetivo, tanto de los grupos de poder como de las FARC. En consecuencia, se generó un conflicto político y lucha de clases por “la presencia de la guerrilla generó en las élites la percepción de nexos de las organizaciones sociales populares con los grupos subversivos” (PNUD, 2010).

Durante los años 80, las FARC ya se habían consolidado en el territorio, “conformando el Bloque Caribe y el frente 37 de las FARC el cual estuvo históricamente liderado por Gustavo Rueda Díaz, alias “Martín Caballero” (Porrás, 2014), ejerciendo un destacado control sobre las dinámicas socioeconómicas, y generando dificultades en la región, ya que tenían como propósito explotar los recursos naturales, hostigar a los terratenientes, a la Fuerza Pública, a los campesinos y sectores populares. De igual forma, robaron ganado y secuestraron ganaderos. En sus inicios la presencia de las FARC estaba orientada a realizar un trabajo político, sin embargo la violencia generalizada y las afectaciones a la población civil aparecerían a finales de 1980. A raíz de los hostigamientos por parte esta organización, “se desarrollaron múltiples estructuras que posteriormente harían parte de las Autodefensas Campesinas de Córdoba y Urabá (ACCU), integradas a las Autodefensas Unidas de Colombia, AUC” (PNUD, 2010, p. 18).

La estrategia de expansión de las AUC se basó en llegar a todos los espacios copados por las FARC, en el fortalecimiento económico a través de la captación de recursos legales e ilegales y de las alianzas con elites pertenecientes a sectores políticos y económicos, para lo cual también liderarían el proceso de confederación con otras colectividades de autodefensa, dando vida así a las llamadas Autodefensas Unidas de Colombia, AUC. (Porrás, 2014, p.366).

A partir de la captura de la institucionalidad y de Gobiernos locales y regionales de poder, la presencia de las AUC se agudizó en los años 90 desencadenado así la consolidación de nuevos grupos armados en la región y reproduciendo nuevos tipos de violencia. Dentro de estos grupos estaban conformados tres sub grupos: “1. Frente Canal del Dique al mando de alias Juancho Dique; 2. Frente Central Bolívar, al mando de alias Ramón Zábala; 3. Frente Golfo de Morrosquillo, al mando de alias “Cadena” (De los Ríos et al., 2012, p. 11).

Sus objetivos estaban orientados a dos puntos fundamentales que conllevaron a la emergencia de nuevo conflicto de carácter político y económico. En primer lugar buscaban reforzar y recuperar el control territorial en una región que hasta entonces había sido escenario de otros tipos de luchas. En ese sentido las AUC, entrarían en un proceso de rediseño de su estrategia de violencia, para enfrentar a las FARC debía reinventar su forma de actuar, más aun en un territorio montañoso y desconocido para las AUC como lo eran los Montes de María. Esto conllevaría a generar expresiones de violencia y asimismo un escenario de confrontación.

Los mecanismos utilizados por estos grupos para obtener control del territorio fueron principalmente el desplazamiento forzado, el terror y el control sobre la población: un control económico ejercido sobre todos los sectores y un control social ejercido mediante las restricciones a la movilidad, la violencia contra las mujeres, el terror y el establecimiento de normas que la gente se veía forzada a acatar, entre otros (PNUD, 2010, p. 20-21).

Los grupos mencionados estaban vinculados y financiados por ganaderos y terratenientes, principalmente aquellos que dedican sus grandes fincas a la ganadería extensiva. Estas tensiones de carácter económico impuestas por las AUC se vieron reflejadas en “[...] una nueva forma de extraer tributos, de regular la economía, de administrar justicia, de brindar protección, de organizar la prestación de los servicios básicos y de ejercer el monopolio de la coerción” (Duncan, 2006, citado por PNUD, 2010, p. 19).

Estas dinámicas agudizaron aún más el conflicto puesto que para lograr sus objetivos. Ejercían prácticas violentas como masacres, asesinatos selectivos, homicidios indiscriminados, desplazamiento forzado, hostigamiento y amenazas las cuales llenaron de terror a la población civil. Estas prácticas repercutieron en masacres como las de Las Palmas, Bajo Grande, La Sierrita, El Salado, Mampuján, El Chengue y Macayepo (Porrás, 2014).

La grave situación de orden público obligó a que se hiciera necesario reforzar la presencia de la Fuerza Pública en la región; en un contexto de violencia y barbarie en el que los miembros de estas instituciones quedaron expuestos, al igual que la sociedad civil, a unas acciones irregulares en su contra, un caso fue el de las FARC mediante el uso de explosivos no convencionales que acabaron con la vida y la integridad física de varios uniformados; y por el lado de las AUC, masacres y acciones de gran impacto, que implicaron reacciones contundentes por parte de las Fuerzas Militares.

Otro episodio clave que potenció y afianzó el conflicto desde una perspectiva económica, fue la emergencia del narcotráfico, que se encontraba articulado con los grupos armados ilegales. La alianza entre las AUC y narcotraficantes permitió por un lado la financiación de los recursos para sus organizaciones armadas y por el otro, creó una estructura ilegal para posibilitar el tránsito de la droga hacia el golfo de Morrosquillo

(PNUD, 2010). Esta alianza conllevó a una dominación territorial, que en síntesis se vio reflejada en acciones violentas como masacres, prácticas de amedrentamiento hacia la población civil con el fin de despojarlos de sus fincas incentivando el desplazamiento forzado de los campesinos.

Luego de más de 20 años de guerra marcada por el narcotráfico y la presencia de actores armados, de toda índole, se da un giro trascendental en las dinámicas de confrontación en el territorio. Dicho giro se representa con la desmovilización de las AUC, la aparición de nuevos grupos armados —pos desmovilización— y la emergencia de grandes empresarios interesados en la cooptación del territorio para el aprovechamiento exclusivo en términos meramente económicos y en consecuencia también políticos, modificando la estructura local de poder para sus intereses particulares. Estos nuevos actores cumplieron la función de mantener los ciclos de conflicto marcado por nuevas dinámicas de violencia multidimensional.

Las víctimas de la región de los Montes de María

La complejidad de la violencia en la región trajo consigo distintas formas de afectación a la población civil y contra miembros de la Fuerza Pública. Esto pone de presente la necesidad metodológica de tomar el relato de la víctima como parte central del documento de memoria; en los trabajos de Baer (2003) y de Girón & Vidales (2010) se señala la necesidad de dotar de humanidad a estas víctimas, ya que sólo desde ese espacio es posible que la sociedad genere procesos de empatía con esta población y comprenda la magnitud de la tragedia vivida. Pero también porque es el mecanismo para denunciar a los victimarios (en términos de memoria o en términos judiciales), generando una lectura lógica según la cual siempre que se hable de una víctima hay, necesariamente, que determinar la existencia de uno o varios victimarios (Czarniawska, 2004).

Para la elaboración de este apartado se tuvo en consideración distintos tipos de fuentes (académicas, oficiales y sociales) que dimensionaron de manera diferenciada los procesos de violencia ocurridos en la región. Con el propósito de analizar contextualmente estas cifras, se inicia con un abordaje panorámico del fenómeno en la región, en el que se pueda comprender cuáles son los momentos de mayor violencia y los territorios que presentan mayor afectación por acciones violentas irregulares. A partir de estos datos generales, se puede iniciar un proceso de profundización en fenómenos particulares derivados de dichas fuentes iniciales.

La primera mirada contextual tiene que ver con una descripción del número de acciones violentas que se produjeron por cada uno de los municipios, en un periodo de tiempo comprendido entre 1985 y el 2012, tomando como fuentes principales al CINEP, al CNMH, a la base de datos del periódico El Tiempo y la Revista Semana; y a la información de archivo suministrada por la Armada Nacional de Colombia.

