

**Memorias Congreso Internacional de Planeación y Logística:
Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación
digital y energética**

Publicación anual. Volumen 2, septiembre de 2022. ISSN: 2981-4898



ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA



Cartagena, Colombia. 08 y 09 de septiembre de 2022

Impreso en Colombia, Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Facultad de Administración Marítima. Barrios el Bosque Sector Manzanillo, PBX (+575) 6724610 ext. 11223 – cel. 3172199106 - Cartagena de Indias D.T. y C., Bolívar, Colombia. Correo: dfam@enap.edu.co

**Memorias II Congreso Internacional de Planeación y Logística:
Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación
digital y energética**

Facultad de Administración Marítima
ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA
08 y 09 de septiembre de 2022
Cartagena, Colombia
Vol. 2

AUTORIDADES INSTITUCIONALES

Director

Contralmirante
Jaimes Pinilla Javier Alonso

Subdirector

Capitán de Navío
Feria Murillo Edwin Manuel

Decano Académico

Capitán de Fragata
Peroza Daza José David

Decana Facultad de Administración Marítima

Capitán de Corbeta
Estella DiazGranados Santamaría

EDITOR JEFE

Profesional de defensa

MSc. Cedrid Gómez Torregrosa
Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante
Padilla. Colombia

COORDINADOR EDITORIAL

Orientador de defensa

MSc. Jéssica Chiquillo Durán
Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante
Padilla. Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD Homero Contreras
Caleyá Consultores – Puebla.
México

PhD Jordi Poch García
Universidad de Girona. España

PhD Judith Cavazos Arroyo
Universidad UPAEP-Puebla. México

PhD Loecelia Ruvalcaba
Centro de Investigación en Geografía y Geomática
“Ing. Jorge L. Tamayo” A.C
México

PhD Miguel Ángel Risetto
Universidad Tecnológica Nacional. Argentina

MSc. Orlando Zapateiro Altamiranda
Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante
Padilla. Colombia

MSc. Jéssica Chiquillo Durán
Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante
Padilla. Colombia

Coordinación Comité Científico

PhD. Fernando Salazar Arrieta (Profesor –
Investigador)
MSc. Orlando Zapateiro Altamiranda (Profesor -
Investigador)

ESCUELA NAVAL DE CADETES
ALMIRANTE PADILLA



Todos los trabajos presentados en el “II Congreso Internacional de Planeación y Logística: Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación digital y energética, 2022”, han sido sometidos aun proceso de doble arbitraje ciego.



contenido

PROGRAMA	8
LA LOGÍSTICA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA MARÍTIMA	17
DISEÑO DE UN BOTE DE PRÁCTICO COMO ESLABÓN CRÍTICO EN LA CADENA LOGÍSTICA PORTUARIA	31
DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO ACCIONADO POR PILA DE COMBUSTIBLE PARA EL BUQUE DE INSTRUCCIÓN ENAP.....	41
ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ZONAS DE PARQUEO DE LA ESCUELA NAVAL DE CADETES “ALMIRANTE PADILLA” ENAP A TRAVÉS DE CUBIERTAS SOLARES	51
CONTAMINACIÓN CERO: DISEÑO DE UNA PONTONA TURÍSTICA FLUVIAL CON PROPULSIÓN ELÉCTRICA BASADA EN PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO	69
PRÁCTICA DE LOGÍSTICA INVERSA EN EMPRESAS GANADERAS COLOMBIANAS.....	79
APLICACIÓN DEL POWER BI PARA EL PLANEAMIENTO OPERACIONAL EN LA ARMADA DE COLOMBIA: CASO FUERZA NAVAL DEL PACÍFICO	89
EL PROCESO DE PLANEACIÓN EN EL SECTOR DEFENSA Y SEGURIDAD EN COLOMBIA, 2011-2021	100
MODELO DE NEGOCIO DE BIOFÁBRICA EN ARGENTINA.....	115
FORTALECIMIENTO DEL ECOCONSUMO DESDE LAS SIETE (7) Rs EN LA COMUNA 7 DE VILLAVICENCIO	131
Memoria 2-211	136
LA LOGÍSTICA INVERSA Y APLICACIÓN EN EMPRESA INDUSTRIAL PERUANA	137
RETOS Y OPORTUNIDADES DE COLOMBIA EN COMPETITIVIDAD CON EL USO COMERCIAL DE DRONES EN DESARROLLO DE LA 4TA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	157
DISEÑO DE LA PILA DE COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSION DEL BUQUE DE APOYO LOGISTICO Y CABOTAJE LIVIANO (BALC-L)	175
EL SABER SER REFERIDO A LOS ADMINISTRADORES DE LAS CADENAS DE SUMINISTROS	187
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE COMPRAS DE BIENES Y	

SERVICIOS EN LOS PROYECTOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE COTECMAR EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS	198
II FASE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EL PROGRAMA TECNOLOGÍA DE LOGÍSTICA MILITAR DE LA EMSUB	216
DISEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTROS DE CICLO CERRADO CON EL TRINOMIO CALIDAD TOTAL - PRODUCTIVIDAD Y -E-BUSINESS PARA LA CREACIÓN DE VALOR EN UNA PLAZA DE MERCADO	222
LOGÍSTICA 5.0	232
ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LAS TECNOLOGÍAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO HUMANITARIA	235
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD EDUCATIVA BAJO UN ENFOQUE SEIS SIGMA EN LOS PROGRAMAS DE INGENIERÍA EN COLOMBIA.....	251

BIENVENIDA...

En respuesta a la necesidad de generar un espacio, donde la comunidad de investigadores de Iberoamérica, evidenciada desde hace unos años, pueda socializar sus resultados de investigación y articular esfuerzos para encontrar respuesta a las problemáticas que enfrentamos, dadas las condiciones y característica de interdisciplinariedad, desde la logística, seguridad y defensa nacionales y la gestión de la cadena de suministros (SCM); que han sido reconocidas como condiciones indispensables para asegurar el éxito y lasostenibilidad de las organizaciones, tanto de bienes como de servicios, así como la defensa de la soberanía nacional salvaguardando los intereses de la sociedad.

Por esta razón, esta segunda versión del “Congreso Internacional de Planeación y Logística: Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación digital y energética, 2022” se convierte en un espacio privilegiado para compartir con la comunidad del sector defensa, académica y empresarial las investigaciones que actualmente se desarrollan en temas específicos como la movilidad electro-fluvial, logística inversa, logística militar, logística financiera, hospitalaria, de almacenamiento, de la producción, de servicios y la planeación estratégica logística, economía circular y costos, entre otros temas de interés.

Para la Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, representada por la Facultad de Administración Marítima, es un privilegio desarrollar esta segunda versión del congreso y contar con la presencia y participación de más de 60 ponentes nacionales e internacionales, de alto reconocimiento académico, en el sector defensa, empresarial y social; de los países que han respondido y aceptado la invitación de la Universidad Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla.

Decano Académico, CF. José David Peroza
Decana Facultad de Administración Marítima, CC. Estella DiazGranados
Santamaría

INFORMACIÓN GENERAL



Memorias Congreso Internacional de Planeación y Logística:
Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación digital y energética

Universidad Escuela Naval de Cadetes *Almirante Padilla*

La Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” es la cuna de los Oficiales de la Armada de Colombia. Una institución que ya cuenta con 84 años de servicios ininterrumpidos en la formación del talento humano que lidera el derrotero de la Marina colombiana y gestiona el conocimiento para aportar al desarrollo del Poder Naval y Marítimo del país.

Sin duda, su historia está ligada al desarrollo de la Armada de Colombia y a la historia naval colombiana. Durante el siglo XVII se dieron varios intentos por establecer una escuela naval que atendiera las necesidades de una marina de guerra para la defensa del país. En 1822 se estableció la Escuela Náutica en Cartagena, incorporada a la Universidad del Magdalena, graduando dos promociones, sin posibilidades para seguir en funcionamiento. En 1866 se recuperó la Escuela Náutica, como anexo de la Universidad de Cartagena, conocida en ese entonces como Colegio de Bolívar. Sin embargo, este segundo intento no tuvo acogida.

En la primera década del siglo XX se creó la Escuela Naval Nacional, que sólo alcanzó a graduar un curso de Oficiales, en 1909.

Luego de la victoria en el conflicto con el Perú, el Gobierno reconoció la importancia de establecer una escuela naval que se encargue de instruir a los hombres para fortalecer la Marina Colombiana. Es así como en 1935, se estableció la Escuela Naval de Cadetes, bajo la dirección del Capitán de Navío inglés Ralph Douglas Binney, a bordo del MC Cúcuta, bajo el Decreto 712 del 13 de abril de 1935 e inició labores el 3 de julio de ese año, con los integrantes del primer contingente que fueron nombrados de a dos por departamento.

Tres años más tarde, comenzó la era de la Escuela Naval en tierra con su traslado a Bocagrande, donde permaneció hasta 1961, cuando se instaló en la Isla de Manzanillo.

PROGRAMA

PROGRAMA GENERAL CONGRESO AUDITORIOS Y AULAS Jueves 08 de septiembre 2022			
N°	H. INICIO	H. FINAL	AUDITORIO
1	8:00	8:30	Acreditación Congreso y Registro
2	8:30	9:00	Instalación Oficial - Autoridades Institucionales e invitados especiales: Palabras de apertura por parte del Sr. COARC
	9:00	9:45	Conferencia magistral 1: Logística 4.0 y 5.0 para atender los retos en zonas fronterizas por seguridad y defensa. Caso México. CONFERENCISTA: Dra. Bertha Martínez Cisneros CARGO: Profesora- Investigadora ENTIDAD: CETYS Universidad Baja California - México MODALIDAD: Presencial
	9:45	10:00	Receso
3	10:00	10:45	Conferencia magistral 2: Taxonomía de capacidades ARC  CONFERENCISTA: CN Alejandro Chaparro CARGO: Director de Planeación Estratégica de la ARC ENTIDAD: ARC MODALIDAD: Presencial
4	10:45	11:30	Conferencia magistral 3: Proceso de planeación en el sector defensa y seguridad en Colombia CONFERENCISTA: Juan Pablo Montoya CARGO: Asesor Subdirección de seguridad y defensa ENTIDAD: DNP MODALIDAD: Presencial
5	11:30	12:15	Conferencia magistral 4: Gestión de la información del conocimiento CONFERENCISTA: CF Alvaro Huelin Gan CARGO: Centro de Gestión de la información de Conocimiento de la Secreteria General de la Armada ENTIDAD: Armada de España MODALIDAD: Remota On-line
	12:30	14:00	Almuerzo (libre)

PROGRAMA GENERAL CONGRESO AUDITORIOS Y AULAS Jueves 08 de septiembre 2022							
N°	H. INICIO	H. FINAL	Sala 1: Auditorio Avella	Sala 2: Aula múltiple - Piso 2 Alfa Sextantis	Sala 3: Aula múltiple - Piso 3 Alfa Sextantis	Sala virtual: Calidad	
6	14:00	14:20	Economía circular: 2-201 La logística en la transición energética marítima	Cadena de suministro : 2-213 Retos y oportunidades de Colombia en competitividad con el uso comercial de drones en desarrollo de la 4ta revolución industrial	Logística y transporte: 2-215 Caracterización de tecnologías de electromovilidad en el sector fluvial.	Subsistema Nacional de la Calidad - "Infraestructura de la Calidad" Ponente: Ing. German Lombana	
7	14:20	14:40	Economía circular: 2-205 Contaminación cero: diseño de una pontona turística fluvial con propulsión eléctrica basada en pila de combustible de hidrógeno	Logística militar: 2-230 Determinación de las capacidades logísticas navales	Logística y transporte: 2-218 Caracterización de tecnologías de electromovilidad en el sector férreo.		
7	14:40	15:00	Economía circular: 2-210 Fortalecimiento del ecoconsumo desde las siete (7) rs en la comuna 7 de Villavicencio	Logística militar: 2-203 Diseño del sistema de propulsión eléctrico accionado por pila de combustible para el buque de instrucción ENAP	Logística y transporte: 2-219 Estudio normativo del sector férreo y fluvial		
	15:00	15:40	Receso				
9	15:40	16:00	ganaderas colombianas	Logística militar: 2-224 Diseño de la pila de combustible para la propulsión	Logística y Transporte: 2-220 Análisis de tecnologías de uso	Vigilancia Reglamentos Técnicos de calidad	

				del buque de apoyo logístico y cabotaje liviano (BALC-I)	dual incorporando tecnologías de electromovilidad disponibles en el mercado colombiano e internacional	"Vigilancia Infraestructura de la Calidad", Ponente: Ing. Pedro Pérez	
10	16:00	16:20	Economía circular: 2-216 Modelo de simulación para la determinación de impactos energéticos y ambientales	Logística militar: 2-226 Análisis del comportamiento histórico de compras de bienes y servicios en los proyectos de reparación y mantenimiento de Cotecmar en los últimos cinco años	Logística y transporte: 2-202 Diseño de un bote de práctico como eslabón crítico en la cadena logística portuaria	Resultados FURAG implementación Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), Ponente: Ing. Mirian Cubillos	
11	16:20	16:40	Economía Circular: 2-223 Análisis de impacto ambiental	Logística 4.0 y 5.0: 2-221 Análisis de incentivos económicos para propiciar la transformación tecnológica de los parques fluvial y férreo	Logística y Transporte: 2-214 Metodología para la priorización de nodos intermodales en los modos Férreo y Fluvial		
12	17:00	18:00	Recepción de Bienvenida - lanzamiento libro				

PROGRAMA GENERAL CONGRESO AUDITORIOS Y AULAS Viernes 09 de septiembre 2022			
N°	Hora Inicio	Hora Final	Auditorio
1	8:00	8:45	Conferencia magistral 5: Resultados del proyecto ferrofluvial 4.0 CONFERENCISTA: CN Miguel Garnica CARGO: ARC ENTIDAD: ARC MODALIDAD: Presencial
2	8:45	9:30	Conferencia magistral 6: Tema de Logística fluvial desde el impacto del Río de la Plata. CONFERENCISTA: Dr. Miguel Angel Risetto CARGO: Investigador UTN - presidente de la AACINI ENTIDAD: Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial- Argentina MODALIDAD: Presencial
	9:30	10:00	Receso
3	10:00	10:45	Seguridad y desarrollo de aplicaciones en la cadena de suministros desde una perspectiva de la agencia ESG (Environmental Social & Governance) y la reestructuración de la matriz energética para la utilización de fuentes más limpias. CONFERENCISTA: CA Marcelo Gurgel de Souza CARGO: Director general de material de la Marina de Brasil ENTIDAD: Marina de Brasil MODALIDAD: Remota On-line
4	10:45	11:30	Logística de medios operativos navales, aeronavales y de Infantería de marina, desde una perspectiva operacional en un escenario de cambio energético CONFERENCISTA: CN Roberto Amaral Godoy CARGO: Comando de operaciones navales ENTIDAD: Marina de Brasil MODALIDAD: Remota On-line
5	11:30	12:15	Conferencia magistral 9: CONFERENCISTA: CN William Pedroza CARGO: Director Intereses Marítimos y Fluviales ENTIDAD: ARC MODALIDAD: Presencial
	12:30	14:00	ALMUERZO (LIBRE)

PROGRAMA GENERAL CONGRESO AUDITORIOS Y AULAS Viernes 09 de septiembre 2022					
N°	Hora Inicio	Hora Final	Sala 1: Auditorio Avella	Sala 2: Aula múltiple - Piso 3 Alfa Sextantis	Sala Virtual: Calidad
6	14:00	14:20	Planeación y prospectiva: 2-217 Metodología para la identificación de escenarios del proyecto FerroFluvial 4.0	Cadena de Suministro : VC 2-209 Modelo de negocio de biofabrica en argentina.	Energía Renovables Unidades de Mar "Eficiencia Energética en los Buques de Guerra" Ponente: CC. Jaime Calpa
7	14:20	14:40	Planeación y prospectiva: 2-208 El proceso de planeación en el sector defensa y seguridad en Colombia (2011-2021)	Cadena de Suministro : VC 2-228 Diseño de una Cadena de Suministros de Ciclo Cerrado con el trinomio Calidad Total - Productividad y -E-Business: Para la creación de valor en una plaza de mercado	
8	14:40	15:00	Logística 4.0 y 5.0: 2-229 Logística 5.0	Docencia, extensión e investigación: VC 2-227 Implementación de realidad aumentada, como estrategia didáctica para el programa académico en la tecnología de logística militar de la "EMSUB"	
	15:00	15:40	Receso		
9	15:40	16:00	Docencia, extensión e investigación: VC 2-225 El saber ser referido a los administradores de	Economía Circular: VC 2-204 Elaboración de un estudio técnico económico, para el aprovechamiento de	Proceso Certificador en la Norma Técnica de anticorrupción (ISO 37001) para el MDN, Ponente: Ing. Roberto

			las cadenas de suministros	las zonas de parqueo de la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" ENAP a través de cubiertas solares.	Parra
10	16:00	16:20	Economía Circular: VC 2-212 La logística inversa y aplicación en empresa industrial peruana	Logística militar: VC 2-207 Aplicación del power bi en para el planeamiento operacional en la armada de Colombia: caso Fuerza Naval del Pacífico	Normalización en el Ministerio de Defensa "Estandarización Materiales Sector Defensa" Ponente: Ing. Mario García
11	16:20	16:40		Logística y Transporte: VC 2-211 Modelo de Simulación Industrial para carga y descarga de desechos ambientales basado en camiones.	
12	17:00	17:30	Clausura Congreso		

PONENCIA

LA LOGÍSTICA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA MARÍTIMA

Área temática: economía circular, logística inversa y logística verde

José María Riola, PhD*
Miguel Andrés Garnica, PhD**
Carlos Hernán Fajardo-Toro, PhD***

Resumen

Como dijo Bob Dylan “los tiempos están cambiando”, y sin duda se avecinan tiempos de cambio en la propulsión de los buques. La Organización Marítima Internacional tiene el objetivo de restringir las emisiones de los gases, y en particular los de efecto invernadero. En Europa se habla ya de la “descarbonización total” de los sistemas de propulsión de los buques. Aunque el gas natural licuado (GNL) fue una primera solución, no es suficiente con las nuevas restricciones, por lo que los candidatos a combustibles marinos del futuro son el e-metano, e-biometano, metanol, etanol, amoníaco, e-diésel y bio-diésel. La transición energética implica sustituir los combustibles de origen fósil por combustibles neutros en carbono producidos con energía renovable. Estos e-combustibles necesitan crear nuevas redes logísticas basadas fundamentalmente en la disponibilidad de captar cantidades masivas de hidrógeno verde o azul. Los fabricantes de motores ya están dando los primeros pasos con el metanol, el amoníaco y algún tímido avance con las pilas de combustible de hidrógeno, todos muy lejos de considerarse una cadena logística sólida. Este artículo pretende realizar una visión logística de dicho cambio.