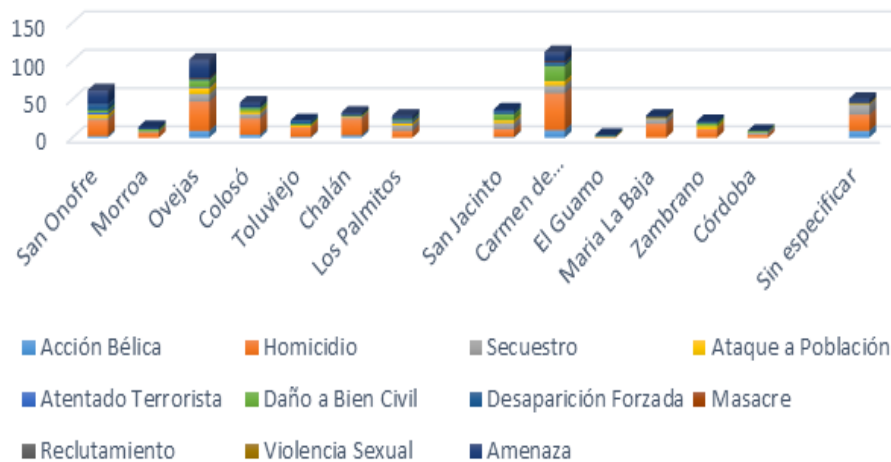


Figura 1. Relación de tipo de delitos por municipio. (1985-2014)

Fuente: Elaboración propia (2017) Tomado de Base de datos Noche y Niebla; Observatorio de Conflicto y Memoria del CNMH, UARIV y archivo digital del periódico El Tiempo y de la Revista Semana. Citado en Castiblanco y Narváez, 2018, p. 247.

Al hacer los primeros abordajes territoriales de la violencia, se hizo evidente que la intensidad de las acciones armadas no era la misma a lo largo del territorio, y que era necesario establecer análisis particulares por municipio.

En la revisión realizada se pone de presente la distribución de la violencia por toda la región, afectando a todos los municipios que la componen. Esta situación se sustenta en la omnipresencia de los actores armados ilegales en todos los municipios, ya que la infraestructura de intercomunicación, las rutas, y los recursos en disputa atravesaban al territorio. El entrecruzamiento de estos recursos, y la interconexión de actores, redes y estructuras de poder, hacen que la región en su conjunto padezca la violencia, aunque con diferenciales claros y bien marcados (De los Ríos, et al, 2012).

La anterior gráfica pone de presente la concentración de la violencia en tres municipios: San Onofre, Ovejas y Carmen de Bolívar. Tres municipios que están interrelacionados porque son el punto de entrada a la región desde la zona ganadera de Córdoba y Sucre, y porque conectan con la zona marítima de Tolú, Coveñas y San Bernardo del Viento, municipios que han tenido distintas conformaciones en las economías ilegales que se han dado en esta zona. El informe del Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y Derecho Internacional Humanitario “Panorama actual de la región de los Montes de María y su entorno” (2003) da una explicación sintética de esta situación: en este territorio se asentaron las primeras estructuras guerrilleras en la década

de los 80, y fue la zona en la que se consolidó la presencia de las FARC en la década del noventa, lo cual marcó una fuerte reacción por parte de los grupos de Autodefensa, que asumieron que había una relación entre la población civil y estos grupos ilegales.

De esa manera, estos tres municipios son arquetípicos de un fenómeno que tiende a ser común en toda la región: la alternancia en el control ilegal del territorio entre los grupos armados ilegales; lo cual va a hacer que estos tomen a la población civil como objetivo de guerra, acusándoles de ser colaboradores o auspiciadores de las contrapartes.

Esta estigmatización por parte de los actores armados ilegales sobre la población civil va a ser uno de los ejes explicativos utilizados por varios estudios para argumentar el uso de la barbarie y el terror como estrategia de guerra, en los que se pone de presente que el intento de alternancia del control territorial genera una gran condición de vulnerabilidad para la población civil.

La misma gráfica es ilustrativa sobre la distribución de las acciones violentas que se cometieron contra la población y que generaron víctimas civiles y militares víctimas. De nuevo, debe señalarse que estas categorías son abstracciones utilizadas para sistematizar la información, pero que como se verá más adelante (en el análisis cualitativo y en las crónicas periodísticas) se configuran de manera distinta según el territorio y la intencionalidad del victimario.

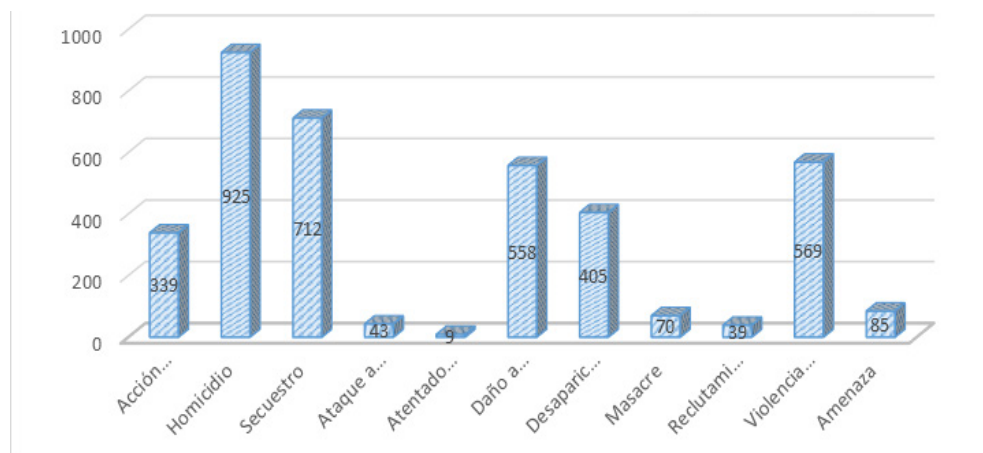


Figura 2. Acciones violentas por categoría (1985 - 2014)

Fuente: Elaboración propia (2017) Tomado de Base de datos Noche y Niebla; Observatorio de Conflicto y Memoria del CNMH, UARIV y archivo digital del periódico El Tiempo y de la Revista Semana. Citado en Castiblanco y Narváez, 2018, p. 250.

En los repertorios de la violencia de los actores armados ilegales en la región de los Montes de María se desplegaron principalmente acciones violentas en contra de la población civil. Según el informe *La Tierra en Disputa* (CNMH, 2010) los combates entre los actores irregulares o entre estos y la Fuerza Pública son menores en comparación de las acciones violentas contra los civiles, lo cual da cuenta que el elevado número de víctimas no corresponde a un efecto colateral de las acciones bélicas, sino a iniciativas planeadas y diseñadas para atentar directamente contra la población no combatiente.

Un segundo elemento panorámico que permite comprender la situación vivida en la región, es la distribución de las acciones violentas por año, información que permite dimensionar las coyunturas más críticas y que generaron mayor afectación sobre la población civil y mayor número de víctimas civiles y militares.

Los primeros grupos en hacer presencia en la región fueron las distintas estructuras guerrilleras, pequeñas estructuras ilegales que entraron a la región desde la década de los años 70, intentando generar relaciones con las organizaciones campesinas preexistentes, sin lograr los resultados esperados. Esta situación va a generar procesos de violencia contra la población, en un hecho que marcará una distancia entre la población y estos grupos. La siguiente tabla da cuenta de la presencia de estas primeras organizaciones guerrilleras en el territorio, y el número de acciones violentas de las que se le responsabiliza.

Casos como los del burro bomba en el Chalán, o los diversos testimonios de miembros de la Fuerza Pública afectados por explosivos irregulares dan cuenta de esta situación, que afectó por igual a la población civil (CNMH, 2009) y a los miembros de las instituciones militares (Castiblanco et al., 2017). Sin embargo, la presencia de “campos minados” en el territorio genera dinámicas de victimización que va más allá del número de heridos o muertos por la acción directa de las minas; estos campos generan procesos de confinamiento, terror, dificultades de movilidad, e incomunicación con los centros urbanos.

La presencia de las estructuras vinculadas a las AUC va a complejizar el panorama de la región, en la medida que se va a generar una confrontación por el control de la población y un intento por socavar lo que estos grupos leyeron como las bases sociales de las FARC en el territorio. Así, como lo recoge el Centro Nacional de Memoria Histórica, el accionar de esta organización está marcado por una constante presencia de acciones irregulares, lo cual va a determinar una infracción permanente al DIH, y a las regulaciones normativas que limitan el comportamiento de los combatientes.

Narrativas de las víctimas civiles

Al analizar los testimonios recopilados se identifican temas dentro de los que se puede desarrollar la complejidad de las vivencias representadas a través de estos; el primero refiere a la territorialización de la violencia en los siete casos específicos

de poblaciones que se vieron afectadas por el conflicto. En un segundo momento se desarrolla la temática de estigmatización de la población, que termina siendo una de las particularidades comunes de los diferentes territorios que vivieron el conflicto. Dicha estrategia alejó a la poblaciones y las convirtió en más vulnerables ante la violencia y el control.

Frente al primer tema se encontró que la lectura sobre el conflicto que realizan las víctimas tiene una estrecha relación con las dinámicas de la violencia que se dan en el territorio que habitan; así, por ejemplo, aquellos que experimentaron el control y el terror de las AUC desarrollaron una lectura particular de las FARC o de la Fuerza Pública, correlacionando el actuar de esta organización con la ausencia de un Estado que controlará y regulará las relaciones sociales.

Por el contrario, en los territorios en los que ejerció violencia las estructuras guerrilleras, hay unos procesos de legitimación –con grados diferenciados– del actuar de la Fuerza Pública y, en casos específicos, de las AUC. Esta tensión en la concepción del fenómeno llevó a que territorios, cercanos geográficamente, se distanciaran socialmente por la lectura del actuar del otro, tal y como sucedió en Macayepo y el Chengué.

Una vez mataron a dos jóvenes que eran hermanos, eran las 6:30 de la tarde, fue algo que nos consternó porque nunca en nuestro pueblo habíamos visto eso, fue algo que nos marcó, ellos lo hicieron para mostrar el dominio que querían tener en nuestra comunidad, y lo lograron, nos atemorizaron, y desde ahí empezó una vida donde ellos se veían como legalizados en nuestro medio, aquí el mínimo problema se les llevaba a ellos porque los veíamos como si fueran la ley y la justicia porque ellos compartían con la policía nacional, con el ejército, entonces nosotros nos dábamos cuenta de que si nosotros nos poníamos en contra, ¿qué iba a pasar? Porque nosotros veíamos a los alcaldes, los senadores, los gobernadores, todos eran una sola intervención con ellos, entonces ¿qué nos tocaba a nosotros? Quedarnos callados y sumergidos a lo que ellos hacían. (Díaz, 2017)

[...]Éramos objeto militar porque nos ayudaba la fuerza pública, la guerrilla en ese entonces no hizo varias emboscadas durante este proceso. [...] tomamos a Macayepo como campamento, éramos un grupo de 40 vecinos, nos trajeron en helicóptero acompañados por la fuerza pública a tomar el pueblo para hacer el retorno después de haber tenido ya todo esto ganado, llegamos el 9 de septiembre del 2000 y limpiamos todo este pueblo y sus alrededores” Jhonny Alfredo Ramos, Macayepo (Castiblanco, 2017).

Un segundo eje narrativo, tiene que ver con los procesos de estigmatización sobre la población civil, a la que se le acusó de favorecer la presencia de los actores armados, lo que excusó y validó la violencia en su contra. Es evidente hasta ahora que uno de los factores más importantes para los grupos armados fue el control de las poblaciones

civiles, así mismo, sus métodos de control y repertorios de violencia para lograrlo variaron según los contextos, y las dinámicas del conflicto se fueron estableciendo dentro de los habitantes del territorio de maneras distintivas, pero en todos los casos se desdibujaron las voluntades y posibilidades de elección ante sus propios destinos, encarnándose en la supresión de la libertad de manera física y psicológica. Esto implicó no solo estar a la merced de los actores armados, sino además, una transformación de la realidad en la que las concepciones frente al mundo y al propio territorio se modificaron en medio de la crisis y el desajuste emocional generalizado.

Es en este momento donde juega un papel fundamental la estigmatización de las poblaciones, que se hizo presente de alguna manera en todas las narrativas analizadas en medio del presente contexto, y su consecuencia más directa, el aislamiento y la rivalidad, trascendiendo la guerra a las mentes de los pobladores y ocasionando mayores índices de segregación, violencia y vulnerabilidad en las zonas más estigmatizadas.

Es este el caso del Chengue, Chalán, el Salado “tierras de guerrilleros”, Macayepo “tierra de paracos”, San Onofre “la casa de los paracos”, estas estigmatizaciones que iniciaron como una estrategia de aislamiento y control de los grupos armados ilegales en las poblaciones, se expandieron dentro de los imaginarios colectivos y ante todo permearon en gran parte las mismas instituciones estatales, re victimizando a los territorios y exponiéndolos cada vez más a actos atroces contra sus pobladores.

Resulta que se da esa masacre porque allá se decía que era la casa de la guerrilla, los grupos de derecha decían eso, que en el Chengue eran guerrilleros, hasta que incursionaron y entraron y mataron, eso fue a raíz de unas tres muertes selectivas que hubo aquí en el corregimiento del Macayepo, y como forma de venganza. (Ramos, 2017)

Narrativas de las víctimas militares

Los datos sobre militares víctimas reportan 263 casos: 141 asesinados y 122 heridos, según la Base de Datos de la Dirección de Víctimas y Memoria Histórica de la Armada Nacional de Colombia. Estas cifras también pueden cualificarse al comprender la complejidad de los contextos en los que tuvieron que operar los miembros de la Infantería de Marina. Los relatos recabados con los Oficiales y Suboficiales de la Armada Nacional afectados por el conflicto armado, documentan como los grupos armados ilegales – principalmente las FARC – crearon una tecnología artesanal, rudimentaria y asesina para atacar a la población civil y a soldados y policías.

Todo empezó con lo que ellos llamaban el “sombbrero chino”, haga de cuenta como una mecha de tejo gigante que explotaba y mataba al que estuviera cerca; luego vinieron los “balones” o “bolas de fuego”, que como su nombre lo indica era esferas cargadas de explosivo que ponían a correr en contra de nosotros y que eran muy difíciles de esquivar; después entraron en una estrategia de poner pequeñas minas

para impedir que el Ejército entrara, ellos decían que para qué tanto explosivo si igual jodían a la tropa. Luego este “Martín Caballero” buscó como perfeccionar todo eso: hizo más rápidos los cilindros de gas, repleto todo de metralla, le metió estiércol y heces humanas a la metralla para generar infecciones, en fin. Ese tipo entendió que no tenía sentido pelear de frente, que haciéndonos volar era suficiente (Castiblanco et al., 2017).

En los relatos de los miembros de la Armada recolectado se pone de presente la sensación permanente de zozobra ante la inmediatez de la acción irregular, y el arrojo de los mismos al enfrentar esta situación. Uno de los pasajes territoriales que más evoca este fenómeno fue el de la vía Zambrano – Carmen de Bolívar, un lugar asociado a retenes ilegales, uso de artefactos explosivos y muerte.

Lo interesante, es que aunque allí se produjo un gran número de víctimas civiles y de miembros adscritos a la Fuerza Pública, la Armada siguió operando indistintamente en esta área, porque entendía que era fundamental evitar la apropiación territorial que las FARC pretendían realizar.

Las historias de la guerra llegan todo el tiempo a los recuerdos de este militar, como la tétrica vía Zambrano, como le llamaban a un tramo entre el Carmen de Bolívar y el Plato Magdalena. “Fue la más peligrosa para toda la primera brigada de Infantería de Marina, fue donde hubo más infantes y civiles emboscados y muertos. Era un lugar de retenes, de combates, todo el tiempo nos dábamos ‘balín’ si no moríamos ahí, moríamos por una mina” (Castiblanco et al., 2017).