Palabras clave:

Logística, e-combustible, descarbonización, propulsión, hidrógeno.

Abstract

As Bob Dylan said, “times are a-changing”, and no doubt times of change are coming in ship propulsion. The International Maritime Organization has the objective of restricting gas emissions, and in particular those of the greenhouse effect. In Europe there is already talk of the “total decarbonisation” of ship propulsion systems. Although liquefied natural gas (LNG) was a first solution, it is not enough with the new restrictions, so the candidates for marine fuels of the future are e-methane, e-biomethane, methanol, ethanol, ammonia, e-diesel and bio-diesel. The energy transition involves replacing fossil fuels with carbon-neutral fuels produced with renewable energy. These e-fuels need to create new logistics networks based fundamentally on the availability of capturing massive amounts of green or blue hydrogen. Engine manufacturers are already taking the first steps with methanol, ammonia and some timid progress with hydrogen fuel cells, all of which are far from being considered a solid logistics chain. This article aims to make a logistical view of this change.

Keywords:

Logistics, e-Fuels, decarbonization, propulsion, hydrogen.

* Escuela Naval “Almirante Padilla”. E-mail: chema.riola@rga-psi.es

** Escuela Naval “Almirante Padilla”. E-mail: Miguel.garnica@armada.mil.co

*** Escuela Naval “Almirante Padilla”. E-mail: Cfajardo.toro.academico@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los buques han ido cambiando por el surgimiento de diversas tecnologías disruptivas, el paso de la vela al vapor o de la madera al acero, son ejemplos de ello y de la idiosincrasia de los astilleros de su permanente necesidad de adaptarse a los nuevos tiempos. Imaginemos al director de un astillero lleno de carpinteros cuando le dijeron que el siguiente buque se construiría con acero... Solo hay un precedente de un cambio radical de combustible comparable al que se avecina, y este ocurrió cuando se pasó de quemar carbón a los combustibles del petróleo en la primera mitad del siglo XX, un cambio que no fue sencillo ni rápido. Es fácil intuir la dificultad de la aceptación de un nuevo combustible y el enorme esfuerzo logístico necesario.

Al comienzo de este siglo ya estábamos muy preocupados por las consecuencias medioambientales de los combustibles fósiles y el tema estrella en los congresos del sector naval era el uso del gas natural licuado (GNL) (López, 2012), que se presentaba como el combustible marino capaz de reducir las emisiones de gases los contaminantes, siguiendo las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI). La Comisión Europea propuso una directiva (CE, 2014) para que en el año 2020 se pudiese suministrar GNL en todos los puertos de la Unión Europea. La cifra del consumo de energía anual mundial es impresionante (Gutiérrez, 2021), con un número en torno a 6×10^{20} Julios. La tabla 1 presenta los datos de las previsiones de consumo hasta el año 2050 en unidades de 10^{18} Julios por año.

Tabla 1. Previsión consumo hasta el año 2050 en unidades de 10^{18} Julios por año. Fuente: DNV-GL (2018).

Fuente	2019	2030	2040	2050
Eólica	5	20	42	81
Solar	4	25	54	85
Hidroeléctrica	15	22	25	26
Bioenergía	54	61	67	73
Geotérmica	3	5	4	4
Nuclear	29	30	28	27
Gas natural	155	160	157	139
Petróleo	173	164	133	94
Carbón	158	131	95	61
Total	596	617	605	590

A día de hoy, el tema crítico ya no son los gases contaminantes, a los que tanto trabajo dedicamos la década pasada principalmente con la reducción del azufre, sino el efecto de los gases de efecto invernadero (GEI), de los que la OMI ha acordado su reducción en un 50 % para el año 2050. Y como si esto no fuera un gran reto, Europa ya habla para ese año de la “descarbonización total”, es decir, la eliminación completa de todas las emisiones GEI (Pulido et al., 2015). Esto requiere cambios drásticos en todas las industrias; y la naval está comprometida con este propósito (Sánchez et al., 2020).

Aunque el transporte marítimo es mucho más limpio que los transportes por carretera, avión o ferrocarril, el sector naval debe hacer importantes esfuerzos para reducir sus emisiones. El año pasado, aproximadamente un 50 % del crudo y un 13 % del gas natural se transportó por mar, con unas cifras de 1.850 y 340 millones de toneladas de petróleo y de gas natural. Si hablamos del consumo anual propio de la flota mercante, el sector marítimo consume alrededor de un 7 % de la demanda mundial de petróleo y de un 0,3 % del gas natural (Gutiérrez, 2021).

Se necesitan medidas a escala global para estabilizar la temperatura de la superficie terrestre, ya que necesitamos evitar daños irreversibles en el medioambiente. Según el informe de Naciones Unidas de 2019, las emisiones mundiales de gases GEI han aumentado un 1,4 % anualmente durante la última década (ONU, 2019). Si no se toman medidas drásticas, esta cifra podría duplicarse en 2050. En junio de 2021, la OMI adoptó medidas para reducir la intensidad de carbono de todos los barcos con base en el cálculo del Índice de Eficiencia Energética de Buques Existentes (EEXI) y los barcos de más de 5.000 GT establecerán su indicador de intensidad de carbono operacional anual (CII), clasificando su eficiencia energética en la escala A, B, C, D, E, animando a las administraciones, nacionales y portuarias a ofrecer incentivos a los buques calificados como A o B, y a elaborar planes de acción correctiva si es calificado como D o E durante tres años consecutivos.

Por lo tanto, la transición a un futuro con bajas emisiones de carbono y emisiones limpias desafía a la industria marítima a encontrar soluciones que sean tanto comercial como técnicamente viables y seguras. En abril de 2018, la OMI acordó un objetivo preliminar destinado a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del transporte marítimo en un mínimo del 40 % por tonelada de carga-milla para 2030 (y para lograr una reducción del 70 % para 2050), y una reducción del 50 % en emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) para 2050, en comparación con los niveles de 2008.

La logística del petróleo y gas está asegurada por la flota mercante (figura 1) mundial, compuesta por casi 20.000 buques (Gutiérrez & López, 2021), de los que aproximadamente la mitad son de gran tamaño para transportar crudo desde los productores a las refinerías y el resto, de menor tamaño, desde las refinerías a los usuarios locales y cabotaje. Parece que ante los drásticos cambios del consumo que se avecina, se irán achataando estos buques de forma natural, dado que la mayoría habrán terminado su vida útil antes de 2050. Algunos intentarán sobrevivir con base en transformaciones que les permitan transportar los combustibles sintéticos o los biocombustibles (Yugo & Soler, 2021). Su suerte dependerá de qué tipo de combustible verde termine por dominar el mercado: si son los combustibles líquidos se aprovecharán bastantes; si son gaseosos, casi todos desaparecerán.



Figura 1. Maniobra con petrolero en Coveñas. Fuente: El Universal.

De cara a los próximos proyectos de ingeniería naval, los buques a diseñar deberán adaptarse al obligado cambio de combustible (DNV-GL, 2018) por otro no contaminante y al tipo de carga que deberán llevar para evitar su obsolescencia anticipadamente. Basándonos en las hipótesis de la OMI de la reducción de emisiones en un 50 % hasta el año 2050 respecto al 2008, tendremos que en el sector marino (Gutiérrez, 2021) el consumo de combustibles líquidos de origen fósil bajará en torno a unos 25 millones de toneladas anuales, el GNL seguirá aumentando hasta el 2035, para empezar a descender desde ese año, los biocombustibles serán marginales en la mar, orientándose para usos terrestres y aeronáuticos y a partir de 2035 despegará al uso de los combustibles verdes, hasta llegar a alcanzar los 200 millones de toneladas en 2050.

Hemos aprendido con la introducción del GNL (figura 2), que el principal problema logístico para su internalización no fueron las dificultades tecnológicas para desarrollar e instalar los sistemas a bordo, sino el alto costo de las infraestructuras de suministro. Es importante considerar que no habrá una única solución energética, sino que podrá depender de las características de cada zona y tipo de tráfico. Manteniendo la idea de optimizar la capacidad de combustible que cabe a bordo y por ello, el dato crítico es la mayor densidad energética.



Figura 2. Buque GNL. Fuente: LogiNews.

Actualmente, la mayoría de los buques se propulsan con motores diésel, con lo que llamamos “gasoil marino”, lo que agrupa a los combustibles pesados, normales (HFO y MDO) y los ligeros para embarcaciones menores. La realidad para su adopción en el mundo marítimo, es que estos combustibles se transportan fácilmente a presión atmosférica y a temperatura ambiente, su logística está consolidada, son fáciles de trasegar por tubería, como el ejemplo de la figura 3, aunque los más pesados necesitan ser calentados para su bombeo. El ser productos en estado líquido les proporciona un buen aprovechamiento del volumen sin penalizaciones sobre la estabilidad.



Figura 3. Oleoducto central. Fuente: El Universal.

Estos productos se suministran a través de una red mundial de refinerías, como la de la figura 4, que obtienen sus combustibles del crudo. El punto débil es que su combustión emite unos 3,2 kilos de CO₂ por cada kilo de combustible (Gutiérrez, 2022). La OMI estima que los buques expulsan más de 1.000 millones de toneladas de CO₂ anuales, aproximadamente un 3 % del total mundial. Para su optimización logística, los puertos disponen de depósitos, gabarras, barcazas o buques de menor tamaño que trasladan el combustible a mar abierto. Si bien el mercado mundial es muy activo y maduro (EITI, 2016), ha superado la obligada necesidad de proveer líquidos con menor azufre, ahora se enfrenta a un cambio radical.



Figura 4. Refinería de Barrancabermeja. Fuente: La República.

2. GAS NATURAL

El gas natural es principalmente metano de origen fósil y está llamado a ser un combustible de transición. Fue la solución para reducir las emisiones de CO₂, pero no es suficiente. Abordo, se lleva comprimido o licuado a presión atmosférica y baja temperatura (-163°C). Los tanques se llevan en cubierta (figura 5) si hay estabilidad suficiente, o bajo ella, lo que resta espacio para carga y pasaje, y además se deben tener en cuenta los aislamientos y el equipo de regasificación, entre muchos otros elementos adicionales.

Figura 5. Estación de gas. Fuente: RIN.



El gas se caracteriza por ser muy inflamable, por lo que su uso precisa medidas de seguridad específicas (Smil, 2021). El gas natural tiene un futuro incierto porque lo que ahora se consume es de origen fósil y no elimina las emisiones de GEI, solo se reducen, y aunque parecía la alternativa perfecta frente al carbón y los destilados, está fuera de los objetivos para el 2050 (IMO, 2020). Y dado que la utilización del gas natural en la industria, generación eléctrica y edificios podría ser sustituida poco a poco por electricidad renovable, se espera que su consumo disminuya un 10 % para dicho año. La red internacional de gas formada por estaciones de licuefacción, buques e infraestructuras que lo reciben y

regasifican, se encuentra actualmente con una fuerte demanda desde China, sin embargo, al no esperarse un crecimiento de consumo en los próximos años, se esperan pocas inversiones, aparte de la sustitución de los buques gaseros obsoletos.

3. BIOCOMBUSTIBLES

Un biocombustible o biocarburante es una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Son combustibles líquidos que se producen a partir de materias primas renovables; se fabrican con residuos de la agricultura, ganadería, trabajos forestales de limpieza y mantenimiento, industria agroalimentaria o de la fracción orgánica de los desechos que generan nuestras ciudades. Deriva de la biomasa (figura 6), materia orgánica originada de la fotosíntesis (UPME, 2009) y se utiliza habitualmente; por ejemplo, nuestra gasolina posee un 5 % de etanol y el gasoil un 7 % de biodiésel, ambos se obtienen de residuos vegetales o animales. Los biocombustibles son compatibles con los actuales motores marinos con pequeñas modificaciones, de manera que se constituyen en una solución que no implican grandes cambios en los barcos. Los problemas de su aplicación son, por un lado, su costo y, por otro, el contenido ecológico porque para su fabricación se requiere aportaciones de energía que neutralizan mucho del valor calorífico generado.

Adicionalmente, está el problema de la disponibilidad de la materia prima, porque para sustituir las aproximadamente 350 millones de toneladas de combustible quemados en los buques, se necesitarían casi 1.000 millones de hectáreas de cultivo de soja o palma, y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) expone que no hay tierra suficiente en el mundo para producirlas sin reducir el cultivo de alimentos, algo totalmente fuera de lugar. Debido a esto, los biocombustibles son una buena opción, pero muy limitada, que solo ofrecerá soluciones puntuales.

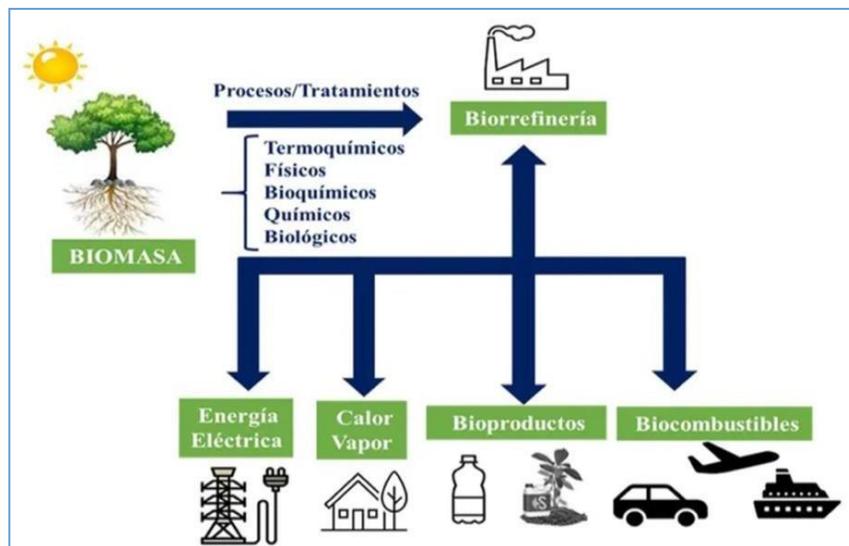


Figura 6. Aprovechamiento de la biomasa. Fuente: Tajuelo.

4. ELECTROCOMBUSTIBLES

Los combustibles sintéticos son los combustibles fabricados artificialmente en procesos alimentados por energías renovables: e-metano, e-metanol, etc. La idea es producir hidrógeno verde (figura 7) por electrólisis mediante energía renovable, se captura CO_2 de la atmósfera, y también con energía renovable, se mezcla en el proceso industrial llamado *metanación* para obtener el e-metano, un gas limpio que se quema sin producir CO_2 .

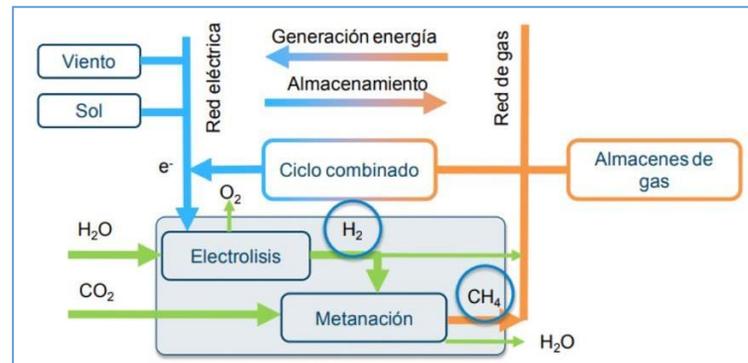


Figura 7. Proceso de metanación. Fuente: UPV.

El e-metano tiene cero emisiones y cuenta con una logística existente. Para su transporte líquido se puede convertir en e-metanol. La dificultad es que consume mucha electricidad, con 1 MW se producen unos 400 kg de hidrógeno al día. Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la producción mundial de electricidad está ligeramente por debajo de los 30.000 TWh, y si asumimos que debe ser producida 100 % renovable para fabricar e-metano (figura 8), el sector marítimo debería usar casi un tercio del total de la capacidad de generación eléctrica mundial, realmente inviable para 2050.

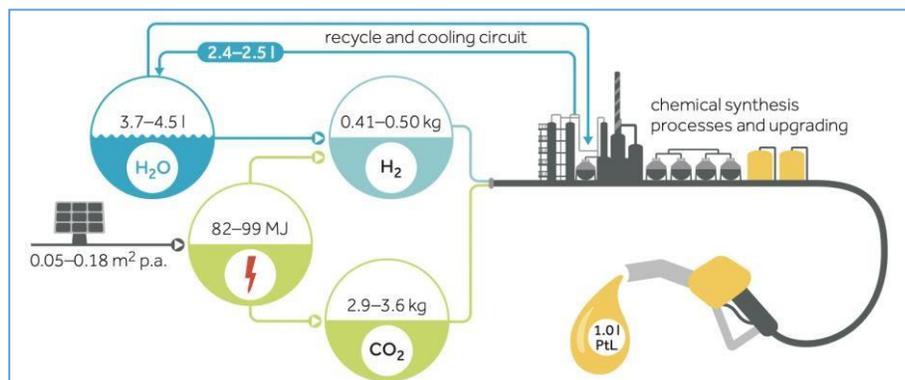


Figura 8. Producción de e-fuels. Fuente: Shell.

5. AMONIACO

El amoniaco posee un poder calorífico mucho menor que el de los combustibles fósiles, y por lo tanto, ocupa abordo más volumen, condicionando el diseño y la eficiencia de los buques. Pero si se usa como vector de hidrógeno a bordo ofrece importantes ventajas volumétricas, ya que es un gas con un punto de ebullición a -33°C . Su toxicidad es alta, por lo que las fugas y los accidentes son habituales, normalmente relacionados con los equipos de frío de los buques de pesca, por lo que se acabóprohibiendo este gas abordo. El regreso del amoniaco a las cámaras de máquinas (figura 9) significa una necesidad de mejorar las normativas de seguridad. Y ofrece la ventaja de ser un proceso plenamente industrializado (OCI, 2018), basado en el método Haber-Bosch que usa como materias primas el hidrógeno y el nitrógeno del aire.



Figura 9. Transporte marítimo con amoniaco. Fuente: puentedemandando.com

Respecto a su logística, existe una red global de distribución del amoniaco por su uso generalizado en la producción de fertilizantes. Los fabricantes de motores diésel marinos han anunciado que los primeros motores preparados para quemar amoniaco de uso comercial estarán listos en 2023. Para que el amoniaco sea un combustible ecológico (Carlier, 2022) hay que usar en su fabricación hidrógeno sin emisiones de CO_2 . Para ser una alternativa, su costo debería reducirse a un tercio del actual. El hidrógeno que se usa para hacer amoniaco se produce con gas natural de origen fósil que emite CO_2 , esto lo descalifica como combustible renovable. Es importante entender que la ubicación óptima puede no ser el sitio donde se genera electricidad, sino donde se va a consumir el amoniaco, debido a que es más fácil y económico transportar la electricidad a larga distancia que amoniaco.

6. HIDRÓGENO

La mayoría del hidrógeno se produce mediante el reformado catalítico de gas natural o de hidrocarburos que emite grandes cantidades de CO_2 , produciendo “hidrógeno gris” no aceptable para la transición energética. Pero si se captura el carbono, el proceso se denomina “hidrógeno azul” renovable. Y se llama “hidrógeno verde” si se obtiene por electrólisis del agua mediante electricidad

renovable. El hidrógeno renovable es la base para producir los combustibles de la transición energética: e-metano, e-metanol, amoniaco, etc. Su elevado poder calorífico, combustión limpia, baja toxicidad y ausencia total de CO₂, lo hacen un combustible ideal (MTERD, 2020). Hay varias categorías de hidrógeno con idénticas propiedades físicas y químicas; la diferencia radica en el procedimiento de obtención (figura 10).



Figura 10. Tipos de hidrógeno. Fuente: UPM.

Para que sea competitivo en el mercado, el costo del hidrógeno verde debe bajar a una tercera parte (Sano, 2009). Su transporte sería similar al del gas natural, con la característica diferencial de que su licuefacción se produce a una temperatura muy baja, -253°C, menor que los -163°C necesarios para el GNL. Es poco denso por lo que ocupa mucho espacio. Y debido a que es muy inflamable requiere que los tanques vayan en cubierta, lo que afecta a su estabilidad y costo. Para usarlo, hay que calentarlo y regasificarlo, perdiendo parte de su poder calorífico.



Figura 11. Propulsión basada en H₂. Fuente: Havtyard.

Es posible llevar hidrógeno (figura 11) pero no en estado puro, sino en forma de compuesto químico más fácil de transportar, para extraerlo luego mediante un reformado (Aguer & Miranda, 2014). Estees, por ejemplo, el sistema adoptado por algunos submarinos conocidos como la serie de submarinos españoles S-80 o el alemán 212, que llevan a bordo bioetanol o biometanol y de estos productos se extrae mediante reformado el hidrógeno que necesitan las pilas de combustible para su propulsión. Así, los e-combustibles que se fabrican del hidrógeno podrían transportarse líquidos a temperatura ambiente o ligeramente refrigerado. Otra alternativa es que las pilas de combustible generen electricidad para que los motores eléctricos propulsen el barco, en este caso es imprescindible alimentar las pilas con nitrógeno puro por lo que, si llevamos a bordo vectores de hidrógeno, será preciso extraer el hidrógeno mediante reformado.

Como ejemplo de que los diseños actuales ya contemplan la propulsión basada en hidrógeno, en la figura 12 vemos un render del Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano (BALC-L) diseñado por COTECMAR y ENAP.



Figura 12. Buque de apoyo logístico y cabotaje liviano. Fuente: Cotecmar.

Resumiendo, la presión medioambiental por el cambio del combustible en el planeta se irá incrementando progresivamente obligando a fuertes inversiones en el negocio marítimo (figura 13). Los combustibles que liderarán la transición energética tendrán que hacerlo mediante la obtención inicial de hidrógeno verde. Más tarde se podrá transformar en otros vectores más sencillos de transportarlo y después usarlos en motores o utilizar el hidrógeno en las pilas de combustible. La decisión entre motores o celdas de combustible, entre usar hidrógeno directamente o usar los vectores óptimos para el transporte, dependerá principalmente de factores económicos: costo y logística (Gupta, 2014). Aunque en general, el rendimiento de la transformación energética del combustible a la hélice, favorecerá a las celdas de combustible (Gutiérrez, 2022).



Figura 13. Negocio marítimo. Fuente: La Razón.

La actual producción mundial de hidrógeno se estima en unos 80 millones de toneladas para su uso en procesos industriales. Las expectativas prevén una producción de 270 millones de toneladas a mitad de siglo, de los que unos 50 millones serían para combustible, más o menos la mitad de las necesidades de energía del sector marítimo, lo que sería su consolidación como el pilar principal de la transición energética (Riola, 2021). Los gasoductos de hidrógeno serán posibles si la producción y consumo se sitúan en el mismo continente. Podría circular por los gasoductos actuales de GNL, pero con menor capacidad al tener una densidad energética aproximadamente de un tercio. Desde el punto de vista logístico, es más probable que se envíe electricidad a las zonas de consumo y allí se fabrique el hidrógeno para su uso como gas hasta el consumidor final. Como alternativa, se puede convertir el hidrógeno en amoníaco o e-metanol y transportarlo para recuperarlo en destino.

7. CONCLUSIONES

- El sector marítimo está comprometido con descarbonizar su actividad, consciente de que es una pieza clave en el entramado del transporte internacional, ya que no menos del 90 % de las mercancías se mueven en los barcos. Hay que innovar en los buques, combustibles, rutas y puertos para minimizar su huella de CO₂.
- La cadena logística de suministro de combustibles para buques cubre los puertos de todo el mundo. Petroleras, refinerías, puertos, navieras y empresas privadas se encargan de su extracción, transporte, almacenamiento y distribución. Desde hace años hay suministro de GNL, apoyado por las entidades públicas por motivos ecológicos y sus ventajas económicas.
- La transición energética implica sustituir los combustibles de origen fósil, GNL incluido, por combustibles neutros en carbono producidos con energía renovable. Estos futuros combustibles marinos serían el e-metano, e-biometano, metanol, etanol, amoníaco, e-diésel y bio-diésel. Los e-combustibles necesitan redes logísticas basadas en la disponibilidad de enormes cantidades de hidrógeno verde o azul. Se han dado los primeros pasos con metanol, amoníaco y algún tímido avance con el hidrógeno, muy lejos todavía de una cadena logística.

- Parecería que estamos ante un círculo vicioso: mientras no haya disponibilidad logística de e-combustibles en grandes cantidades en los puertos y mientras se pueda conseguir combustibles de origen fósil, no se extenderá el uso de e-combustibles en los buques. Esta dinámica se romperá poco a poco por presiones de las normativas OMI y el mercado. Se cuestiona si en los 28 años que quedan para el 2050 se alcance a completar el proceso; desde luego, se necesitará mucho esfuerzo, ingeniería y dinero para lograrlo.

REFERENCIAS

- Aguer, M., & Miranda, A. (2014). *El hidrógeno: fundamento de un futuro equilibrado. Una introducción al estudio del hidrógeno como vector energético*. Bogotá: Ediciones Díaz de Santos.
- Carlier, M. (2022). Descarbonización del transporte marítimo ¿qué papel para el amoniac? *Revista de Ingeniería Naval*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales.
- CE. (2014). Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos del 22 de octubre de 2014. Bruselas.
- DNV-GL. (2018). *Alternative fuels and technologies for greener shipping*. Det Norske Veritas – Germanischer Lloyds.
- EITI. (2016). *Perfiles del crudo. Iniciativa para la transparencia de las industrias extractivas*. Gobierno de Colombia. <http://www.eiticolombia.gov.co>
- Gupta, R.B. (2014). *Hydorgen fuel. Production, transport and storage*. Boca Ratón: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Gutiérrez, R. (2021). La transición energética en buques. *Revista de Ingeniería Naval*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales.
- Gutiérrez, R. (2022). ¿Motores o pilas de combustible? *Revista de Ingeniería Naval*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales.
- Gutiérrez, R., & López, R. (2021). Seis preguntas sobre la descarbonización del sector marítimo. *Revista de Ingeniería Naval*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales.
- IMO. (2020). *Fourth Greenhouse Gas Study*. Organización Marítima Internacional. www.imo.org/en/OurWork/Environment/
- López, E. (2012). *El gas natural licuado*. www.petrotecnica.com.ar
- MTERD. (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- OCI. (2018). Presentation on the use of green hydrogen in ammonia production. Workshop on green hydrogen opportunities in industrial processes. Bruselas: EC Joint Research Centre. <https://ec.europa.eu/jrc/en/science-update/green-hydrogen>

- ONU. (2019). *Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Grupo Consultivo de Expertos. Organización de Naciones Unidas.
- Pulido, A.D., Jiménez, R., Turriago, J.D., & Mendoza, J.E. (2015). *Inventario nacional de los gases de efecto invernadero*, 3ª Comunicación nacional del cambio climático. Bogotá: IDEAM-PUND.
- Riola, J.M. (2021). *La Sabana lidera proyecto de implementación de un modelo energético basado en hidrógeno en Colombia*. Universidad de La Sabana. <https://www.unisabana.edu.co>
- Sánchez, R.J., Barleta, E., & Sánchez, S. (2020). Hacia la descontaminación del transporte marítimo del comercio internacional: metodología y estimación de las emisiones de CO₂. *Boletín FAL*, 373, CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45075>.
- Sano, H. (2009). *Ocean transportation of hydrogen. Energy carriers and conversion systems*. Otha: Tokyo.
- Smil, V. (2021). *La transición energética y el gas natural*. Madrid: Fundación Naturgy.
- UPME. (2009). *Biocombustibles en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética. <https://www.upme.gov.co>
- Yugo, M., & Soler, A. (2021). A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030–2050). <http://www.concawe.eu>

PONENCIAS

DISEÑO DE UN BOTE DE PRÁCTICO COMO ESLABÓN CRÍTICO EN LA CADENA LOGÍSTICA PORTUARIA

Área temática: desarrollo de proyectos portuarios

José David Muñoz*
José María Riola, PhD**

Resumen

El practicaje es un servicio logístico que se brinda a los buques para facilitar el ingreso y salida en un puerto específico. El puerto de Cartagena de Indias es estratégico en el mar Caribe al estar ubicado cerca al canal de Panamá y frente al cruce de las principales rutas marítimas del comercio global. El alto tráfico marítimo de buques mercantes requiere un servicio de piloto práctico para la entrada y la salida al puerto, este servicio debe estar acompañado de un transporte para movilizar al piloto hacia el punto de embarque en el buque. Por eso COTECMAR ha visto la necesidad de tener un diseño propio de este tipo de buques que cumpla todas las normativas nacionales e internacionales establecidas, basándose en la sociedad de clasificación Bureau Veritas y que permita autoadrizarse por sí solo en caso de volcamiento con la alta velocidad que maneja de 27 nudos para su aproximación al punto autorizado para realizar las maniobras. Este trabajo presenta regresiones numéricas, cálculos estructurales, cálculos estabilidad, diseño de propulsión y generación, disposición general, comportamiento en la mar y análisis de costos.

Palabras clave:

Logística, ingeniería naval, diseño, practicaje, autoadrizable.

Abstract

Pilotage is a logistics service provided to ships to facilitate entry and exit at a specific port. The port of Cartagena de Indias is strategic in the Caribbean Sea, as it is located near the Panama Canal and in front of the crossroads of the main maritime routes of global trade. The high maritime traffic of merchant ships requires a practical pilot service for entry and exit to the port, this service must be accompanied by a transport to mobilize the pilot to the point of embarkation on the ship. Therefore, COTECMAR has seen the need to have its own design for this type of vessel that complies with all established national and international regulations, based on the classification society Bureau Veritas, and that allows it to self-right in case of capsizing with the high speed of 27 knots for its approach to the authorized point to carry out the maneuvers. This work presents numerical regressions, structural calculations, stability calculations, propulsion and generation design, general layout, behavior at sea and cost analysis.

Keywords:

Logistic, naval engineering, design, pilotage, self-righting.

* Escuela Naval "Almirante Padilla". E-mail: josedavidmunozortega@gmail.com

** Escuela Naval "Almirante Padilla". E-mail: chema.riola@rga-psi.es

1. INTRODUCCIÓN

Este documento trata del diseño de una embarcación para pilotos prácticos en el puerto de Cartagena de Indias (APC, 2002), centrándose en la importancia del transporte para la movilidad de los pilotos prácticos desde el muelle (Ibáñez, 2015; Pareja, s.f.), que se disponga por el piloto hacia el punto de embarque al buque mercante (figura 1), brindando seguridad integral marítima en la asistencia de los buques que requieran el servicio logístico para ingresar al puerto (Bautista, 2016). El diseño de las embarcaciones es un arte que implica considerar todas las variables según el tipo de misión y función requeridos para la embarcación. El diseño de un bote práctico no inundable de eslora de 9 m con velocidad de 27 nudos (85 % MCR) se estudió con base en datos de diferentes embarcaciones similares al buque requerido y, posteriormente, se realizó un estudio estadístico con regresiones para obtener las dimensiones principales; con dichas dimensiones se generaron las formas del casco.

Una vez se generaron las formas, se obtuvieron las características hidrostáticas por medio del programa Maxsurf Modeller (Bentley, 2018), los valores de resistencia al avance con Maxsurf Resistance, que permitió realizar una predicción de potencia para escoger el sistema de propulsión y generación más indicado, un sistema de gobierno acorde, un análisis estructural capaz de soportar las condiciones de carga que dispone el buque, un análisis de estabilidad que incluyó el *Self-righting* para el autoadrizamiento de la embarcación, análisis del comportamiento en la mar y un análisis económico y viabilidad del proyecto, basándose en la sociedad de clasificación Bureau Veritas (2002, 2018) y las normas internacionales y nacionales pertinentes.



Figura 1. Piloto práctico subiendo abordo. Fuente: AMURA.

2. DIMENSIONAMIENTO

Las dimensiones del diseño del buque base preliminar se tomaron del buque KRVE 58 (figura 2), el cual posee las características que se plantearon al inicio del diseño, siendo un *crewtender* de aluminio probado, para el transporte de tripulantes, pilotos y personal. Con casco en V profundo y cintón reforzado, cubierta principal cerrada y puente de gobierno cerrado. Este concepto probado de

tripulación ya hace años de servicio confiable en el puerto de Róterdam, los barcos se utilizan para transportar pilotos y personal con un promedio de 4.000 horas al año por barco. Esta lancha neumática ha sido diseñada para las duras condiciones de los puertos de Róterdam y es a prueba de soldados (KRVE & Habbeke, 2008).



Figura 2. KRVE. Fuente: Vesselfinder.

Para el dimensionamiento (Birmingham, 2004; Larson & Eliasson, 2000) se seleccionaron diferentes botes prácticos alrededor del mundo por medio de la revista *Small Significant Ships*, obteniéndose las principales características dimensionales por regresiones con el fin de arrojar los valores con los cuales se basa el proyecto, comprobando si el resultado final de los parámetros del barco está dentro de los rangos establecidos. Sin embargo, el arte del diseño da posibilidad de ir cambiando los datos dependiendo de las necesidades requeridas a lo largo del proyecto, para obtener un diseño final óptimo, tomando como eslora total inicial (LOA) del buque proyecto de 9 m. El diseño de formas se obtuvo mediante la base de datos de la tabla 1 la cual posee buques con características similares que se proyectaron. Se estimaron distintas regresiones con el fin obtener unos cálculos con valores significativos de las dimensiones principales de la embarcación.

Tabla 1. Base de datos

Embarcación	Δ (tn)	LT (m)	LFL (m)	Lpp (m)	B (m)	T (m)	Potencia (kW)	Vel. (kn)	Fn	CB
ARCTURUS	-	10,54	9,11	8,82	3,55	-	352,8	26	1,44	0,507
CANOPUS	-	11,00	9,51	9,21	3,9	-	352,8	25	1,35	0,508
ALTAIR	-	10,60	9,4	8,87	3,50	1,1	320,65	20	1,10	0,509
SEAWARD NELSON 35	-	9,00	7,78	7,53	4,00	-	-	25	1,50	0,507
KRVE 58	-	10,50	7,8	8,79	3,10	0,7	455,00	32	1,77	0,506
KRVE 61	-	10,60	9,16	8,87	3,94	0,6	485,00	28	1,54	0,507
WAVE RANGER	2,5	8,30	7,18	6,95	2,70	0,5	234,90	32	1,99	0,506
BELGIAN FLC	-	8,00	6,92	6,7	2,80	0,6	235,20	28	1,78	0,506
ALNMARITEC	-	8,35	7,22	6,99	2,75	0,6	231,53	25	1,55	0,507
GHANA PILOT	-	9,50	7,8	3,10	0,90	-	368,00	42	3,92	0,505

Embarcación	Δ (tn)	LT (m)	LFL (m)	Lpp (m)	B (m)	T (m)	Potencia (kW)	Vel. (kn)	Fn	CB
DALMARI	2,84	8,33	-	-	2,24	-	-	-	-	-
TECNILAN I	3,00	9,76	-	-	3,00	-	-	-	-	-
DPA RAFT FASTLAUNCHC	3,00	8,20	7,09	6,86	3,00	0,6	235,00	28	1,76	0,507

Fuente: elaboración propia.

Para obtener la manga del proyecto se utilizó una gráfica de dispersión con líneas suavizadas con los valores de eslora total (L_T) y la manga (B) de los buques de la base de datos. En la figura 3 se muestra la recta que más es similar a la relación L_T/B . EL valor de R^2 es el ajuste a la recta con los valores ingresados. El valor de R^2 se ajustó con el fin de tener mayor precisión quitando los buques que más se alejaban a la línea de tendencia, evitando así desajustes en el índice. Con este mismo procedimiento y una manga de 2,89 m, se calcularon las dimensiones.