La superación de la adversidad, la capacidad de construir resiliencia, la búsqueda de nuevas oportunidades de vida hacen parte del día a día de las víctimas de la Armada Nacional, una población que se ha resistido al ostracismo y que ha emprendido distintas estrategias de vida para hacer frente a la adversidad.

Así, la educación, el deporte o la incorporación en nuevas labores administrativas dentro de la misma Institución se han convertido en las oportunidades de nuevas vidas que tienen estas víctimas. Un elemento que es fundamental tenerlo en cuenta para entender que la atención a esta población no se puede restringir al asistencialismo, sino que debe propender por la estructuración de nuevas oportunidades de vida. Tal y como lo señalaron varios testimonios, la lastima y el abandono son nuevas formas de victimización.

Todo ese dolor no logró que Óscar suspendiera su vida sumergido en la depresión. Tomó la decisión de estudiar Contaduría Pública en la Corporación Universitaria Remington de Medellín con sede en Sincelejo. “Es que yo estaba sintiendo que desperdiciaba mi tiempo. Entonces, con mis propios recursos, entré a la universidad”.

Es un sacrificio, sobre todo, porque su movilidad depende de coger taxis todo el tiempo. “Valió la pena, este 2016 ya estoy en décimo semestre, y ahora la Fundación Matamoros de Bogotá me está apoyando con el 50 % de la matrícula” (Castiblanco et al, 2017).

[...]Volver a sentirse útil, ese fue el alivio que le dejó el deporte. Comenzó a practicar natación pero los días llegaban con nuevos retos por cumplir. “Vi a unos pelados corriendo con prótesis, con la misma con la que uno camina, entonces me animé”. Al comienzo era incómodo pero el mayor se empeñó en ir cumpliendo pequeñas metas, cinco, diez kilómetros, hasta que con el paso de los meses terminó participando en campeonatos nacionales y luego fuera del país, incluso en Estados Unidos. “Ellos tienen un regimiento de heridos y organizan unas competencias cada dos años e invitan países aliados. Va Alemania, Francia, Canadá, Inglaterra, y de Suramérica solo invitan a Colombia”, contó. (Castiblanco et al, 2017).

Consideraciones finales

Como se mencionó previamente, el recordar y narrar, constituye un ejercicio que se enmarca en unos fines. La memoria aunque referente al pasado, cobra sentido en función del marco temporal del presente y el futuro. Recordar y narrar el ayer constituye una fuente, como se explicó en la primera parte, una forma de dignificar a las víctimas, reconociendo su dolor; como una forma de sanar, mediante la capacidad de que el narrar se constituya como un medio terapéutico para superar estos eventos; y tercero, el narrar como una forma de crear puentes en sociedades divididas, estableciendo espacios de diálogo e impulso a la empatía como garantía del establecimiento de sociedades más pacíficas.

La pregunta central, se orienta hacia lo que puede aportar este recordar y narrar de miembros de la Armada Nacional víctimas del conflicto armado y sus familias, así como los testimonios de la sociedad civil.

En primer lugar, constituye una obligación como sociedad visibilizar a las víctimas y sus historias. La capacidad de visibilizar todas las historias y todas las voces de las víctimas de conflicto constituye no solo constituye una obligación política o jurídica, sino ética, que nos permite reconocer las múltiples experiencias que han sido impactadas por el conflicto. Los miembros de la Fuerza Pública y la sociedad en general que han sido atravesados por la brutalidad del conflicto armado, y el impacto del mismo en la vida de todos ellos ha sido inmenso.

El recordar y narrar desde las víctimas del conflicto constituye un elemento central en cuanto a la re-evaluación de las representaciones y aproximaciones a las perspectivas particulares desde las cuales se vivieron los hechos ocurridos en la región de los Montes de María. En numerosos trabajos se han presentado las visiones particulares de la población civil. Es por esto que, una de las reflexiones particulares de este artículo se desprende de la perspectiva de las víctimas militares, entendiendo la complejidad y

particularidad que se enmarca dentro de ella. Lo militar examinado desde una lectura de un marco simbólico (subjetividad) y de construcción de significado nos permite avanzar en la capacidad de explorar toda la dimensión de la experiencia. Estas aproximaciones nos permiten romper con la homogeneidad de la representación de los miembros de la institución militar, entendiendo las muchas formas de narrar y las muchas formas de sentir que conviven al interior de la misma.

Como se mencionó previamente, en lo militar se entrelazan múltiples elementos que lo configuran como tal. Lo militar, a pesar de los marcos simbólicos fuertes en que se enmarca, no puede ser visto como un elemento monolítico, ni mucho menos estático en el tiempo. Lo militar es complejo y dinámico, y en el entran a mediar factores múltiples como son el contexto histórico y el mismo repertorio particular de los individuos. Sin duda, la capacidad de abarcar un objeto de estudio como lo militar desde una mirada que permitan ver los matices, rupturas y continuidades, constituye un camino para romper con estereotipos y representaciones, problematizando la mirada sobre el mismo.

En segundo lugar, y partiendo de la multiplicidad que encarna lo militar, se da por descontado que la memoria, desde lo militar, se establece dentro de múltiples formas y manifestaciones. De la misma forma en que lo militar no es homogéneo ni estático, la forma en que se construye la memoria y se narra por parte de sus miembros así mismo es un universo de matices, rupturas y continuidades. En este caso el reto significativo constituye como establecer en estos procesos de construcción de memoria la capacidad de establecer esta lectura amplia permitan integrar lo común y lo particular, y en donde los distintos niveles de lo militar (lo simbólico, lo dinámico y la multiplicidad) puedan interactuar.

Los procesos de construcción de memoria pueden convertirse en la mejor oportunidad de romper con las representaciones, y en el marco de ellos debe darse espacio a que se creen representaciones amplias y complejas sobre los actores. En este caso la memoria constituye un espacio privilegiado para repensar la representación de lo militar, permitiendo indagar en la multiplicidad de experiencias que existen en el marco del uniforme. En el marco de esta investigación, los matices y complejidades en cuanto a la forma de narrar que se encontró entre los relatos constituye un testimonio de la complejidad que esta representación encarna.

Un segundo eje de conclusiones tiene que ver con la importancia de esclarecer lo ocurrido en esta región del país; superando las visiones dicotómicas y maniqueas, en las que se supone que hay una separación entre buenos y malos; al contrario la mirada compleja del fenómeno permite evidenciar que el conflicto afectó a múltiples y diversos actores sociales. Esta comprensión del fenómeno desde esta perspectiva epistemológica, invita a que se sigan haciendo ejercicios de memoria y esclarecimiento, en las que se dimensionen territorialmente el conflicto armado.

Referencias

- Castiblanco, et al. (2017) *Protegiendo el azul, comprendí el rojo de la bandera*. Narrativas desde la Armada. Bogotá, Universidad Santo Tomás.
- Castiblanco, C. y Narváez, G. (2018) *La Vida me dio otra oportunidad. Dinámicas sociales del conflicto armado interno en la región de los Montes de María*. Bogotá, Universidad Santo Tomás.
- Czarniawska Barbara (2004) *Narratives in Social Science Research*. SAGE Publications. London.
- De los Ríos. E., Becerra, C. Oyaga, F, Equipo Ilsa. (2012). *Montes de María entre la consolidación de territorio y el acaparamiento de tierras. Aproximación a la situación de Derechos Humanos y del Derecho Internacional Humanitario en la región (2006-2012)*. Bogotá. Publicaciones Ilsa.
- García, A., Vega, I., Montero, P., Velázquez, C., Segrera, Y. (2010). *Buenas Prácticas para superar el conflicto: casos de los Montes de María*. En R. González y A. Mason (Eds). Colombia y el hemisferio frente al nuevo orden global. (pp. 55-103). Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Marín (2017) *Victorias desde el aire*. La FAC y el término del conflicto armado interno. Bogotá: Editorial Ibáñez.
- PNUD (2010). Los Montes de María: *Análisis de la conflictividad*. Colombia: Impresol.
- Porras, M. 2014. Conflictos, violencias y resistencias en los Montes de María Un análisis de temporalidad extendida en Territorio y Conflicto en la Costa Caribe. Bogotá. ODECOFI. Pp 331-386.