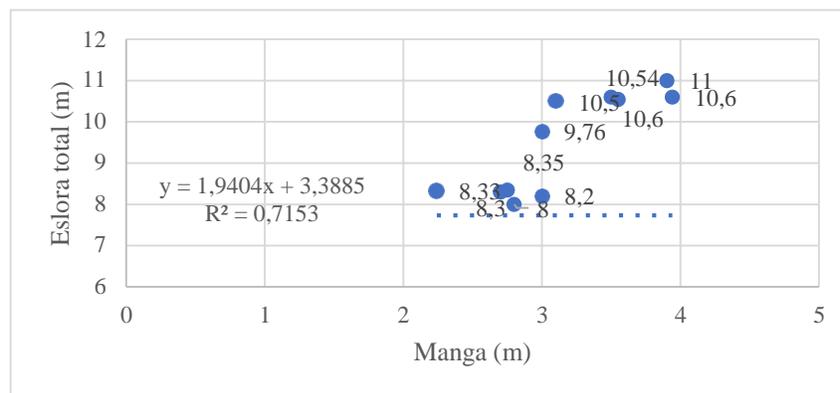


Figura 3. Eslora vs. Manga. Fuente: elaboración propia.

Para obtener el calado se utilizó el mismo método por medio de regresiones de la manga (B) y calado (T) como se evidencia en la figura 4. Asimismo, para verificar el valor obtenido se realizó una segunda regresión con los valores de eslora total (L_T) y manga (B), obteniendo un valor de calado de 0,692 m.

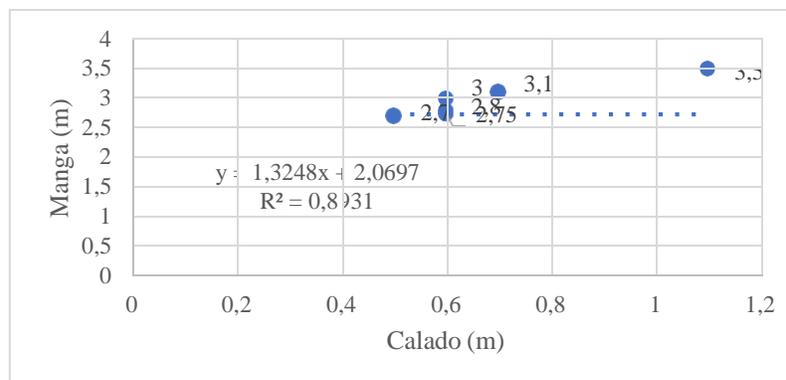


Figura 4. Manga vs Calado. Fuente: elaboración propia.

Para realizar la estimación del coeficiente de bloque se realizó una media aritmética con todos los valores en la ecuación (1).

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N C_{Bi}}{N} = 0.5075 \approx 0.51 \quad (1)$$

Una vez obtenido el desplazamiento del buque se realizó el cálculo para obtener el peso muerto y peso en rosca. El peso en rosca se define como todo los pesos del buque ya terminado su construcción y listo para navegar, excluyendo así la carga, pasaje, pertrecho, consumos y tripulación; pero incluyendo fluidos en aparatos y tuberías. El peso restante es el peso muerto o la diferencia entre el desplazamiento de una línea de carga o calado determinado y el desplazamiento del buque en rosca (Olivella, 1994). Dentro del peso muerto estará el combustible Marine Diesel Oil (MDO), cuyo peso y volumen que se estiman con las ecuaciones (2) y (3), que con el peso del lubricante, ecuación (4), y tripulación obtenemos el peso muerto, ecuación (5), y con este el peso rosca, ecuación (6).

$$\text{Peso del Combustible (P}_{DO}) = \frac{\text{Horas de uso} \cdot C_e \cdot BHP \cdot MCR \cdot 1,1}{1000} = 0,55 \text{ ton} \quad (2)$$

$$\text{Volumen del Combustible (V}_{DO}) = \frac{P_{DO}}{\rho_{DO}} = 0,62 \text{ m}^3 \quad (3)$$

$$\text{Peso Lubricante (P}_{LO}) = 0.04 \cdot P_{DO} = 22,1 \text{ Kg} \quad (4)$$

$$PM = P_{\text{Consumos}} + P_{\text{pas.trip}} = 1,18 \text{ ton} \quad (5)$$

$$PR = \Delta - PM = 7,725 - 1,18 = 6,54 \text{ ton} \quad (6)$$

Con base en estos datos, se obtiene la potencia motor principal, $BHP = 455 \text{ kW}$, su consumo específico: $C_e = 175,63 \text{ g/kW}$, y la autonomía de 200 millas con un funcionamiento del motor al 85 % MCR según parámetros trazados para el proyecto y un margen del 15 %. Para la cantidad de agua dulce para el sistema de refrigeración de los equipos de abordaje, se considera en esta fase inicial como 100L. Respecto a los víveres, se escoge el valor de 5 Kg por persona y día. Al tratar de un buque el cual no va a operar más de un día fuera del puerto se tomó el peso de 80Kg por persona, con seis tripulantes se obtiene un peso total de 480 Kg.

3. FORMAS

Para obtener las formas del casco apropiadas (González, 1991) se tuvieron en cuenta las especificaciones y necesidades para la operación, requiriendo unas formas que faciliten el planeo (Marín, s.f.). Las embarcaciones de planeo poseen unos cascos los cuales permiten la elevación del buque por encima de la superficie libre del agua, generando así una sustentación dinámica y disminuyendo la resistencia por formación de olas. Con el fin de lograr este efecto es necesario tener

un casco con cuadernas en forma de V, unos longitudinales rectos, poco inclinados en su proa y una popa de espejo que evite formas convexas excesivas fomentando una separación limpia y clara de flujos de agua, obteniendo así la embarcación con más volumen en la popa, causando lo contrario a una succión creada por el flujo. Estas características ayudarán a superar la primera cresta de resistencia predominando la de formación de olas. Cuando el buque empiece a navegar en un estado de planeo la resistencia por fricción aumentará siendo la mayor parte de la resistencia al avance, por eso es necesario limitar la superficie mojada para conseguir la separación neta del flujo por medio de codillos estructurales, junquillos anti-spray y de fondo, entre otros (Rodríguez, 2012).

La generación de formas definió el modelo geométrico, respetando los coeficientes de afinamiento y formas obtenidos en el dimensionamiento. Se utilizó el programa Maxsurf Modeller, adaptando las formas para una embarcación de planeo. Se realizó una transformación paramétrica para darle los dimensionamientos especificados y definidos, basada en la selección de un casco que se adapte a las necesidades requeridas, definir las dimensiones, modificar y adaptar el resultado de la transformación paramétrica. Los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculos hidrostáticos obtenidos por Maxsurf Modeller

Parámetro	Pilotboat	Unidades
Δ	6,295	Ton
V	6,142	m ³
T	0,660	M
L _T	9,000	M
L _{WL}	8,234	M
B	2,890	M
B _{WL}	2,238	M
C _P	0,741	
C _B	0,505	
C _{wl}	0,802	
C _M	0,682	
LCB	3,222	m (desde popa)
LCF	3,458	m (desde popa)

Fuente: elaboración propia.

La curva de áreas representa la distribución de áreas de cada cuaderna en función de la eslora obteniendo a lo largo el desplazamiento. Igualmente, se puede hallar el centro de carena el cual es el centro de gravedad de la curva. La figura 5 representa la curva de áreas de la embarcación, observando que la forma de la curva corresponde a una típica de una embarcación rápida para un buen comportamiento en la mar (Riola et al., 2017) con una popa de espejo, con un cuerpo de entrada que comprende más de la mitad de la eslora y un cuerpo de salida casi inexistente.

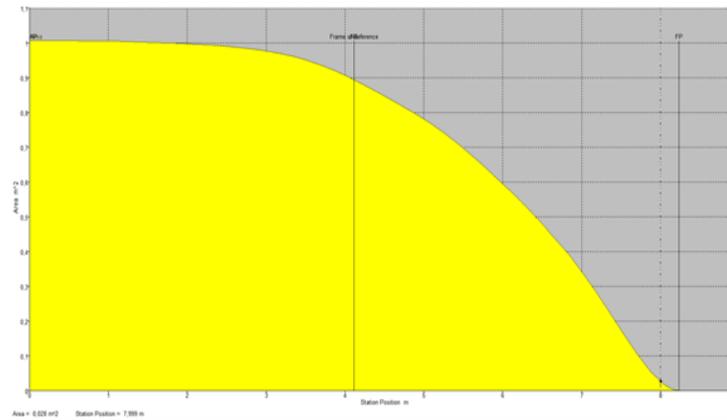


Figura 5. Curva de áreas. Fuente: elaboración propia.

Con base en estos resultados se obtiene el plano de formas que se muestra en la figura 6.

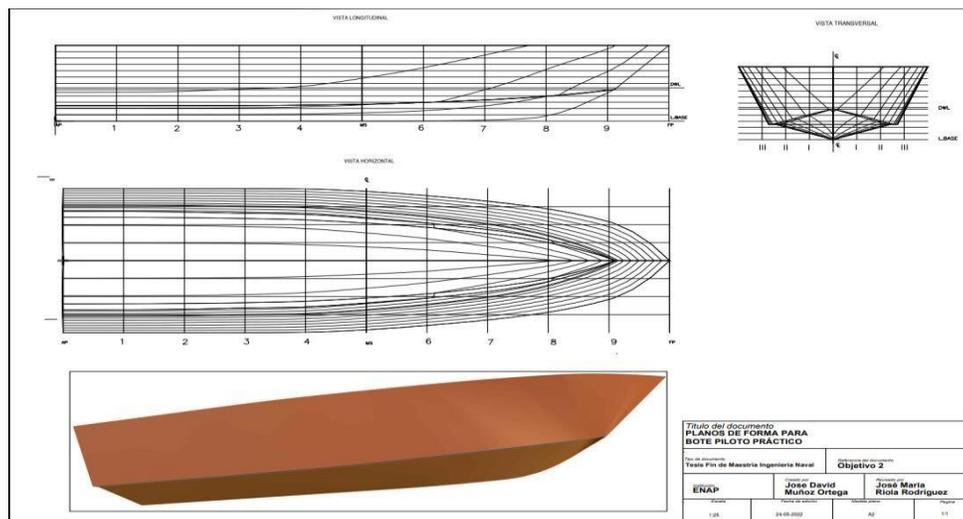


Figura 6. Plano de formas. Fuente: elaboración propia.

4. COSTOS

Uno de los aspectos más importantes para la culminación del proyecto es la viabilidad que este implica a la hora de evaluar los costos de adquisición para la construcción y operación de la embarcación (Tech, 2020), estos se deben adaptar a las facilidades del mercado. Es necesario velar por buscar soluciones técnicas para el diseño que no impliquen el aumento de costos y permitan que el armador se interese. El proyecto debe estar adecuado a los costos de construcción del astillero (OMI, s.f.), el cual es el principal beneficiario de la diferencia entre los costos de construcción y el precio acordado al cliente, y por ende, es necesario buscar un beneficio económico al armador y generar una rentabilidad adecuada. Para obtener el costo de materiales y equipos se debe tener en cuenta tres procedimientos lo cual servirá en el análisis y estimación de costo de los equipos, así:

- Formulaciones experimentales
- Datos obtenido de los fabricantes de equipos y sistemas
- Datos obtenidos de proyecto de buques similares.



Figura 7. Costo de materiales y equipos. Fuente: elaboración propia.

Y un precio desglosado por partidas y total.

Tabla 3. Costos

Equipos	Costo (€)
Materiales y equipos	400.000
Mano de obra	200.000
Costos generales	100.000
Costo total	700.000

Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

- Se ha diseñado un bote para el piloto práctico con el objetivo de generar diseño nacional para posibles construcciones en el país y dejar de importar este tipo de buques (figura 8).



Figura 8. Bote práctico. Fuente: DAMEN.

- Para una adecuada hidrodinámica, las formas de la proa se rigen a partir del comportamiento en la mar y las de popa se encarga de suministrar la suficiente sustentación para la navegación. Cuando ya ha alcanzado el planeo la resistencia al avance mayoritariamente se compondrá por la resistencia a la fricción, por lo que se ha decidido poner un codillo duro con el fin de obtener la separación del flujo, asimismo, reducir la superficie mojada drásticamente produciendo un efecto de amortiguamiento en el balance mejorando su estabilidad. También se dispuso de junquillos en el fondo de casco para la separación de flujo a los costados y reducir así la resistencia friccional, disminución de salpicaduras para evitar una navegación con menos confort y que disminuiría la velocidad aumentando la resistencia al avance en los componentes de presión y viscosidad.

REFERENCIAS

- Armada Nacional. (2017). *Plan de Desarrollo Naval 2042*. Bogotá: Armada Nacional de Colombia.
- Autoridad Portuaria de Cartagena - APC. (2002). Pliego de cláusulas de los servicios de practica en el puerto de Cartagena. Puerto de Cartagena de Indias, Colombia.
- Bautista, K. (2016). *Practica*. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de la Laguna, España. Recuperado el 23 de noviembre de 2021 de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2523/Practica.pdf;jsessionid=DC72FD3D3A4B63F4815C56B3EEBBB5DB?sequence=1>
- Bentley Systems. (2018). *User Manual Maxsurf Resistance* (V22 ed.). Maxsurf Connect.
- Birmingham, R. (2004). *Design for Stability and for Instability – Finding the Right Balance for Small Craft*. The International HISWA Symposium on Yacht Design and Yacht Construction.
- Bureau Veritas. (2002). Rules for the classification of high speed craft NR 396 UNITAS R02 E.
- Bureau Veritas. (2018). Hull Arrangement, Stability and Systems for Ships less than 500 GT NR 566 DT R02 E.
- Damen Shipyard. (s.f.). High speed Crafts. Recuperado el 9 de abril de 2022 de <https://www.damen.com/catalogue/high-speed-crafts/stan-pilots>.
- González, J. (1991). Formas de cascos de embarcaciones rápidas, N° 129, Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Madrid, España.
- Ibáñez, F. (2015). *Practica de puerto: evolución, vicisitudes y circunstancias*. Colegio oficial nacional de prácticos de puerto. Recuperado el 24 de noviembre de 2021 de https://www.practicosdepuerto.es/sites/default/files/libro_practica_de_puerto.pdf
- KRVE & Habbeke (2008, diciembre). Preliminary Building Specification for the Crewtender 10m, KRVE & Habbeke Shipyard.
- Larson, L., & Eliasson, R. (2000). *Principles of yacht design*, 2nd ed. Adlard coles nautical. London.

- Marín, J. (s.f.). Optimización de embarcaciones planeadoras fluviales para transporte de carga y pasajeros. Espol, Ecuador. Recuperado el 4 de abril de 2022 de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6058/5/OptimizLPlanead.pdf>
- Olivella, J. (1994). *Teoría del buque*, 1ª ed. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- OMI. (s.f.). *Las normas de construcción de buques avanzan hacia un nuevo modelo*. Organización Internacional Marítima. Recuperado el 5 de abril de 2022 de <https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/13-GBS-.aspx>
- Pareja, F. (s.f.). La actividad del practica en Colombia. Jornadas de seguro marítimo y portuario. Recuperado el 24 de noviembre de 2021 de <http://www.jornadasdeseguromaritimoyportuario.com/archivos/Capitan%20Fernando%20Pareja.pdf>
- Riola, J.M., Pérez, R., & Díaz, J.J. (2017). El comportamiento en la mar de los modernos buques de guerra. *Revista Ingeniería Naval*, 74-79. Recuperado el 23 de noviembre de 2021 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6516991>
- Rodríguez, R. (2012, junio). *Diseño básico, materiales y método de fabricación del casco de una embarcación de planeo*. Universidad Politécnica de Cartagena Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica Ingeniería Técnica Naval. Recuperado el 1 de junio de 2022 de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3024/pfc4410.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tech. (2020). *Ciclo de vida del proyecto naval*. Blog TECH Colombia Universidad Tecnológica. Recuperado el 9 de abril de 2022 de <https://www.techtute.com/co/ingenieria/blog/ciclo-de-vida-del-proyecto-naval>

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO ACCIONADO POR PILA DE COMBUSTIBLE PARA EL BUQUE DE INSTRUCCIÓN ENAP

Área temática: logística militar

Jonathan Barón*
Andrés Coronado**
José María Riola, PhD***

Resumen

Este artículo nace del propósito de construir un buque de formación para los alumnos de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla (ENAP) con el fin de capacitarlos en diferentes áreas de navegación y operaciones militares. Después de una primera fase de estudio de hidrodinámica y disposición general del buque, se procedió a la segunda fase que integra un sistema de propulsión eficiente y no contaminante utilizando hidrógeno como fuente de energía renovable de cara al reto actual: la transición energética. Hay una tercera fase en desarrollo con el cálculo estructural y de pesos para seguir avanzando con el proyecto. El combustible de los buques es el primer ladrillo de la logística marítima y fluvial. Actualmente, el hidrógeno es una alternativa para lograr la independencia de los combustibles fósiles en los diferentes sectores del transporte y este artículo responde a la pregunta de ¿Cómo se incorpora este tipo de tecnología al buque proyecto?, ¿Cuáles son las ventajas y desventajas?, ¿Qué factores importantes se deben calcular?, ¿Qué normatividad se debe aplicar? Se busca cautivar al lector para que se adentre en el mundo del hidrógeno y las pilas de combustible.

Palabras clave:

Hidrógeno, pila de combustible, electrolizador, energía, buques.

Abstract

This paper stems from the purpose of building a training ship for the students of the Almirante Padilla (ENAP) Naval School in order to train them in different areas of navigation and military operations. After a first phase of study of hydrodynamics and general layout of the ship, the second phase was carried out, which integrates an efficient and non-polluting propulsion system using hydrogen as a source of renewable energy in the face of the current challenge; the energy transition. There is a third phase under development with the structural calculation and weights to continue advancing with the project. Ship fuel is the first brick of maritime and river logistics. Currently, hydrogen is an alternative to achieve independence from fossil fuels in the different transport sectors and this paper answers the question: How is this type of technology incorporated into the project vessel? What are its advantages and disadvantages? What important factors must be calculated? What regulations must be applied? What is sought is to captivate the reader so that he enters the world of hydrogen and fuel cells.

Keywords:

Hydrogen, fuel cell, electrolyser, energy, ships.

* Escuela Naval “Almirante Padilla”.