Formación general del Batallón de Cadetes para izar el Pabellón Nacional.



Escolta de la Bandera de Guerra de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.

CONSIDERACIONES PARA LA DEFENSA QUÍMICA, BIOLÓGICA Y RADIOLÓGICA DE BUQUES DE GUERRA EN LATINOAMÉRICA

Considerations for chemical, biological and radiological defense of warships in Latin America

Tomás R. Pérez Romero¹
Gabriela G. Salas Berrocal²
José M. Gómez Torres³

Recibido: 04/07/2018

Aceptado: 17/08/2018

Resumen

La guerra química, biológica y radiológica constituye una potencial amenaza que debe ser tenida en cuenta en el diseño de buques de guerra. Desde la perspectiva de los países latinoamericanos, se hace necesario entender la dinámica de este tipo de guerra, teniendo en cuenta que, aunque en términos de riesgo la probabilidad actual de estar sometidos a ataques con armas de este tipo es baja, el impacto que generaría un potencial ataque sería muy alto. Por ello, se busca investigar los diferentes factores que obligan a considerar la defensa contra guerra química, biológica y radiológica en el diseño de buques de guerra, los componentes que deben ser tenidos en cuenta para desarrollar dicha capacidad de defensa, así como la selección de normas y/o estándares que puedan ser acogidos

para alcanzar la capacidad deseada.

Palabras clave: Guerra, química, biológica, radiológica, defensa, destrucción, masiva, protección, amenaza, buques.

Abstract

Chemical, biological and radiological warfare is a potential threat that must be taken into account in the design of warships. From the perspective of Latin American countries, it is necessary to understand the dynamics of this type of war, bearing in mind that, although in terms of risk the current probability of being subjected to attacks with this type of weapon is low, the impact that a potential attack would generate would be very high. For this reason, we seek to investigate the different factors that make it necessary to consider defence against chemical,

¹Maestro en Tecnologías para la Defensa, Jefe área Sistema de Combate Programa PES.

²Ingeniera Eléctrica, MSc. Ingeniería Marina, Coordinadora Programa PES – COTECMAR.

³Capitán de Fragata, MSc. Ingeniería sistémica, MSc. Ingeniería Mecánica, Director Técnico Programa PES - jose.gomez.t@armada.mil.co

biological and radiological warfare in the design of warships, the components that must be taken into account to develop this defense capability, as well as the selection of norms and/or standards that can be accepted to achieve the desired capability.

Keywords: war, chemical, biological, radiological, defense, destruction, massive, protection, threat, ships.

Introducción

Aunque la tendencia apunta al aumento continuo de controles y regulaciones con respecto a la producción de agentes nucleares, químicos y biológicos, así como al tratamiento de residuos radiológicos, también es cierto que el aumento de la efectividad de las armas que usan dichos agentes, catalogadas como armas de destrucción masiva (R. C. Harney, 1990), es un indicador importante para tener en cuenta en el análisis de la importancia de este tipo de amenazas dentro de la guerra moderna (Leading, 2012).

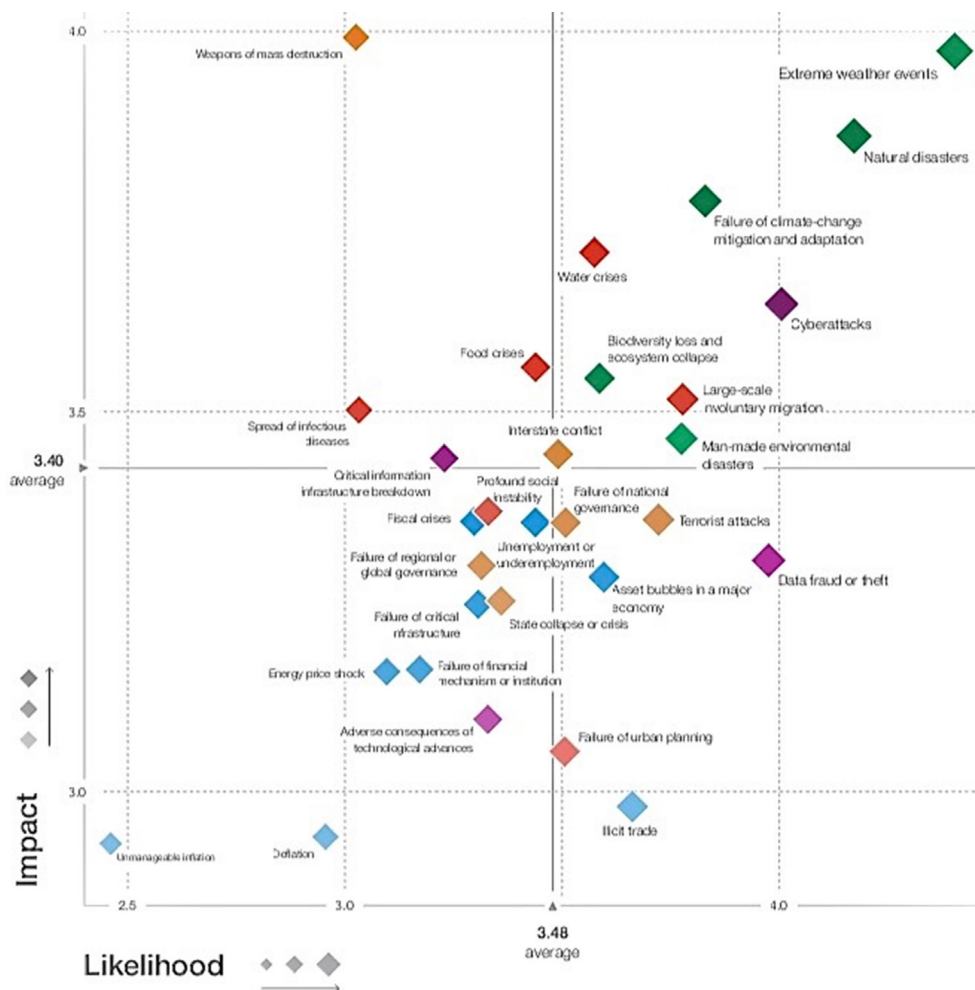


Figura 1. Panorama global de riesgos 2018

Fuente: World Economic Forum Global Risks Perception Survey 2017–2018.

Como se muestra en la gráfica 1, la encuesta de percepción de riesgos globales del Foro Económico Mundial identifica el impacto del riesgo de uso de armas de destrucción masiva como el más alto de todos los evaluados, aunque le da una probabilidad relativamente baja. Dicha percepción del riesgo asociado a las armas de destrucción masiva en términos de impacto, ha ido evolucionando en los últimos años: aparece dentro de los cinco riesgos globales más importantes desde el año 2013, como “difusión de armas de destrucción masiva” en el cuarto lugar, desaparece de la clasificación en el 2014 y reaparece en el tercer lugar en el 2015 como “armas de destrucción masiva”. En el 2016 pasa a ocupar el segundo lugar y en el 2017 - 2018 se ubica como el riesgo global más importante en términos de impacto (World Economic Forum, 2018).

Adicionalmente hay que tener en cuenta que la facilidad actual de acceso a la información, genera mayores oportunidades de fabricación de armas biológicas, químicas y/o radiológicas para los diferentes grupos terroristas alrededor del mundo. El acceso a este tipo de capacidades no solo se convierte en un camino para los grupos terroristas dentro del marco de la guerra asimétrica, también se convierte en un escenario viable para las fuerzas militares de países con gobiernos permisivos en el uso de este tipo de medios.