** Escuela Naval “Almirante Padilla”.

*** Escuela Naval “Almirante Padilla”. E-mail: chema.riola@rga-psi.es

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la logística marítima se usa una reducida variedad de fuentes de energía para los sistemas de propulsión de los buques, la gran mayoría de las cuales proviene de combustibles fósiles, situación que está acelerando a pasos agigantados el cambio climático. Los combustibles fósiles son el petróleo, el gas natural y el carbón, es decir, son aquellos combustibles provenientes de un proceso de descomposición parcial de la materia orgánica. Se originan por un proceso de transformación que dura millones de años y el problema de su uso es que genera una gran cantidad de gases, siendo una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, ya que contribuyen a aumentar el efecto invernadero a nivel global (Saint Gobain, 2019). En peso, el 40 % del comercio marítimo consiste en combustibles fósiles en camino a ser quemados o en productos químicos derivados directamente de los combustibles fósiles (Subramanian, 2022).

La sostenibilidad se ha convertido en el objetivo principal de nuevas estrategias, mejores prácticas e innovaciones. Para la industria del transporte marítimo esto se traduce en una mayor demanda de tecnología para que los barcos puedan seguir transportando bienes con un costo medioambiental reducido. Bajo la atenta mirada del resto del mundo, se han desarrollado nuevas fuentes de energía que ayudarán a mantener la creciente necesidad de la movilidad por mar y a reducir la contaminación. Así, los buques cero emisiones tendrán que entrar a formar parte de las flotas mundiales antes de 2030 de acuerdo con la Organización Marítima Internacional (OMI) en su nuevo capítulo obligatorio sobre “eficiencia energética” anexo VI de MARPOL. Se espera que los hidrocarburos se vayan retirando paulatinamente. El sector está explorando métodos para establecer puentes generacionales entre distintos tipos de combustibles (PierNext, 2020).

Con la introducción del motor eléctrico al sistema de propulsión en los barcos, las primeras fuentes limpias de suministro de energía en ser exploradas fueron las baterías convencionales, sin embargo, estas enfrentan grandes barreras al día de hoy para su eficiente y correcta implementación, debido a la densidad de energía relativamente baja que producen tanto en términos volumétricos como gravimétricos. La eliminación de los tanques de combustible diésel, la cadena de propulsión diésel y los auxiliares asociados a ella liberan espacio, pero esto es insuficiente para la cantidad de baterías necesarias para proporcionar rangos y velocidades razonables (Wu & Bucknall, 2016). Siguiendo las conclusiones de estos investigadores habría también que agregarle el factor precio/kWh para cargar estas baterías que en algunos países es sumamente elevado debido a la dependencia de la red pública proveedora de electricidad.

Aquí entra en juego el papel del hidrógeno como alternativa sostenible. Si bien el hidrógeno abunda en el Universo no representa una fuente de energía, sino un vector energético, es decir, un portador de energía (Rojas, 2012) y para obtener este elemento en estado puro es necesario extraerlo de los

compuestos en los que se encuentra formando parte o combinado, principalmente en el agua mediante el procesos de electrólisis, los combustibles fósiles quemando, por ejemplo, carbón y la materia orgánica en forma de biomasa (JCL, 2022). Para la reducción de gases de efecto invernadero, la opción más viable para obtener este gas es el proceso de electrólisis, y aquí entra en juego el “electrolizador” que permite producir hidrógeno mediante electrólisis, capaz de separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno de las que se compone el agua usando electricidad (Iberdrola, 2022). Por otra parte, la pila de combustible, otro elemento importante dentro del sistema de propulsión ecológico, transforma de forma directa la energía química en eléctrica y su funcionamiento parte del combustible hidrógeno previamente obtenido mediante el electrolizador y del comburente oxígeno para producir agua, electricidad en forma de corriente continua y calor (CNH2, 2022).

2. SISTEMA DE PROPULSIÓN ACCIÓN POR PILA DE HIDRÓGENO

Para iniciar a desarrollar en el país la tecnología basada en hidrógeno (Riola, 2021), este proyecto busca implementar el uso de las pilas combustibles en el sistema de propulsión del buque por la capacidad de estas para producir energía CC compatible con las arquitecturas híbridas y eléctrica de un barco moderno, al igual que las baterías convencionales que producen electricidad a través del proceso electroquímico, pero con la diferencia que en las pilas el portador de energía es el hidrógeno, por lo que mientras haya hidrógeno disponible, el sistema actuará como un generador para producir electricidad, ayudando a los operadores y navieros a cumplir con los requisitos establecidos por la OMI y otros organismos para la tan deseada transición energética (Kammerer, 2021).

Para implementar las pilas de combustible al buque se requiere del electrolizador que servirá de hidrogenador estacionario en muelle el cual abastecerá los cilindros de almacenamiento que están ubicados al interior del buque para luego suministrar el hidrógeno (H_2) a las pilas y así, electroquímicamente, con el oxígeno producir electricidad (kW), suministrando corriente al motor eléctrico el cual hará girar el eje para finalmente mover las hélices. Hay que tener en cuenta que “la conversión de hidrógeno en electricidad con pilas de combustible suele ser más eficiente que como lo hacen los motores de combustión interna” (Edwards et al., 2008).

A continuación se detallan los pasos a seguir para el diseño del sistema de propulsión acción por pila de hidrógeno.

1. Cálculo de la potencia del eje (SHP) en kW para lograr la velocidad máxima propuesta de 15 nudos. Para desarrollar este objetivo se utiliza el método Holtrop y las curvas hidrostáticas donde se puede obtener la potencia efectiva (EHP) para cada rango de velocidad. Se procede a calcular la eficiencia propulsiva la cual permite conocer las pérdidas de potencia que se generan a lo largo del tren de propulsión. Por lo tanto, habiendo ya obtenido estas dos variables se puede calcular la SHP

que será igual a la potencia efectiva dividida en la eficiencia propulsiva (ecuación 1). De esta manera, se escoge el motor eléctrico más eficiente que permita entregar la SHP sin que las pérdidas en el tren de propulsión afecten el rendimiento deseado por la hélice.

$$SHP = \frac{EHP}{\eta_d} \quad (1)$$

2. Cálculo del diámetro para el eje. En este ítem se utiliza la fórmula “diseño de ejes intermedios” obtenida de la sociedad de clasificación Lloyd Register (ecuación 2).

$$d = Fk \sqrt{\frac{560 P}{R(\sigma_u + 160)}} \quad (2)$$

Siendo:

d : Diámetro mínimo del eje (mm)

F : Factor corrector $F = 95$

k : Factor corrector $k = 1$

P : Potencia en el eje (kW)

R : Velocidad (rpm)

σ_u : Resistencia a la tracción se toma el valor mayor según las reglas = $800 \frac{N}{mm^2}$

3. Cálculo del diámetro y paso de la hélice. Para calcular el diámetro y el paso correcto de la hélice se emplea el método empírico desarrollado por George Crouch, que integra las fórmulas derivadas de Dave Gerr. Dichas fórmulas evalúan el diseño de una hélice existente o propuesta. Para realizar un control preliminar de la hélice sólo se requiere información básica sobre la instalación y la embarcación, que se limita a las RPM operativas de la hélice, las RPM de la hélice al MCR, la velocidad y la potencia en el eje de la hélice al MCR. Posteriormente, se utilizan las figuras 1 y 2 para obtener los valores del diámetro y paso de la hélice.

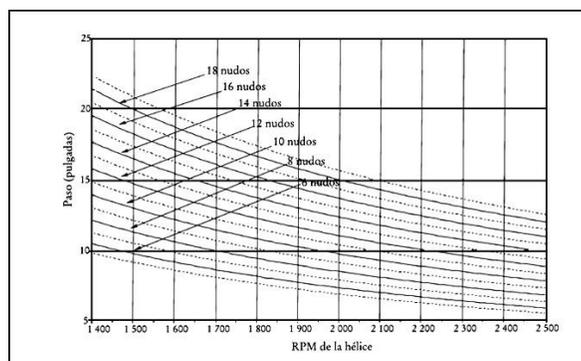


Figura 1. Paso de la hélice con respecto a las RPM y la velocidad máxima. Fuente: Crouch.

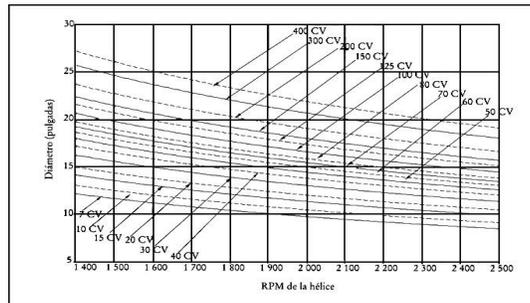


Figura 2: Diámetro de la hélice respecto a las RPM y CV del motor. Fuente: Crouch.

4. Cálculo del ángulo de la hélice. Para el ángulo de ataque de cada pala se utiliza la ecuación (3) extraída de la United States Naval Academy en su cartilla de arquitectura naval, capítulo 7 “Propulsion system”.

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{P}{2\pi r} \quad (3)$$

P : paso de la hélice

ϕ : ángulo de pitch

r : distancia radial desde el eje

5. Cálculo de la capacidad de hidrógeno en kilos. El sistema de almacenamiento requiere de la cantidad de hidrógeno capaz de mantener la unidad 8 horas de autonomía. La Marine Service Noord experta en sistemas de combustible de hidrógeno y sistemas de carga para buques cisterna de gas licuado natural (GNL) desde 1988, aporta la ecuación 4 que establece los SHP en kW, el tiempo en horas que se pretende mantener operando el buque, la eficiencia de la pila de combustible y la capacidad calórica de hidrógeno.

$$\text{cantidad H}_2 \text{ (kg)} = \frac{\text{potencia requerida (kW)} \times \text{tiempo (h)} \times 3600}{\eta_{\text{pila}} \times \text{poder calorífico (120.000 } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})} \quad (4)$$

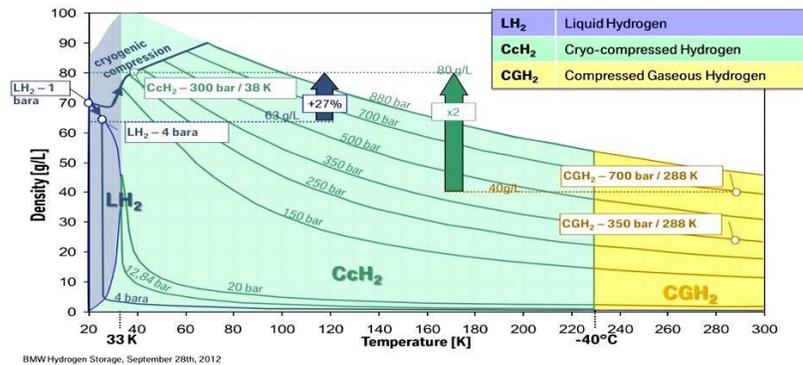


Figura 3. Diagrama densidad-temperatura del hidrógeno. Fuente: AEH.

6. Cálculo de la cantidad de cilindros para almacenar el hidrógeno. Tomando como referencia las dimensiones de los cilindros comerciales que maneja la compañía Marine Service Nord, los cuales cumplen con las normas de seguridad establecidas por el SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar). Con la altura y el diámetro de los cilindros se empleó la fórmula del cálculo del “volumen de un cilindro” con el fin de saber la capacidad volumétrica de cada cilindro comercial. Con dicho volumen se hallan las variables densidad y temperatura a partir de la presión.

En este caso, se referencian 700 bar como la presión máxima que puede soportar cada cilindro comercial tipo IV (figura 4) y con ello la masa que tendrá cada cilindro. Finalmente se concluye que la cantidad de hidrógeno dividida entre la masa de cada cilindro da como resultado el número de cilindros que se requieren para almacenar dicho hidrógeno y cumplir con la autonomía prevista (ecuación 5).

$$n^{\circ} \text{ cilindros} = \frac{\text{cantidad H}_2}{\text{masa cilindro}} \quad (5)$$

7. Prototipo de pila de combustible. Este aspecto se basa en factores como el tipo de electrolito, la temperatura de operación, el rango de potencia eléctrica generada y las ventajas que se tienen en cuanto a operatividad y mantenimiento (tabla 1). Al mismo tiempo, se fija la cantidad de módulos de pila de combustible que se necesitan para entregar la potencia eléctrica requerida por el motor y se determina la cantidad de módulos que integraran el sistema generatriz (ecuación 6).

$$n^{\circ} \text{ módulos} = \frac{SPH}{\text{potencia módulo}} \quad (6)$$

Tabla 1. Tipos de pilas de combustible y características principales

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de polímero sólido	Solución alcalina	Ácido fosfórico	Carbonatos fundidos	Óxido sólido	Membrana de polímero sólido
Temperatura operación (°C)	60 – 80	100 – 120	200 – 250	600 – 700	800 – 1000	50 – 120
Rango potencia	5 – 250 kW	5 – 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW – 2 MW	100 – 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja temperatura, arranque rápido, baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia, reacción catódica más rápida	Acepta H2 impuro	Reformado interno, cogeneración	Reformado interno, cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte portátiles residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

Fuente: CNH2 (2020).

8. Cálculo del electrolizador. La demanda de hidrógeno requiere la ratio de producción del electrolizador, mediante la cantidad de hidrógeno sobre las horas de autonomía (ecuación 7).

$$\text{Ratio producción} = \frac{\text{cantidad H2}}{n^{\circ} \text{ horas}} \quad (7)$$

9. Diseño del cuarto de máquinas. En este ítem se identifican visualmente los equipos principales que hacen parte de sistema de propulsión eléctrico como lo es el sistema de almacenamiento, los módulos de las celdas de combustible y el sistema de almacenamiento. Para su representación gráfica se empleó el software AutoCAD.

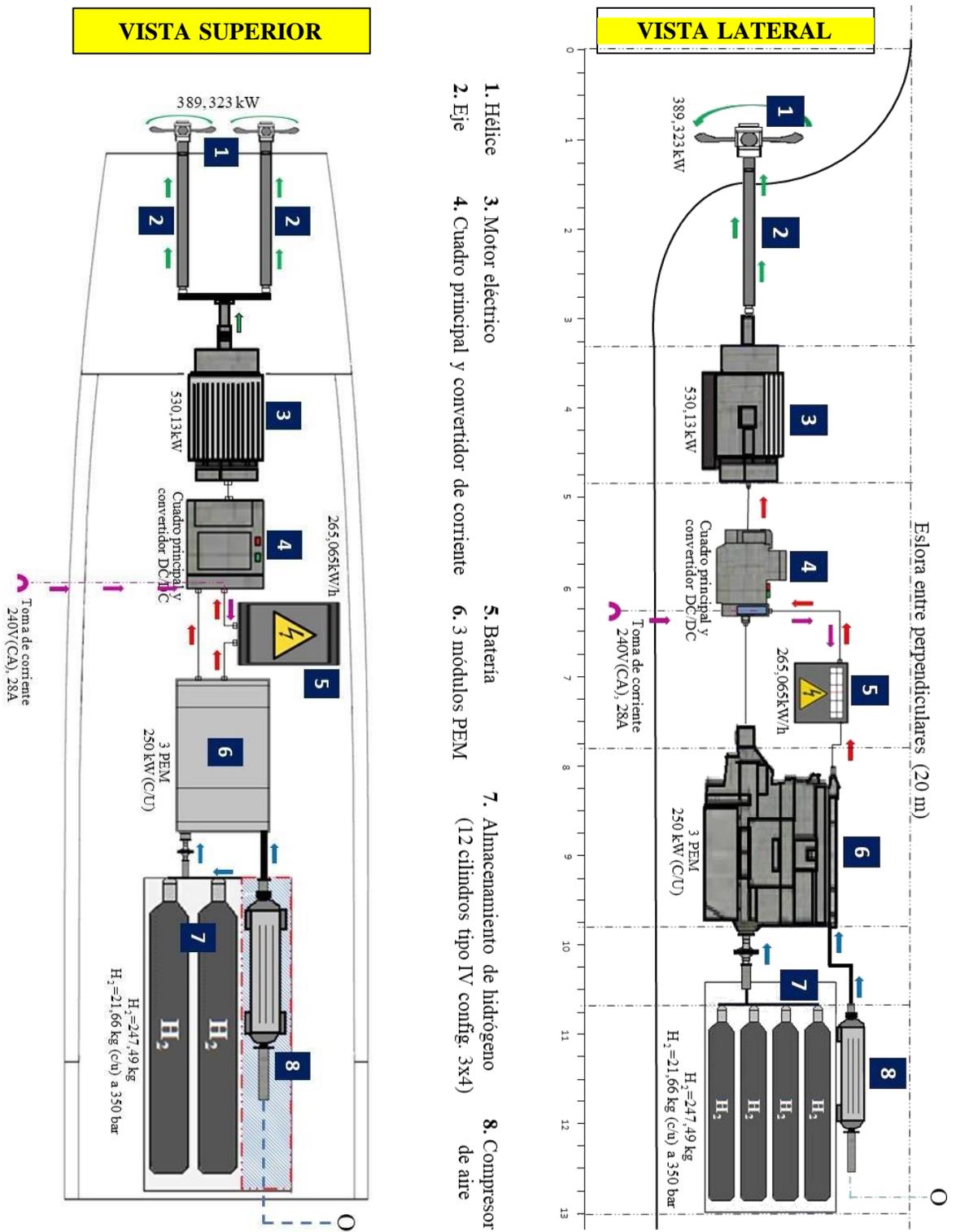


Figura 4. Diseño final del sistema de propulsión accionado por pila de combustible para el buque ENAP

Fuente: elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

- La sociedad del hidrógeno está llamando a la puerta (figura 5). Colombia debe de promover programas de I+D+i para integrar lo antes posible la logística del hidrógeno dentro de sus tecnologías.

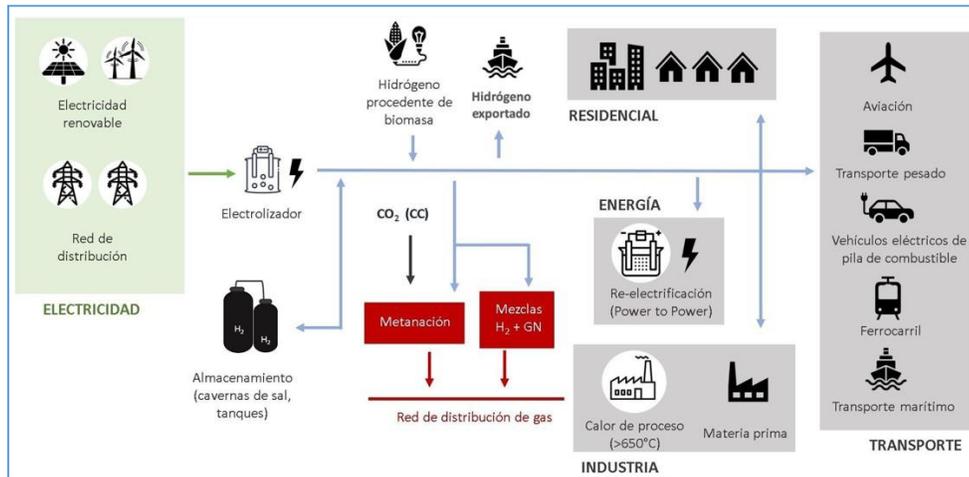


Figura 5. Sociedad del hidrógeno. Fuente: AEH.