Dentro de las tendencias actuales de la guerra naval, el escenario de operaciones está cada vez más cerca de la costa, por lo que los buques de guerra están más expuestos a ataques químicos, biológicos y radiológicos (CBR). La guerra naval librada en los litorales es bastante compleja, ya que generalmente hace referencia a escenarios de alta densidad donde se debe tener en cuenta la posibilidad de recibir ataques CBR desde tierra o desde embarcaciones pequeñas que patrullan cerca de la línea de costa (Leading, 2012).

Esta situación es una realidad global que debe ser tenida en cuenta por las armadas de la región latinoamericana, ya que, aunque no hay registros de ataques con agentes CBR en la región, no deja de existir el riesgo y aunque su probabilidad sea baja, su potencial impacto sobre las fuerzas navales obliga a considerar mecanismos de defensa adecuados. Además, la participación potencial de marinas de la región como parte de fuerzas de tarea en conjunto con marinas de países industrializados, aumenta la exposición a este tipo de ataques y por ende requiere la consideración de capacidades de defensa adecuadas. Por lo anterior, el objetivo principal de este artículo es identificar requisitos asociados que garanticen una buena capacidad de defensa química, biológica y radiológica, desde las implicaciones en el diseño de buques de guerra en la actualidad.

Método

La presente investigación es de tipo Descriptiva-Explicativa (Hurtado, 2000), debido a que, inicialmente se realiza una verificación en fuentes abiertas para obtener información sobre el concepto de defensa biológica, química y radiológica desde una perspectiva naval. Dentro de este marco, se identifican las amenazas actuales y su relevancia dentro del teatro de operaciones de la guerra naval convencional y no convencional.

Con el fin de entender las repercusiones del uso de armas biológicas, químicas y radiológicas, se continúa con la descripción del impacto producido por cada una de las armas. Finalmente se describen los principios de la defensa química, biológica y radiológica, así como también se generan recomendaciones aplicables al diseño de un sistema de protección colectiva dentro de las cuales se tienen en cuenta las normas de clasificación naval relacionadas con el tema objeto de estudio.

Teniendo como base la información obtenida por medio de los procesos descritos en el párrafo anterior, se analizan los diferentes requisitos asociados a la CBRD para buques de guerra, y se presentan las consideraciones generales para la determinación de requisitos funcionales asociados a la capacidad de CBRD que debería garantizarse a bordo de los buques de guerra del siglo XXI que conformarán las armadas en la región latinoamericana, finalmente se presentan las conclusiones.

Entendiendo la Amenaza

Armas Radiológicas

Las armas radiológicas se derivan parcialmente de las armas nucleares, ya que parte del efecto final de estas últimas, se basa en el mismo principio de efecto destructivo de las armas radiológicas. La radiación inmediata de explosiones nucleares dentro de la atmosfera de la tierra puede generar una cantidad de radiación lo suficientemente grande como para producir la muerte a personas en cuestión de semanas en un radio de varios kilómetros. En este sentido, la “bomba de neutrones” o “arma nuclear de radiación mejorada” y la “bomba nuclear sucia” (explosivos nucleares encerrados en cobalto, estroncio, o cualquier otro elemento que absorba neutrones con el fin de volverla extremadamente radioactiva) fueron diseñadas para enfatizar los efectos radiológicos en lugar de los efectos tradicionales de la onda explosiva. Sin embargo, en estos casos todos los efectos radiológicos siguen siendo el resultado directo de explosiones nucleares, por lo cual entran en la categoría de armas nucleares. Por otro lado, hay armas de radiación que no requieren una explosión nuclear, a esto nos referimos cuando hablamos de armas radiológicas.

Las armas radiológicas se basan en el uso de radiación nuclear producida por material radioactivo, y tienen como objeto inducir enfermedades en el adversario o incluso, provocar la muerte. Hay dos tipos de armas radioactivas: dispositivo de exposición radiológica (RED por sus siglas en ingles) y el dispositivo de dispersión radiológica (RDD por sus siglas en ingles).

Los RED concentran material radiactivo en una fuente compacta. La intención es colocar el RED en un lugar cercano a las personas objeto del ataque con el fin de exponerlos a la radiación producida por este artefacto. Este tipo de armas se enmarcan principalmente dentro de las armas no convencionales de aplicación terrorista. Los RDD (también conocido como “bomba sucia”) generan la dispersión del material radioactivo

en el ambiente mediante la combinación con explosivos o algún otro medio de rociado. Este tipo de arma radiológica puede ser de aplicación militar o terrorista.

La radiación nuclear puede atacar al cuerpo humano por dos caminos; radiación externa o radiación interna. La radiación externa se puede producir mediante el empleo de REDs o RDDs, la radiación penetra el cuerpo a través de la piel, interactuando con tejidos internos y órganos. La radiación interna se puede lograr mediante la inhalación o ingestión de material radioactivo, permitiendo que la radiación interactúe con los órganos y tejidos internos desde adentro. Este tipo de efecto solo se lograría utilizando RDDs.

La radiación nuclear puede producir diferentes clases de efectos adversos: enfermedad aguda por radiación, síndromes retardados y daños psicológicos, dependiendo del nivel de exposición. Si la dosis de radiación es suficientemente alta, se pueden generar daños celulares a nivel de médula ósea, tracto intestinal y sistema nervioso, debilitando considerablemente a la persona o inclusive llegar a causarle la muerte. En dosis más bajas probablemente no se harán evidentes los efectos de manera inmediata. Probablemente el daño celular producido dará lugar a enfermedades cancerígenas e inclusive posibles defectos de nacimiento en la descendencia de la persona afectada. Finalmente, la mera posibilidad de exposición a radiación nuclear puede generar efectos psicológicos tales como pánico, ansiedad y/o depresión severa (Gates, 2005) (R. C. Harney, 1990).

Armas Químicas

El objetivo práctico de las armas químicas es atacar el sistema nervioso, que dependiendo de la dosis puede causar una serie de síntomas que van desde restricciones en la respiración hasta parálisis y muerte por asfixia. Los agentes de guerra química pueden ser entregados mediante proyectiles de cañón, misiles, bombas o minas.

Los productos químicos utilizados en la guerra química se pueden clasificar como agentes químicos o componentes químicos. Los agentes químicos son los que, a través de sus propiedades químicas, producen efectos letales o dañinos en la persona, estos se dividen en agentes tóxicos y agentes incapacitantes.

Los agentes tóxicos (también llamados agentes letales) son capaces de producir incapacitación física, lesiones serias o hasta la muerte. Los agentes incapacitantes producen efectos físicos y/o psicológicos que pueden durar horas o días después de la exposición, impidiendo que la persona afectada pueda llevar a cabo sus tareas y deberes. Algunos de estos agentes, pueden producir una lesión permanente, por ejemplo, pueden producir lesiones a nivel cerebral que pueden inducir pérdida de control muscular, amnesia o esterilidad. También pueden producir a largo plazo, problemas de ansiedad o dar origen a enfermedades cancerígenas (R.C. Harney, 1990), (Ernest, 1999).

Armas Biológicas

Las armas biológicas son básicamente todas aquellas armas que se basan en organismos vivos o productos de organismos vivos como medio para matar o incapacitar a otro organismo vivo o dañar o destruir material y/o equipo. Esta descripción general abarca muchas posibilidades de armas biológicas, desde trampas consistentes en cocodrilos dentro de fosos cubiertos ubicados en los posibles caminos del adversario, proyectiles rellenos de veneno de escorpión o serpiente, o la intrusión de una especie invasiva dentro de un ecosistema para desequilibrarlo y destruirlo. Sin embargo, en la práctica el concepto de arma biológica se relaciona más que todo con el uso de microorganismos patogénicos como arma bacteriológica (o biológica).

Las armas biológicas pueden clasificarse según el objetivo para el cual están diseñadas, por lo que pueden ser agentes biológicos anti personas, agentes anti animales y/o agentes anti plantas. También pueden ser categorizadas con base en la naturaleza del efecto; agentes biológicos letales y agentes biológicos incapacitantes. Los agentes letales son los que tienen un alto potencial de producir la muerte, mientras que los agentes incapacitantes pueden producir enfermedades graves, con una tasa de mortalidad inferior al 1% (R.C. Harney, 1990) (Danzig, 1996).

Principios para la defensa química, biológica y radiológica

Teniendo en cuenta el objeto de estudio, los principios tratados a continuación se concentran en la capacidad CBRD, dejando por fuera cualquier consideración relacionada con la defensa contra armas nucleares, específicamente en lo relacionado con la resistencia estructural contra la onda explosiva y térmica producida por una explosión nuclear.

La defensa química, biológica y radiológica en buques de guerra se basa en tres principios: Prevención y/o reducción de la contaminación externa, protección física y descontaminación (Stebbins, 2002) (OTAN, 2012); estos, son analizados en mayor detalle a continuación.

Prevención de la contaminación externa

Como primera medida de protección, un buque de guerra debe evitar las zonas de contaminación CBR, para lo cual cuenta con su capacidad de moverse y maniobrar como principal mecanismo de prevención. Adicionalmente, se pueden implementar diferentes acciones, entre ellas:

1. Uso de sensores de detección remota de agentes químicos, biológicos y radiológicos con un despliegue que permita una cobertura de 360 grados alrededor del buque. Dichos sensores deben tener baja probabilidad de falsas alarmas en ambientes de alta saturación, garantizando la capacidad de detección a largas distancias, permitiendo

realizar maniobras de evasión respecto al área contaminada.

2. Disposición de un sistema de lavado extendido por toda la superficie exterior del buque, distribuido de tal forma que se logre la mayor cobertura posible, evitando áreas que puedan quedar sin lavar debido al viento y al movimiento propio del buque. Este sistema puede ser activado de manera automática por el sistema de detección de agentes químicos, biológicos o radiológicos.

Protección Física

Si bien la prevención de la contaminación es el método de protección CBR más deseable, ya que reduce el riesgo de exposición del personal y elimina la necesidad de descontaminación, en algunos casos la detección oportuna de agentes químicos y/o biológicos no es posible. Por tanto, se hace necesario utilizar estrategias de protección física que permitan mejorar la supervivencia de la tripulación y de la plataforma. La protección física puede ser individual, colectiva o aplicada a equipos y/o materiales (OTAN, 2012).

Se considera “protección individual” todas aquellas acciones orientadas a la supervivencia de una persona, permitiéndole continuar en el desarrollo de operaciones en condiciones de ataque CBR (OTAN, 2012). La medida más conocida es el uso de trajes protectores y otros implementos como guantes, máscaras y equipos individuales de respiración.

Por su parte, el término “protección colectiva” (COLPRO, por el término en inglés) hace referencia a las diferentes características de diseño que permiten crear un ambiente libre de sustancias tóxicas, en el que un grupo de personas puede permanecer sin necesidad de utilizar todos los equipos requeridos en un esquema de protección individual (Departamento de Defensa de Estados Unidos, 2016). La principal intención de la protección colectiva es facilitar la ejecución normal de las funciones críticas de la tripulación, sin tener la restricción de los trajes protectores, mejorando con ello el nivel de combate durante el ataque y asegurando una rápida recuperación después del mismo. Asimismo, las zonas protegidas mediante COLPRO sirven para realización de actividades de soporte, como descanso y tratamiento médico (Fuerzas Armadas de Estados Unidos, 2013).

En un buque de guerra, el concepto de protección colectiva implica la agrupación de compartimentos interconectados, aislados herméticamente con el fin de impedir el ingreso de agentes radiológicos, químicos o biológicos, dicha configuración de compartimentos aislados se denomina “ciudadela”. Con el fin de mantener la integridad del sellado hermético, el aire al interior del buque es recirculado y el aire adicional ingresado es direccionado dentro del sistema de ventilación para que circule a través de filtros especiales. Mediante el ingreso del aire exterior que pasa por los filtros, se mantiene una sobrepresión al interior de la ciudadela (Forbes, 2018), con el fin de

prevenir el posible ingreso de agentes por cualquier pequeña fuga o abertura que pueda existir (Gates, 2005) (R. C. Harney, 1990).

En algunos casos, los sistemas de protección colectiva suelen ser entendidos únicamente como sistemas de ventilación que mantienen uno o varios compartimientos presurizados con aire limpio (Richardt, 2013). Sin embargo, el diseño e implementación de este tipo de protección tiene mayores implicaciones sobre la integración de los sistemas de un buque de guerra.

Este concepto incluye requisitos asociados a poder operar en escenarios donde la radiación se haya generado por una explosión nuclear, dejando por fuera las consideraciones estructurales asociadas a la resistencia de la onda explosiva y térmica producida por un arma nuclear.

Requisitos y recomendaciones de diseño para un sistema COLPRO

La capacidad de defensa química, biológica y radiológica no es considerada como un requisito funcional dominante dentro del diseño de los buques de guerra actuales (Harney, 1999), debido a que, aunque el uso de armas de destrucción masiva cada vez se hace más viable, sigue siendo más relevante garantizar la gestión de requisitos asociados a reducción de firmas, carga de pago, flexibilidad y, sobre todo: costos. Por lo tanto, existen diferentes niveles de implementación de los sistemas COLPRO en buques de guerra, los cuales pueden proporcionar protección parcial o total.

Tomando como referencia los requisitos establecidos en las reglas de clasificación naval (NV GL AS, 2015) (Lloyd's Register, 2015), se distinguen dos niveles de complejidad que pueden implementarse en los sistemas de protección colectiva, como se muestra en la Tabla 1. Cabe resaltar que estas normativas permiten el uso de la “ciudadela parcial”, configuración que consiste en uno o más compartimientos aislados, sin uso de filtros en el sistema de ventilación. En buques con ciudadelas parciales se mantienen zonas desprotegidas y tiempos limitados de defensa ante ataques químicos, biológicos o radiológicos. Adicionalmente, la comparación presentada en la Tabla 1 permite identificar que el Nivel 2 tiene requisitos más restrictivos, por ende es aplicable a buques con alto nivel de riesgo ante la amenaza CBR, el cual depende de la probabilidad de exposición a ataques químicos, biológicos o radiológicos en el área de operaciones y del impacto sobre la misión. (OTAN, 2012).

Tabla 1.

Enumeración de factores y niveles correspondientes.

Requisitos	Nivel 1	Nivel 2
Tipo de protección	Parcial	Total
Configuración interior	Ciudadela parcial, también llamada refugio o santuario.	Ciudadela

Tabla continua...

Requisitos	Nivel 1	Nivel 2
Sistema de lavado	Sí	Sí
Zonificación	No es requerida.	Se requiere subdivisión por zonas dentro de las ciudadelas. Los límites de zona deben coincidir con los de las zonas de control de averías. Cada zona cuenta con sistemas de ventilación y filtrado independientes.
Hermeticidad (gases)	Sí: Las puertas, sellos de aire, escotillas y demás accesos al refugio deben ser a prueba de gases.	Sí: Adicional a Nivel 1, cada zona dentro de la ciudadela debe mantener la hermeticidad de manera autónoma.
Presurización	No es requerida.	Sí: Se aplica el principio de presión diferencial por etapas.
Ventilación y acondicionamiento de aire	Sistema de ventilación tradicional, con capacidad de enfriamiento al interior del refugio y recirculación de aire.	Sistema de ventilación con filtrado NBC y presurización. Restricción de niveles máximos de CO ₂ al interior de la ciudadela.
Equipos de filtrado	No son requeridos.	Estación de filtrado de aire (Filtro HEPA y de gases), con protección contra explosiones. Se pueden usar filtros de prueba en los períodos en los que no hay amenaza CBR.
Alimentación eléctrica	Redundante para los equipos relacionados con el sistema CBR.	Redundante para los equipos relacionados con el sistema CBR.
	Nunca interrumpir alimentación a equipos de ventilación.	Nunca interrumpir alimentación a equipos de ventilación y presurización.
Estaciones de limpieza (descontaminación)	No son requeridas, pero pueden ser incluidas.	Sí, normalmente entre dos y tres estaciones (dependiendo del tamaño del buque).