- Se diseñó la propulsión de un buque de formación para la ENAP basado en el vector hidrógeno y una pila de combustible, como solución logística de contaminación cero.
- La potencia efectiva para desplazar el buque a una velocidad de 15 kn y romper la resistencia al avance de 50 KN es de 389,323 kW.
- Teniendo en cuenta las pérdidas a lo largo de la línea de propulsión se debe instalar un motor eléctrico con una potencia de 530,13 kW para entregar a la hélice la potencia efectiva.
- El diámetro de los dos ejes intermedios para soportar esfuerzos ejercidos por torsión debe ser mínimo de 89 mm.
- La distancia del paso de cada hélice es de 17,5 pulgadas a 1500 rpm y 15 nudos. Diámetro de la hélice: 28 pulgadas. El ángulo de inclinación de las palas de paso fijo debe ser mínimo 45°.
- Para mantener la unidad navegando 8 horas seguidas a MCR se debe tener una capacidad de hidrógeno almacenado de 247,49 kg en 12 cilindros comerciales tipo IV configuración cúbica 3x4 para mejor distribución del espacio.
- Para el sistema de propulsión eléctrico se requiere integrar tres módulos de pila de combustible tipo PEM (membrana polimérica sólida) teniendo como factor de seguridad para el flujo continuo de electricidad una pila libre como repuesto, lista para ser accionada si se requiere.

- El electrolizador estacionario en tierra debe tener una ratio de producción de 31,18 kg por hora.

REFERENCIAS

- CNH2. (2020). *Pilas de Combustible*. Centro Nacional de Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible de España. Consultado el 15 de enero de 2022. <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- CNH2. (2022). Centro Nacional de Hidrógeno. Recuperado el 28 de junio de 2022 de <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- Edwards, P.P., Kuznetsov, V.L., David, W.I., & Brandon N.P. (2008). Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. *Energy Policy*, 36(12), 4356-4362. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.036>
- Iberdrola. (2022). Iberdrola.com. Recuperado el 6 de junio de 2022 de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador#:~:text=El%20electrolizador%20es%20un%20aparato,compone%20el%20agua%20usando%20electricidad>
- JCL. (2022, 24 de febrero). Junta de Castilla y León. Obtenido de <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/como-obtener-hidrogeno.html>
- Kammerer, M. (2021, 19 de octubre). *Ballard*. Obtenido de <https://blog.ballard.com/marine-fuel-cell>
- PiernNext. (2020, 22 de mayo). PiernNext innovation by port de Barcelona. Obtenido de <https://piernext.portdebarcelona.cat/entorno/una-nueva-era-en-los-combustibles-del-transporte-maritimo/>
- Riola, J.M. (2021). La Sabana lidera proyecto de implementación de un modelo energético basado en hidrógeno en Colombia. Universidad de La Sabana. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.unisabana.edu.co>
- Rojas, L. M. (2012). Pilas de combustible y su desarrollo. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 6 de junio de 2022 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262012000100014
- Saint Gobain. (2019, 19 de febrero). Saint-Gobain Latam. Obtenido de <https://www.saint-gobain.com.co/como-disminuir-el-consumo-de-combustibles-fosiles#:~:text=El%20problema%20con%20el%20uso,a%20aumentar%20el%20efecto%20invernadero>
- Subramanian, S. (2022, 14 de enero). Quartz. Obtenido de <https://qz.com/2113243/forty-percent-of-all-shipping-cargo-consists-of-fossil-fuels/#:~:text=By%20weight%2C%2040%25%20of%20maritime,derived%20directly%20from%20fossil%20fuels>
- Wu, P., & Bucknall, R. (2016). *Marine propulsion using battery power*. Department of Mechanical Engineering, University College London, UK.

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ZONAS DE PARQUEO DE LA ESCUELA NAVAL DE CADETES “ALMIRANTE PADILLA” ENAP A TRAVÉS DE CUBIERTAS SOLARES

Área temática: energías renovables

Diego Fernando Galvis Criollo*
Mitchell Alexander Girón Palacios**

Resumen

Se desarrolló el estudio técnico y económico para el aprovechamiento de las zonas de parqueo de la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” (ENAP) a través de cubiertas solares, con el fin de salvaguardar la integridad física de los automóviles debido a las inclemencias del tiempo, mientras se aprovecha la radiación solar para convertirla en energía eléctrica. Se realizaron cálculos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, selección del inversor, paneles y cableado eléctrico, diseño estructural para la base de los paneles clasificado en dos tipos de estaciones. En lo económico se estableció una propuesta para la inversión inicial teniendo en cuenta incentivos tributarios, y un análisis de viabilidad financiera del proyecto en los software RETScreen y PV – Sol. En el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se estableció un total de 342 paneles y nueve inversores para las tres zonas de parqueo, se estipuló la implementación de 100 metros de cable de aluminio calibre 10 AWG para cada zona. Se determinó una inversión inicial de 295'260.522,7 COP incluyendo el ahorro de los incentivos tributarios, una tasa interna de retorno de 28,4 %, determinando también un retorno del capital invertido en tres años con un coeficiente de rendimiento del sistema del 73,2 %, que con su implementación se evitaría la producción de 118,2 toneladas de CO₂.

Palabras clave:

Energía renovable, electricidad, fotovoltaico, inversor, panel.

Abstract

The technical and economic study was developed for the use of the parking areas of the Naval Cadet School “Almirante Padilla” (ENAP) through solar roofs, in order to safeguard the physical integrity of the cars due to the inclement weather, while taking advantage of that radiation to convert it into electricity. Calculations were implemented for the sizing of the photovoltaic system, selection of the inverter, panels and electrical wiring, structural design for the base of the panels classified into 2 types of stations. In economic terms, a proposal was established for the initial investment taking into account tax incentives, and a financial feasibility analysis of the project in the RETScreen and PV - Sol software. In the sizing of the photovoltaic system, a total of 342 panels and 9 inverters were established for the 3 parking areas; the implementation of 100 meters of 10 AWG aluminum cable was stipulated for each area. An initial investment of 295'260,522.7 COP was determined including savings from tax incentives, an internal rate of return of 28.4 %, also determining a return on invested capital in 3 years with a coefficient of return of the system of 73.2 %, which, with its implementation, would avoid the production of 118.2 tons of CO₂.

Keywords:

Renewable energy, electricity, photovoltaic, inverter, panel.

* Facultad de Ingeniería, Universidad de Ibagué. E-mail: 2120171097@estudiantesunibague.edu.co

** Departamento de Ciencias Básicas, Escuela Naval “Almirante Padilla”. E-mail: mitchel.giron@enap.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país y en todo el mundo se realizan importantes esfuerzos para aumentar la integración de las diferentes formas de energía renovable como parte de la generación de energía eléctrica, con el objetivo de satisfacer el constante aumento de las necesidades energéticas, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. De acuerdo con la ONU (2022), los combustibles fósiles comprenden el 80 % de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial, y el sistema energético es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de dióxido de carbono. Por esto se están implementando medidas, tanto así que en la última conferencia sobre el cambio climático en Glasgow, COP26, realizada en 2021, un amplio número de países y líderes de la sociedad civil y empresas mundiales adhirieron a la Declaración de la Transición Global del Carbón a la Energía Limpia o Renovable, en la cual se comprometen a acelerar la implementación del desarrollo de energías limpias en paralelo al cierre del Carbón como combustible fósil, cuya prohibición empezará a regir en 2026 (Iberdrola, 2021).

Las energías limpias, renovables o alternativas tienen dos características importantes, son inagotables y tienen poco o nulo impacto en el medio ambiente (Terrés, 2014). Entre las energías renovables aprovechables para convertirse en energía eléctrica se encuentran la hidráulica, geotérmica, oceánica, bioenergía, eólica y solar. Con su implementación se busca abastecer la demanda energética a nivel mundial sin contaminar el medio ambiente; según la ONU, en 2019 se aumentó el 7,9 % de la producción de energía mundial con respecto a 2018, en el que se produjeron 171 gigavatios, crecimiento que fue reforzado por nuevas incorporaciones de energía solar y eólica; ahora, un tercio de la capacidad energética mundial se basa en energías renovables (Energy, 2022). En Colombia, según los datos de la Asociación Colombiana de Energía Eléctrica, la matriz de generación eléctrica del país es la sexta más limpia del mundo, ya que, el 68 % de la capacidad instalada es de fuentes renovables, liderado por centrales hidroeléctricas, parques solares y eólicos (*El Tiempo*, 2021). A nivel tributario, el gobierno colombiano en 2014 aprobó la Ley 1715, la cual tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, donde se dispone de incentivos tributarios para la implementación de estos sistemas de energía y solventar parte de sus costos iniciales (UPME, 2014). La incidencia que tiene la posición geográfica y astronómica de Colombia es muy relevante en cuanto a la disponibilidad de este recurso natural renovable; nuestro país cuenta con un potencial enorme de energía solar fotovoltaica respecto al resto del mundo, y aunque se presenten variaciones dependiendo de las regiones, en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto, tanto así que en algunas locaciones puede alcanzar los $5,5 \frac{kWh}{m^2}$ (UPME, s.f.).

2. METODOLOGÍA

La metodología para llevar a cabo el trabajo se dividió en tres fases. En la primera, se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico implementando la metodología de los nueve pasos

(Valverde, s.f.). En la segunda se dimensionó la estructura donde irán soportados los paneles en forma de cubierta, y en la tercera fase se realizó el estudio económico del sistema.

2.1. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Como primera medida se tuvo en cuenta las horas de sol promedio en Cartagena, de acuerdo con el atlas solar (IDEAM, 2021) y el espacio disponible para la instalación (Figura 1); posterior a esto, basándose en la lectura del cuarto eléctrico del Edificio Alpha Sextantis (Figura 2), se estableció el gasto energético mensual.



Figura 1. Zona de parqueo disponible. Fuente: autores.



Figura 2. Cuarto eléctrico Edificio Alpha Sextantis. Fuente: autores.

2.1.1. Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico, PGFV

Durante el funcionamiento del generador fotovoltaico se pueden presentar pérdidas explicadas por sobrecalentamiento y suciedad del panel, transmisión de corriente, conducción, entre otras; es por esto que el factor de rendimiento del sistema que se aprecia en la ecuación (1), se estima en un rango entre 0,8 y 1,0 (Soto, 2005). A criterio propio se definió en 0,8 es decir que se contempló un 20 % de pérdidas durante el funcionamiento, un porcentaje medurado que permite tener un factor de seguridad equilibrado. Este sistema está conectado a la red.

$$PGFV = \frac{E_i}{HSS_i * N_i * PR} \quad (1)$$

Donde:

$PGFV$: Potencia del generador fotovoltaico, expresada en kW

E_i : Energía mensual a suplir por el sistema, expresada en $\frac{kWh}{mes}$

HSS_i : Horas de brillo solar disponibles en la locación, expresada en h

N_i : Número de días de funcionamiento al mes

PR : Factor de rendimiento del sistema

2.1.2. Dimensionamiento del inversor

Para dimensionar la potencia necesaria del inversor en el sistema se debe tener en cuenta el factor de irradiación solar sugerido entre 0,8 y 1,0. De acuerdo con la evidencia empírica contrastada en instalación de estos sistemas (Caamaño, 2000) se estipuló un factor de 0,9 y se calculó la potencia del inversor en la

ecuación (2).

$$FDI = \frac{P_i}{PGFV} \quad (2)$$

Donde:

FDI : Factor de irradiación solar

P_i : Potencia del Inversor, expresada en kW

$PGFV$: Potencia del generador fotovoltaico, expresada en kW

2.1.3. Selección panel e inversor

De acuerdo con el espacio disponible en la zona de parqueo, y junto con la potencia expresada, se hizo la selección del panel solar e inversor respectivamente.

2.1.4. Cálculo del número máximo y mínimo de paneles en serie

Para definir la configuración en serie máxima y mínima, según las ecuaciones (3) y (4), se establecieron límites operacionales de temperatura para los módulos teniendo en cuenta valores predeterminados por el fabricante en la ficha técnica.

$$N_S < \frac{V_{Inv}^{Máx}}{V_{ca} (Módulo a -10^\circ C)} \quad (3)$$

Donde:

N_S : Número máximo de paneles en serie

$V_{Inv}^{Máx}$: Voltaje máximo del Inversor, expresado en V

$V_{ca} (Módulo a -10^\circ C)$: Voltaje de circuito abierto del Módulo a $-10^\circ C$, expresado en V

$$N_{Sm} < \frac{V_{Inv}^{Mín}}{V_{Máx} (Módulo a 70^\circ C)} \quad (4)$$

Donde:

N_{Sm} : Número mínimo de paneles en serie

$V_{Inv}^{Mín}$: Voltaje mínimo del Inversor, expresado en V

$V_{Máx} (Módulo a 70^\circ C)$: Voltaje máximo del Módulo a $70^\circ C$, expresado en V

Los límites operacionales de temperatura en los paneles se definieron bajo las expresiones de las ecuaciones (5) y (6) y los valores en ficha técnica.

$$V_{ca} (Módulo a -10^\circ C) = V_a - \frac{35^\circ C * COT}{1.000} \quad (5)$$

Donde:

$V_{ca} (Módulo a -10^\circ C)$: Voltaje de circuito abierto del Módulo a $-10^\circ C$, expresado en V

V_a : Voltaje en circuito abierto, expresado en V

COT : Coeficiente de operación térmica, expresado en $\frac{mV}{^\circ C}$

$$V_{M\acute{a}x (M\acute{o}dulo a 70^{\circ}C)} = V_{M\acute{a}x} + \frac{35^{\circ}C * COT}{1.000} \quad (6)$$

Donde:

$V_{M\acute{a}x(M\acute{o}dulo\ a\ 70^{\circ}C)}$: Voltaje máximo del Módulo a 70°C, expresado en V

$V_{M\acute{a}x}$: Voltaje en el punto máximo de potencia, expresado en V

COT : Coeficiente de operación térmica, expresado en $\frac{mV}{^{\circ}C}$

2.1.5. Cculo del número máximo de paneles en paralelo

Esta configuración está relacionada exclusivamente con valores de corriente que puede soportar el sistema, como se expresa en la ecuación (7).

$$N_P < \frac{I_{FV}}{I_{M\acute{a}x}} \quad (7)$$

Donde:

N_P : Número máximo de líneas conectadas en paralelo

I_{FV} : Corriente del Inversor, expresada en A

$I_{M\acute{a}x}$: Corriente en el punto máximo de potencia del panel, expresada en A

Bajo la expresión de la ecuación (8) se establece el valor de la corriente del inversor.

$$I_{FV} = \frac{P_{M\acute{a}x}^{Inv}}{V_{M\acute{a}x}^{Inv}} \quad (8)$$

Donde:

I_{FV} : Corriente del Inversor, expresada en A

$P_{M\acute{a}x}^{Inv}$: Potencia máxima del inversor, expresada en W

$V_{M\acute{a}x}^{Inv}$: Voltaje máximo del inversor, expresado en V

La ecuación (9) relaciona la potencia máxima del inversor.

$$P_{M\acute{a}x}^{Inv} = V_{Nom} * I_{M\acute{a}x} \quad (9)$$

Donde:

$P_{M\acute{a}x}^{Inv}$: Potencia máxima del inversor, expresada en W

V_{Nom} : Voltaje de entrada nominal del inversor, expresado en V

$I_{M\acute{a}x}$: Máxima corriente de entrada del inversor, expresada en A

2.1.6. Cculo de la Intensidad (I_T) y Tensión de Trabajo (U_T)

Para la intensidad (I_T) debe tenerse en cuenta el número establecido de líneas conectadas en paralelo y la corriente en el punto de máxima potencia del panel, como se representa en la ecuación (10). Y para la tensión de trabajo (U_T) el número establecido de paneles conectados en serie, junto con el voltaje de circuito abierto del módulo a una temperatura de -10°C, como se observa en la ecuación (11).

$$I_T = N_p * I_{Máx} \quad (10)$$

$$U_T = N_s * V_{ca} \text{ (Módulo a-10°C)} \quad (11)$$

2.1.7. Relación entre el Generador Fotovoltaico e Inversor (R_{FI})

Dicha relación es implementada para determinar la capacidad instalada y la disponible en cuanto a paneles solares, dando así una muestra del óptimo aprovechamiento de las zonas de parqueo, teniendo en cuenta la potencia del inversor y del conjunto de paneles. Ver ecuación (12).

$$R_{FI} = \frac{P_{Inv}}{P_{GD}} \quad (12)$$

Para calcular la potencia del conjunto de paneles solares se estableció la relación evidenciada en la ecuación (13).

$$P_{GD} = N_p * N_s * P_{sc} \quad (13)$$

Donde:

P_{GD} : Potencia que genera el conjunto de paneles solares, expresada en W

N_p : Número de líneas conectadas en paralelo

N_s : Número de paneles conectados en serie

P_{sc} : Potencia que puede generar el sistema en circuito abierto, expresada en W

Para determinar la potencia que puede generar el sistema en circuito abierto, con base en la ecuación (14) se relaciona el voltaje y la corriente en circuito abierto del panel (Ficha Técnica).

$$P_{sc} = V_{ca} * I_{ca} \quad (14)$$

2.1.8. Determinación del área necesaria para el montaje del sistema

Con el fin de calcular el área total necesaria para instalar el sistema se implementó la ecuación (15), la cual depende del área que ocupan los paneles A_p , el área libre entre ellos A_f y el área efectiva A_{EF} .

$$A_{Total} = A_p + A_f + A_{EF} \quad (15)$$

Para calcular el área que ocupan los paneles se tuvo en cuenta la cantidad de conectados en serie y en paralelo junto con sus dimensiones, como se observa en la ecuación (16).

$$A_p = N_p * N_s * l * a \quad (16)$$

Respecto al área libre entre paneles, se define como cierto porcentaje del A_p , el cual se encuentra entre 5 % y 10 % (Fajardo, 2019); para el diseño se definió en un 6 %. Ver ecuación (17).

$$A_f = A_p * 0,06 \quad (17)$$

Para calcular el área efectiva como se evidencia en la ecuación (18), se tuvo en cuenta la altura a la que debe estar el panel, la longitud de este, y el espaciado entre paneles para evitar el efecto sombra.

$$A_{EF} = N_s * a * d \quad (18)$$

En cuanto al distanciamiento entre paneles, con la ecuación (19) se determinó la altura a la que debe estar cada uno de ellos, esto depende de la longitud y del ángulo de inclinación, el cual varía directamente de la latitud del sitio de instalación; la latitud de Cartagena es de 10° (CIOH, 2010). Ver la Figura 3 y la tabla 1.

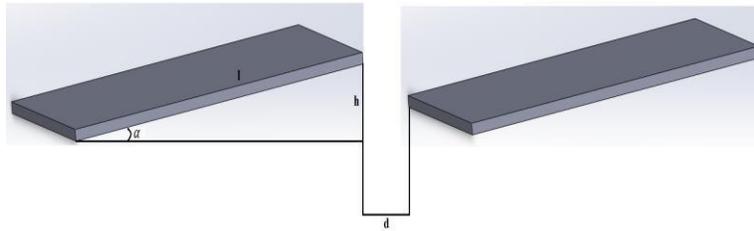


Figura 3. Inclinación, altura y espaciado entre paneles. Fuente: autores.

Tabla 1. Ángulos de inclinación

Latitud del Lugar.	Ángulo de Inclinación.
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud.
25° a 30°	Latitud más 5°.
30° a 35°	Latitud más 10°.
35° a 40°	Latitud más 15°.
40° o más.	Latitud más 20°.

Fuente: Valverde et al. (2018).

$$h = l * \text{Sen } \alpha \quad (19)$$

Una vez establecida la altura a la que debe estar el panel, se determinó el distanciamiento entre paneles para evitar el efecto sombra teniendo en cuenta la latitud, como se evidencia en la ecuación (20).

$$d = \frac{h}{\text{tang}(61^\circ - L)} \quad (20)$$

2.1.9. Dimensionamiento del cableado

Para su dimensionamiento, se determinó la corriente admisible corregida, ecuación (21), definida por la Intensidad de trabajo y factores de corrección por Temperatura F_T y número de conductores F_N .

$$I_c = F_T * F_N * I_T \quad (21)$$

Para el F_T , en Cartagena la temperatura ambiente varía entre 27° y 33° (CIOH, 2010), determinándose así el factor de corrección por temperatura de trabajo. Ver tabla 2.

Tabla 2. Factor de corrección por temperatura

Tabla 2. Corrección por temperatura del suelo	
Temperatura ambiente real [°C]	Factor de corrección
0-10	1.07
11-15	1.04
16-20	1.00
21-25	0.96
26-30	0.93
31-35	0.89
36-40	0.85
41-45	0.80
46-50	0.76

Fuente: Nexans Chile (2016).

Para el F_N se tuvo en cuenta el número de líneas conectadas en paralelo; cada una de ellas debe tener dos conductores. Ver tabla 3.

Tabla 3. Factor de Corrección por Conductores

Tabla 10. Factores de corrección por cantidad de conductores en una misma canalización	
Cantidad de conductores	Factor de corrección
4 a 6	0.8
7 a 24	0.7
25 a 42	0.6
Más de 42	0.5

Fuente: Nexans Chile (2016).

Con la corriente admisible corregida y ya definida la temperatura de trabajo de 75°C (Centelsa), se estableció el calibre y sección transversal del conductor, según la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de conductores según corriente admisible y temperatura de trabajo

Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
					Ampere		
AWG/kcmil	mm ²	mm	mm	kg/100 m	60°C	75°C	90°C
14	2,08	0,76	3,4	2,9	20	20	25
12	3,31	0,76	3,9	4,2	25	25	30
10	5,26	0,76	4,5	6,2	30	35	40
8	8,37	1,14	5,9	10,4	40	50	55

Fuente: Centelsa (2016).

Para calcular la resistencia eléctrica del material de los cables, se tuvo en cuenta la resistividad del Aluminio (Kleber, 2020), la longitud del cable con su sección transversal y el número de líneas en paralelo como se observa en la ecuación 22 (Zuluaga, 1983).

$$R_C = \frac{N_{Cond.Linea} * R_{u,Alum} * l}{A} \quad (22)$$

Para establecer el voltaje de pérdida del sistema, se relacionó la corriente admisible corregida y la resistencia eléctrica del material de los cables. Ver ecuación (23).

$$V_P = I_C * R_C \quad (23)$$

De acuerdo con el criterio establecido por la RETIE y CENTELSA (2005), el voltaje de pérdida del circuito no debe superar el 3 % del valor de la tensión de trabajo del sistema, tal como se aprecia en la ecuación (24).

$$V_P < 3\% * U_T \quad (24)$$

2.2. Diseño estructural

Referente a la colocación de los paneles, su estructura y la base en tierra, se realizaron dos diseños, que se aprecian en las figuras 4 y 5, junto con la base de las estaciones en la figura 6.



Figura 4. Configuración paneles, Estación 1
Fuente: autores.



Figura 5. Configuración paneles, Estación 2
Fuente: autores.

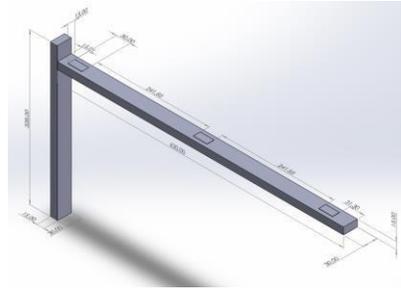


Figura 6. Base de las estaciones
Fuente: autores.

Para realizar los diferentes análisis estructurales del diseño, se calculó el peso de cada estación bajo la ecuación (25), el cual depende de la masa (Ficha Técnica), gravedad y número de ellos.

$$W_P = (m * g) * N_P \quad (25)$$

Respecto al material estructural y a la base de las estaciones en tierra, como se observa en las tablas 5 y 6, y de igual manera, como en la ecuación (25), se estableció el peso de la estructura y de la base de las estaciones, y con la sumatoria de estos se determinó el peso total.

Tabla 5. Ficha técnica acero estructural estaciones

Características.	Descripción.
Material.	Acero Estructural ASTM A500 Grado C Galvanizado.
E (Gpa).	200.
S _y (MPa).	345.
Perfil 1.	Cuadrado.
Dimensiones (mm).	50 x 50.
Peso ($\frac{kg}{m}$).	2,34
Perfil 2.	Estructural Rectangular.
Dimensiones (mm).	150 x 50.
Peso ($\frac{kg}{m}$).	11,69

Fuente: Acesco Metaltub.

Tabla 6. Ficha técnica acero estructural base estaciones

Características.	Descripción.
Material.	Acero Estructural ASTM A500 Grado C Galvanizado.
E (Gpa).	200.
S _y (MPa).	345.
Perfil .	Rectangular
Dimensiones (mm).	300 x 150.
Peso ($\frac{kg}{m}$).	54,77

Fuente: Acesco Metaltub.

2.2.1. Análisis y carga en la viga crítica

Para establecer la criticidad en la viga, bajo el método de áreas tributarias (Navarrete, 2018), se definió la carga uniformemente distribuida, según la ecuación (26).

$$q_v = \frac{Q_T * A_{Trib}}{L} \quad (26)$$

Donde:

q_v : Carga lineal que soporta la viga, expresada en $\frac{N}{m}$

Q_T : Carga total que actúa en toda la base, expresada en $\frac{N}{m^2}$

A_{Trib} : Area tributaria, expresada en m^2

L : Longitud de la viga, expresada en m

En cuanto a la carga total que actúa en toda la base, se resolvió según la expresión de la ecuación (27), la cual depende del peso total de la estación a evaluar y el área de la estructura.

$$Q_T = \frac{W_{Total}}{A_T} \quad (27)$$

Una vez obtenido el valor de la carga total, se definió el valor del área tributaria, la cual está definida por la ecuación (28) y que involucra el valor de la longitud de la viga L_m y la separación entre vigas o tubos L_c .

$$A_{Trib} = \left[\frac{L_c}{2} + \frac{L_c}{2} \right] * L_m \quad (28)$$

2.2.2. Inercia y centroide críticos

Basados en la viga crítica se realizó el cálculo de la Inercia y Centroide con las ecuaciones (29) y (30), respectivamente.

$$I_x = \frac{1}{12} * b * h^3 \quad (29)$$

$$y = \frac{h}{2} \quad (30)$$

2.2.3. Deflexión en la viga crítica

Para estimar el valor máximo de deflexión que puede experimentar la viga debido a las cargas que soporta, se implementó el método de la doble integración junto a las funciones de singularidad (Budynass, 2008), como se establece en la ecuación (31).

$$E * I * \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (31)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del material, expresado en GPa

I : Inercia de la sección de la viga, expresada en m^4

$\frac{d^2y}{dx^2}$: Segunda derivada de la deflexión respecto a la distancia

M : Ecuación del momento

2.2.4. *Factor de seguridad*

Para determinar la seguridad de las estructuras se implementó la evaluación del factor de seguridad originado por la relación entre el esfuerzo de fluencia del material y el esfuerzo máximo de trabajo (Cano, 2016), según la ecuación (32).

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma_{M\acute{a}x}} \quad (32)$$

Soportándose en los valores del momento máximo, centroide e inercia implementados anteriormente, bajo la ecuación (33) se definió el esfuerzo máximo de trabajo.

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{M_{M\acute{a}x} * C}{I} \quad (33)$$

2.2.5. *Análisis y Carga en el Apoyo Crítico*

Con el fin de evaluar factores importantes como la acción de compresibilidad que generan las fuerzas en los apoyos de las estructuras, e implementando de nuevo el método de áreas tributarias, se definió la carga máxima que pueden soportar los apoyos sin fallar, como se aprecia en la ecuación (34).

$$q_c = Q_T * A_{Trib} \quad (34)$$

2.2.6. *Pandeo crítico*

Con base en la carga máxima que pueden soportar los apoyos, se evaluó si por pandeo puede fallar la estructura, y se determinó que esta última no puede sobrepasar el valor de carga máxima (Gomez, 2011). Ver ecuación (35).

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad (35)$$

Donde:

P_{Cr} : Carga de pandeo crítico, expresada en N
 E : Módulo de elasticidad del material, expresado en GPa
 I : Inercia de la sección del apoyo crítico, expresada en m^4
 L : Longitud del apoyo crítico, expresado en m

Cabe aclarar que todos y cada uno de los cálculos y criterios establecidos para el diseño estructural se implementaron en las dos estaciones contempladas.

2.3. Propuesta económica e incentivos tributarios

Se realizó una cotización contemplando materiales, equipos, mano de obra e insumos para la instalación definiendo el valor total para implementar el proyecto. Luego, con base en la Ley 1715 de 2014 se descontaron los incentivos brindados por el gobierno para la implementación de sistemas de energías renovables, particularmente se descontó el rubro del IVA debido a que los demás no aplican para instituciones militares.

2.4. Análisis de factibilidad económica

Con la implementación del análisis del software RETScreen se definieron datos climatológicos del sitio, parámetros de instalación y financieros, y se adquirió la evaluación para la implementación del proyecto. Se estimó el cálculo del pago convencional de electricidad de la ENAP para el edificio Alpha según las tarifas (CREG, 2021) como alternativa de financiación.

3. RESULTADOS

3.1. Dimensionamiento sistema fotovoltaico

Según el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se definió que está compuesto por 114 paneles y tres inversores por parqueadero y junto a los otros dos, que producirían 1,7 veces más de la energía que necesita el Edificio Alpha Sextantis para su normal funcionamiento. Todos los resultados obtenidos según la metodología de los nueve pasos se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados metodología Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico

Característica	Valor
Gasto Energético Mensual, G_M	14.421 $\frac{kWh}{mes}$
Área Disponible, A_D	228 m^2
Potencia Generador Fotovoltaico, $PGFV$	47,74 kW
Potencia Inversor, P_i	42,97 kW
Panel Solar Yingli 72E	335 W
3 Inversores Fronius SYMO	15 kW
Voltaje Panel a $-10^\circ C$, V_{ca} (Módulo a $-10^\circ C$)	50,5 V
Número Máximo de Paneles en Serie, N_S	19 (Valor Establecido para el Diseño)

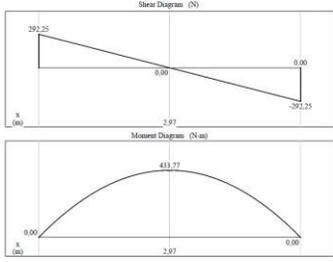
Voltaje del Panel a 70°C $V_{M\acute{a}x}$ (Módulo a 70°C)	32,9 V
Número Mínimo de Paneles en Serie, N_{Sm}	6
Potencia Máxima del Inversor, $P_{M\acute{a}x}^{Inv}$	36.000 W
Corriente del Inversor, I_{FV}	36 A
Número Máximo de Paneles Conectados en Paralelo, N_p	4 (Se establecen 2 por inversor para el Diseño)
Intensidad de Trabajo, I_T	53,34 A
Tensión de Trabajo U_T	959,5 V
Potencia del Sistema en Circuito Abierto, P_{sc}	428,21 W
Potencia del Conjunto de Paneles, P_{GD}	48.815,94 W
Relación Generador Fotovoltaico e Inversor, R_{FI}	0.92
Área que ocupan los paneles, A_p	228,1 m ²
Área libre entre paneles, A_F	13.69 m ²
Altura del Panel, h	0,52 m
Distanciamiento entre paneles, d	0,42 m
Área Efectiva, A_{EF}	8 m ²
Área Total para la instalación del Sistema, A_{Total}	249,79 m ²

Corriente Admisible Corregida, I_c	34,72 A
Calibre y Sección Transversal, Cableado.	10 AWG; 5,26 mm ²
Resistencia eléctrica material del cableado, R_C	0.65 Ω
Voltaje de Pérdida, V_P	22,57 V
$V_P < 3\% U_T$	22.57 V < 28,79V
Energía Total 3 Parquaderos	24.059,7 $\frac{kWh}{mes}$ (1.7 Veces más del G_M)
Iluminación	60 W

Fuente: elaboración propia.

3.2. Diseño estructural

En las figuras 7 a 12 se presenta la acotación y el análisis de resistencia de materiales del diseño estructural, evidenciando así los objetos a evaluar bajo criterios de resistencia de materiales.

		
<p>Figura 7. Base paneles estación 1</p>	<p>Figura 8. Sección viga crítica</p>	<p>Figura 9. Diagrama esfuerzo cortante y momento flector</p>

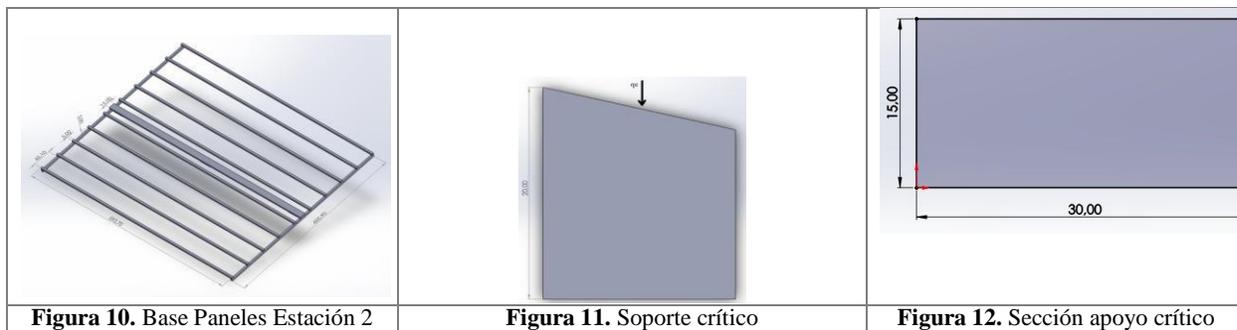


Figura 10. Base Paneles Estación 2

Figura 11. Soporte crítico

Figura 12. Sección apoyo crítico

Fuente: autores.

Respecto al análisis y resistencia de materiales, se evidencian los datos contenidos en la tabla 8.

El factor de seguridad de las Estaciones 1 y 2 obtuvo valores altos, lo cual aparte de ser un indicador de certeza y fiabilidad de que no se van a presentar fallas en su funcionamiento, también se resaltó que las propiedades mecánicas del material son superiores a las exigidas en su operatividad. Al analizar las bases de las estaciones se observó que se obtiene un valor más sobrio, puesto que estas deben soportar más cargas y criterios de funcionamiento, sin embargo, nos brinda la certeza de que no va a fallar en cuanto al diseño estructural integral se refiere.

Tabla 8. Resultados diseño estructural de estaciones de paneles y base de ellas

Característica	Valor, Estación 1	Valor, Estación 2	Valor, Base Estaciones
Peso de los paneles, W_P	2.636,93 N	3.296,16 N	-
Peso base de los paneles, W_B	1.934,44 N	2.253,02 N	-
Peso Total, $W_{Tot,1}$	4571,37 N	5.549,18 N	-
Carga Total, Q_T	$216,47 \frac{N}{m^2}$	$205,02 \frac{N}{m^2}$	-
Area Tributaria Viga Crítica, A_{Trib}	2,7 m ²	2,7 m ²	-
Carga lineal viga, q_v	$98,45 \frac{N}{m}$	$93,24 \frac{N}{m}$	-
Inercia Viga Crítica, I_x	$1,5625 \times 10^{-6} m^4$	$1,5625 \times 10^{-6} m^4$	$8,4375 \times 10^{-5} m^4$
Centroide Viga Crítica, \bar{y}	0,025 m	0,025 m	0,075 m
Deflexión Máxima, y	-1,02 mm	-0,965 mm	-1,3 cm
Momento Máximo, $M_{Máx}$	433,7 N.m	410,82 N.m	-
Esfuerzo Máximo de Trabajo, $\sigma_{Máx}$	6,94 MPa	6,57 MPa	-
Esfuerzo Fluencia Material, S_y	345 MPa	345 MPa	-
Factor de Seguridad, $F.S$	49,7	52,5	13,71
Área Tributaria Apoyo Crítico, A_{Trib}	6,39 m ²	6,39 m ²	-
Carga Máxima Apoyo Crítico, q_c	1.383,24 N	1.310,08 N	-

Inercia Apoyo Crítico, I_x	$8,4375 \times 10^{-5} \text{ m}^4$	$8,4375 \times 10^{-5} \text{ m}^4$	-
Pandeo Crítico, P_{Cr}	$832,74 \times 10^6 \text{ N}$	$832,74 \times 10^6 \text{ N}$	-

Fuente: elaboración propia.