Existen otras recomendaciones aplicables al diseño de un sistema COLPRO, entre ellas (Harney, 1999):

1. La resistencia estructural en las zonas donde se han dispuesto las ciudadelas (zonas críticas) debe ser reforzada con el fin de minimizar la posible penetración con armas convencionales, que permitan posteriores vulnerabilidades ante armas químicas, biológicas o radiológicas. Este requisito también contribuye con el aumento general de la supervivencia.
2. El tamaño de las escotillas (en especial por fuera de la ciudadela) debe permitir el paso simultáneo en doble sentido de personal equipado con el traje de protección personal.
3. Las escotillas exteriores e interiores de la ciudadela deben permitir el fácil flujo de personal entre los diferentes espacios, garantizando el sello hermético de cada compartimiento, previendo la integridad de cada espacio en dado caso el compartimiento contiguo se haya contaminado.
4. Se debe garantizar la mejor ubicación de equipos de protección personal y la cantidad suficiente para toda la tripulación del buque.

Descontaminación

1. Teniendo en cuenta que la guerra química, biológica y radiológica se ha convertido en un escenario viable dentro del marco de la guerra regular y aún más preocupante, la facilidad para crear armas químicas, biológicas y radiológicas están hoy más que nunca al alcance de los grupos terroristas alrededor del mundo, se hace necesario que las fuerzas militares y en especial las armadas de las regiones que históricamente han estado al margen de conflictos donde se hayan utilizado armas de destrucción masiva, tomen conciencia de que con la expansión global de capacidades para la producción de componentes químicos de aplicación civil y la proliferación de plantas nucleares como generadoras de electricidad, acercan cada vez más las armas de destrucción masiva a su cotidianidad.
2. La necesidad de incluir requisitos respecto que garanticen la capacidad de CBRD en los buques de guerra en Latinoamérica, no solo debe ser una consideración importante con base al posible accionar del adversario mediante la aplicación de la guerra CBR, sino también por la necesidad de poder atender requerimientos de apoyo en desastres humanitarios a nivel nacional e internacional, donde el área de operaciones se encuentre contaminada por alguno de los agentes tóxicos objetos de este estudio.
3. Si fuera deseable, los buques de guerra pudiesen ser diseñados bajo el concepto de CBRD total; no solo los espacios catalogados como vitales o críticos, si no el buque completo, lo cual garantizaría el cien por ciento de la capacidad de combate

en condiciones de guerra CBR. Lo anterior dependerá del concepto operacional del buque de guerra y claro, de la capacidad principal de la amenaza latente. Uno de los factores determinantes para la adquisición de cualquier sistema militar alrededor del mundo es el presupuesto, siendo el panorama de amenazas usualmente tan amplio que es inviable proponer proyectos que cubran todas las necesidades en un cien por ciento.

4. No solo se trata de generar las ciudadelas más amplias y que limiten lo menos posible al buque de guerra en el cumplimiento de su misión desde el punto de vista de capacidades de combate; el reto tecnológico también se encuentra en la capacidad de garantizar la integridad de las ciudadelas y su correcto funcionamiento en un tiempo determinado. Los sistemas actuales brindan capacidades sostenidas en el orden de horas, lo cual indica que en el momento de ser blanco de ataques CBR continuados, probablemente la capacidad de CBRD solo sirva para permitir la retirada del buque del área de combate.
5. Las armadas medianas del mundo en general siguen dejando el análisis de requisitos funcionales asociados a la CBRD en un nivel de importancia inferior al de otros temas aparentemente más “reales e inmediatos” y también más costosos en su gestión. Se considera que dicho proceder, se entiende como una invitación explícita a los adversarios potenciales para que aceleren la incursión en la producción y aplicación de una guerra química, biológica o radiológica, tal vez más barata y efectiva.

Conclusiones

Hoy en día la definición de requisitos asociados a garantizar la capacidad CBRD en los buques de guerra se convierte en una necesidad para cualquier armada con proyección regional. Lo anterior es una realidad que invita a reevaluar las prioridades en los procesos de adquisición de los buques de guerra durante el presente siglo en la región latinoamericana, ya que aunque en la actualidad no se tenga registro sobre ataques con armas de destrucción masiva en esta parte del mundo, si se tienen suficientes argumentos para declarar que las condiciones sociales y políticas de los países de la región latinoamericana se ven cada vez más permeadas por las organizaciones criminales y terroristas transnacionales, aumentando el riesgo de tener que enfrentar amenazas de tipo químico, biológico y radiológico.

Teniendo en cuenta lo descrito en relación con los requisitos de CBRD, Las alternativas tecnológicas vigentes para garantizar dicha capacidad de defensa deberá contar con cinco subsistemas genéricos: ciudadela, filtros CBR, unidad de detección, estaciones de lavado externo y estación de descontaminación. Estos subsistemas se deben considerar como mandatorios dentro de la determinación de la capacidad CBRD para los buques de guerra, habiéndose identificando a lo largo del artículo los parámetros mínimos de cumplimiento en cada uno de ellos, así como la disponibilidad de normativa adecuada para lograr las capacidades de CBRD necesarias para las futuras flotas de guerra de la región.

Referencias

- Danzig, R.(1996) *Biological Warfare: A Nation at Risk - A Time to Act*, Institute for National Strategic Studies.
- Departamento de Defensa de Estados Unidos, (2016) *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*.
- DNV GL AS, (2015) *Rules for Classification High speed and light craft*. Part 6 Additional class notations - Chapter 8 Naval.
- Ernest T, A. B. K. Takafuji, (1999) *The Chemical warfare threat and the military healthcare Provider, de Medical aspects of chemical and biological warfare, Maryland*, Science Applications International Corporation, 1999.
- Forbes, «Forbes,» (2018). [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/america-latina-la-region-promesa-para-desarrollar-energia-nuclear/>. [Último acceso: 15 mayo 2018].
- Fuerzas Armadas de Estados Unidos,(2013) *Operations in Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Environments* (JP 3-11).
- Gates. P. J. (2005) *Surface Warships*.
- Harney, R. C. (1990) *Weapons of Mass Destruction and Homeland Security,» de Combat Systems*, Monterey, California. , NPS, pp. 337-776.
- Harney, R. C.(1999) *Studies in Ship Survivability. II. Fighting Dirty? Sustaining Operations in an NBC Environment*, NPS, Monterey, California..
- Hurtado de Barrera Jaqueline, (2000) *Metodología de la Investigación Holística*, Caracas: SYPAL.
- Leading Edge,(2012) *Chemical, Biological and Radiological Defense*. NAVSEA Warfare Centers, Dahlgren.
- Lloyd's Register, Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships, London, 2015.
- OTAN, Allied Joint Doctrine for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Defence (AJP-3.8), NSA, 2012.

Richardt, A. Hülseweh. B, Niemeyer, B. y F. Sabath, CBRN Protection: Managing the threat of chemical, biological, radioactive and nuclear weapons, John Wiley & Sons, 2013.

Stebbins, A. A. Can naval surface forces operate under chemical weapons conditions?, Monterey, California: NPS, 2.

World Economic Forum, (2018) *The Global Risks Report 2018*, World Economic Forum, Geneva.



Formación para zarpe de los Cadetes Navales por inicio de crucero de entrenamiento a bordo del buque Escuela ARC "Gloria".



Cadetes por alto a bordo del buque Escuela ARC "Gloria".