3.3. Propuesta económica

A nivel económico, se determinó una inversión inicial de 293'052.400 pesos colombianos, en lo que respecta a materiales y equipos para la construcción de los tres parqueaderos, paneles, inversores, estructura metálica, reflectores, tubería para desagüe, cableado y protección hermética. En cuanto a la mano de obra e insumos, se estimó un valor de 45'000.000 pesos colombianos, que obedece a instalación, soldadura y demás pormenores, totalizando así la cifra de 298'092.400 pesos colombianos para la puesta en marcha. Gracias a los incentivos tributarios brindados por la Ley 1715, se logró generar un ahorro de 2'831.878 pesos colombianos, concerniente al descuento por el IVA, obteniéndose así un valor total y definitivo de 295'260.523 pesos colombianos para implementar el sistema fotovoltaico en los tres parqueaderos aledaños al edificio Alpha.

3.4. Análisis de factibilidad económica

Como alternativa de financiación del proyecto se determinó que la ENAP paga anualmente 103'571.622 pesos colombianos de acuerdo con el gasto energético del edificio Alpha. Se definió una tasa de inflación del 5,6 % (BanRep, 2022), una duración de la deuda de tres años con la alternativa de financiación previamente expuesta y una vida de 20 años del proyecto, obteniendo así una TIR del 28,4 % y un pago simple de retorno del capital a 2,8 años, respaldando a nivel económico que puede originarse con su inversión, puesto que una vez paga la inversión al tercer año, se dispone de un ahorro significativo en la exención del pago convencional de electricidad en el tiempo de vida restante del proyecto, 17 años.

En cuanto al impacto medio ambiental, es muy significativo, puesto que definiéndose el factor de emisión de GEI estipulado, el cual es de $0.662 \frac{tCO_2}{MWh}$ (UPME, 2020), se estimó una reducción en la

producción de 118,12 toneladas CO₂ anualmente, equivalentes a 21,6 vehículos livianos sin circular, 50.789 litros de gasolina no consumidos, 274,9 barriles de petróleo crudo sin consumir, o 40,8 toneladas de basura recicladas.

4. CONCLUSIONES

Se dimensionó un sistema fotovoltaico a modo de cubierta solar, en las tres zonas de parqueo aledañas al edificio Alpha Sextantis para suplir su requerimiento energético, con una generación eléctrica de 24.059,7 $\frac{kWh}{mes}$, siendo 1,7 veces la energía necesaria. Para esto se determinó una cantidad de 342 paneles solares de 335 W cada uno, con una inclinación norte a sur de 15°, complementados por tres inversores de 15 kW cada uno. De igual forma, se estableció una configuración eléctrica de dos líneas ligadas en paralelo por cada inversor; también se definió el cableado a implementar en el sistema, el cual fue clasificado como Calibre 10 AWG. Se diseñó la estructura base para los paneles, dividiéndose en dos estaciones para conservar la estética del lugar y llevar a cabalidad el cumplimiento del número total de paneles por parqueadero. Al implementar diversos análisis de resistencia estructural se determinó una deflexión máxima en la sección crítica de 1,02 milímetros para la Estación 1, y 0,965 milímetros para la Estación 2; y un Factor de Seguridad de 49,7 y 52,5 para la Estación 1 y 2 respectivamente, todo debido a las óptimas propiedades del material seleccionado. Así, las bases y sus soportes están en capacidad de resistir el peso de los paneles y su propio peso sin fallar debido a cargas compresivas y de pandeo. En la figura 13 se representa el diseño final.



Figura 13. Diseño final. Fuente: autores.

En cuanto a la base de las estaciones, se dimensionó para soportar cualquiera de las dos, supliendo la altura requerida para parqueaderos; se implementaron análisis estructurales de resistencia, los cuales determinaron una deflexión máxima para la viga horizontal de 1,3 centímetros, y un Factor de Seguridad de 13,71 para el conjunto de las dos vigas, asegurando su funcionamiento sin falla alguna. Se llevó a cabo un análisis económico para la inversión inicial del sistema fotovoltaico en los tres parqueaderos, la cual fue de 298'092.400 pesos colombianos, rubro que se disminuyó debido a la aplicación de los incentivos tributarios (Ley 1715 de 2014), para un costo total definitivo del proyecto de 295'260.523 pesos colombianos. También se realizó un análisis de factibilidad económica, mediante el cual se estableció según RETScreen que con su implementación se evita producir 118,2 toneladas de dióxido de carbono; por otro lado, se evidenció una viabilidad financiera favorable, estableciéndose una tasa interna de retorno de 28,4 % y un retorno del capital invertido en aproximadamente tres años.

REFERENCIAS

- Banco de la República - BanRep. (2022). *Inflación total y meta*. Banco de la República. Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta>
- Budynass. (2008). Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley. 1092. Obtenido de <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>
- Caamaño, E. (2000). Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica; análisis y caracterización. 200. Obtenido de https://oa.upm.es/1322/1/ESTEFANIA_CAAMANO_MARTIN.pdf
- Cano, L. (2016). Factor de Seguridad y Esfuerzo de Diseño permisible. 4. Obtenido de https://www.academia.edu/23012894/FACTOR_DE_SEGURIDAD_Y_ESFUERZO_DE_DISEÑO_PERMISIBLE_ESFUERZO_DE_TRABAJO
- Centelsa. (s.f.). Guía para el Diseño de Instalaciones Eléctricas. Obtenido de <https://www.centelsa.com/archivos/guia-diseno-instalaciones-electricas.pdf>
- Centelsa. (2005). *Regulación de tensión en instalaciones eléctricas*. CENTELSA Cables de energía y Telecomunicaciones S.A. Obtenido de <https://centelsa.com/boletines/colombia/boletin-retie-regulacion-de-tension-en-instalaciones-electricas.pdf>

- Centelsa. (2016). *Manual del Electricista*. CENTELSA Cables de energía y Telecomunicaciones S.A.
- CIOH. (2010). Climatología de los principales puertos del caribe colombiano. 11. Obtenido de <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/Climatologia%20Cartagena.pdf>
- CREG. (2021). Tarifas CREG. Obtenido de <https://www.acopi.org.co/tarifas-y-aprobacion-por-air-e-e-s-p/>
- El Tiempo. (2021). Energías limpias: retos de Colombia para producir energía sin contaminar. *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/energias-limpias-en-colombia-como-esta-el-pais-y-que-retos-tiene-620402>
- Energy, G. (2022). La energía renovable representa un tercio de la capacidad energética mundial: IRENA. *Global Energy*. Obtenido de <https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/la-energia-renovable-representa-un-tercio-de-la-capacidad-energetica-mundial-irena/>
- Fajardo, R. (2019). Dimensionamiento de una red experimental de 5 kW de salida. 79. Obtenido de <https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1843/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>
- Gomez, J. (2011). Limitaciones en el diseño de estructuras articuladas por pandeo. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16648/TFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iberdrola, C. (2021). Cumbre del Clima, Glasgow Reino Unido - Iberdrola. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contra-cambio-climatico/cop26>
- IDEAM. (2021). Promedios mensuales de brillo solar. 12. Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/6.Anexo_Promedios-mensuales-de-brillo-solar.pdf
- Kleber, M. (2020). Sistema eléctrico de respaldo para mejorar los servicios del Hospital las. 74. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58856/Maza_NKA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Navarrete, B. (2018). Areas tributarias. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=dnidZZG0iCA>
- Nexans, C. (2016). Capacidad de Corriente. Obtenido de <https://docplayer.es/30897050-De-capacidad-de-corriente.html>
- ONU (2022). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/es/cronica/articulo/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible#:~:text=Los%20combustibles%20f%C3%B3siles%20comprenden%20el,emisiones%20globales%20de%20CO2.>
- Soto, I. (2005). Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. 173. Obtenido de <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/pereda.pdf>
- Terrés, A. L. (2014). Energías Limpias. *Los grandes retos y oportunidades en la transición hacia un sector más sostenible*, 4. Obtenido de <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/631027>

- UPME. (s.f.). Atlas de Radiación solar de Colombia, 10. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
- UPME. (2014). Invierta y gane con energía. 28. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- UPME. (2020). Calculo factor de emisiones GEI. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos_normativos/Documento_Tecnico_FE_2020.pdf
- Valverde, A. (s.f.). Un método rápido para dimensionar sistemas fotovoltaicos conectados a la red.
- Valverde, A., De Souza T.M., Sobrinho P.M., Santos D.F.A. (2018). Study of power quality at the point of common coupling of a low voltage grid and a distributed generation system of 7.8kWp in a Tropical Region. *Energies*, 11(6), 1539. <https://doi.org/10.3390/en11061539>
- Zuluaga, J. (1983). Resistencia eléctrica de conductores de corriente. 28. Obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/954?locale-attribute=en>

CONTAMINACIÓN CERO: DISEÑO DE UNA PONTONA TURÍSTICA FLUVIAL CON PROPULSIÓN ELÉCTRICA BASADA EN PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

Área temática: logística verde

David Naranjo*
José María Riola, PhD**

Resumen

La logística medioambiental en las zonas fluviales del interior del país necesita de soluciones que permitan el desarrollo económico de dichas áreas basado en el turismo, sin degradar el medio ambiente. En este artículo se muestran los aspectos más relevantes del proyecto y el diseño preliminar de una embarcación tipo pontona con casco catamarán de 8 metros de eslora, con la potencia suficiente para alcanzar una velocidad de 5 nudos (85 % MCR) y su construcción en aluminio, la cual dispondrá de propulsión eléctrica basada en pila de combustible de hidrógeno, y aprovechamiento de energías renovables como placas solares en el techo y un aerogenerador. Será un buque libre de contaminación y su clasificación se hará siguiendo la normativa de la sociedad de clasificación Bureau Veritas, y todas aquellas normativas nacionales e internacionales que sean aplicables. Debido a la problemática generada por el uso cotidiano de los diferentes medios de transporte fluvial, que sin duda alguna, pueden generar un impacto irreversible en el medio ambiente, se quiere presentar este prototipo a la construcción naval nacional como una posibilidad de diseñar buques turísticos respetuosos con el medio ambiente para las zonas fluviales del país.

Palabras clave:

Ingeniería naval, pila de combustible de hidrogeno, pontona, catamarán, medio ambiente.

Abstract

Environmental logistics in river areas in the interior of the country requires solutions that allow economic development of these areas based on tourism, but that do not degrade the environment. This paper shows the most relevant aspects of the project and the preliminary design of a Pontoon-type vessel with a catamaran hull of 8 meters in length with enough power to reach a speed of 5 knots (85% MCR) and its aluminum construction, which will have electric propulsion based on a hydrogen fuel cell, and using renewable energies such as solar panels on the roof and a wind turbine. It will be a pollution-free ship and its classification will be done following the regulations of the Bureau Veritas, and all those national and international regulations that are applicable. Due to the problems generated by the daily use of different means of river transport, that without a doubt, could generate an irreversible impact on the environment, we want to present this prototype to the national shipbuilding as a possibility of designing environmentally friendly tourist vessels for the country's river areas.

Keywords:

Naval architecture, design, hydrogen fuel cell, pontoon, catamaran, environment.

* Escuela Naval "Almirante Padilla". E-mail: david.467@hotmail.com

** Escuela Naval "Almirante Padilla". E-mail: Chema.riola@rga-psi.es

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2019, el sector turístico fue el segundo generador de divisas del país y el gobierno nacional comenzó a depositar esfuerzos en el mismo, a fin de despertar el interés de empresarios e inversionistas de todo el mundo, esperando un auge de turistas en zonas fluviales del interior del país, de alto interés medioambiental (Santoro, 2019). Por lo anterior, es importante invertir en la investigación y desarrollo de productos que potencien dicho sector cuidando el medio ambiente. La pontona turística que se pretende diseñar tendrá como función principal la realización de tareas de turismo en los ríos del interior del país en zonas de alto valor ecológico, protegidas de contaminación, siendo esta una de las misiones fundamentales tanto para la Armada Nacional de Colombia como para las empresas de turismo, que buscan el cumplimiento de las normas que protegen estas zonas libres de contaminación.

El hidrógeno es un elemento abundante en la Tierra y se puede producir en cantidades que satisfagan las demandas de todos los medios de transporte. Si este se produce mediante energías renovables se convertirá en el combustible de las próximas décadas. Las pilas de combustible están asociadas directamente al hidrógeno y los sistemas propulsivos basados en ellas aparecen como la solución limpia más inmediata.



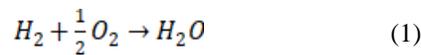
Figura 1. Zona fluvial colombiana. Fuente: autores.

Este proyecto busca implementar una solución de propulsión eléctrica basada en pila de combustible de hidrógeno, para operar en los ríos del interior del país en zonas protegidas. Para este desarrollo se deben abarcar las propiedades físicas y químicas del hidrógeno, su obtención, los sistemas de almacenamiento, el principio de funcionamiento de las pilas de combustible (Balbona, 2014) y todos los estudios pertinentes para el diseño de la embarcación, tales como, las curvas hidrostáticas, cálculo estructural y peso del buque, diseño de la generación y distribución eléctrica y diseño de propulsión y maquinaria auxiliar; dichas bases deben plasmarse de manera clara debido a la importancia de las tecnologías del hidrógeno (Valdés et al., 2018), siendo fundamental en el futuro de la producción de la

electricidad para solventar la problemática de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), y particularmente el CO₂, que tanto daño le hacen al medio ambiente.

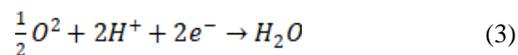
2. PILA DE COMBUSTIBLE

De acuerdo con el Centro Nacional de Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible de España, una pila de combustible (PC) es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Parte de un combustible, generalmente hidrógeno, y de un comburente, en muchos casos oxígeno, para producir agua, electricidad en forma de corriente continua y calor. En aquellas pilas de combustible que consumen hidrógeno o que contengan una membrana de intercambio de protones o Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) la corriente se genera a partir de la reacción mostrada en la ecuación (1) (Leo, 2008).



En donde el combustible es el H₂ y el O₂ serían suministrados por el aire. Se debe tener claridad en que no se trata de una reacción de combustión del H₂, sino de procesos electroquímicos que son aquellos consistentes en reacciones de óxido-reducción, en los cuales la energía liberada por una reacción espontánea es convertida en electricidad y la energía eléctrica puede ser usada para hacer que una reacción no espontánea ocurra; precisando técnicas electroquímicas y celdas de combustible microbianas (Peña et al., 2020). Las PC no son motores térmicos, por tanto, su funcionamiento no se encuentra limitado por el rendimiento de Carnot.

La ecuación (2) muestra que en los ánodos el hidrógeno se descompone según la reacción de oxidación, y en la ecuación (3) se muestra la reducción en el cátodo.



De lo anterior, dependen el tipo de aplicaciones para las pilas de combustible. Es decir, variables como las reacciones químicas, el tipo de catalizadores que requieren para que se produzca la reacción, el rango de temperaturas de operación de la celda y el combustible requerido impactan directamente en sus aplicaciones (CNH2, 2020). En la tabla 1 se aprecian los diferentes tipos de pilas de combustible.

Estas pilas de combustible presentan unos grandes resultados en factores como la alta eficiencia, estabilidad a largo plazo, flexibilidad de combustible, emisiones bajas y un relativo bajo costo. En la figura 2 se muestra un ejemplo de un esquema de una pila de combustible y en la figura 3 se evidencia que la eficiencia de la pila es poco dependiente del tamaño del sistema, lo que permite además de usos

en diferentes rangos energéticos, el diseño de sistemas de pilas de combustible modulares. Además, pueden operar a media carga manteniendo usos óptimos del combustible.

Tabla 1. Tipos de pilas de combustible y características principales

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de polímero sólido	Solución alcalina	Ácido fosfórico	Carbonatos fundidos	Óxido sólido	Membrana de polímero sólido
Temperatura operación (°C)	60 – 80	100 – 120	200 – 250	600 – 700	800 – 1000	50 – 120
Rango potencia	5 – 250 kW	5 – 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW – 2 MW	100 – 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja temperatura, arranque rápido, baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia, reacción catódica más rápida	Acepta H ₂ impuro	Reformado interno, cogeneración	Reformado interno, cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte portátiles residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

Fuente: CNH2 (2020).

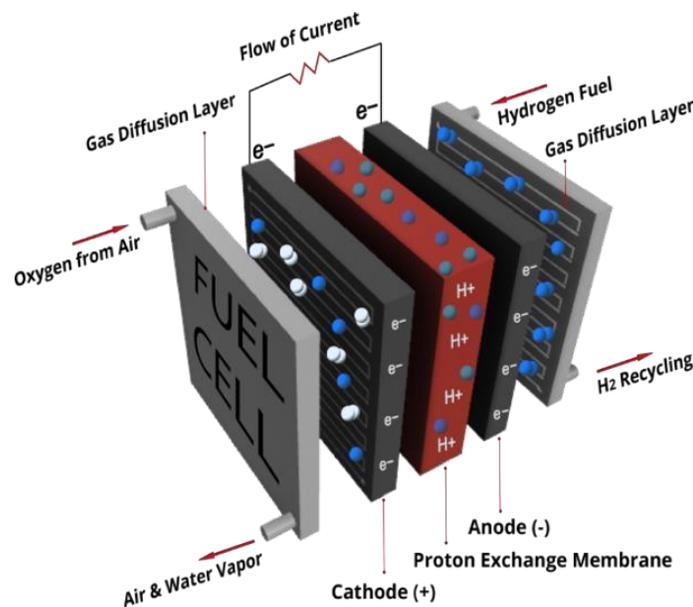


Figura 2. Esquema de una pila de combustible de óxido sólido. Fuente: Roca (2021)

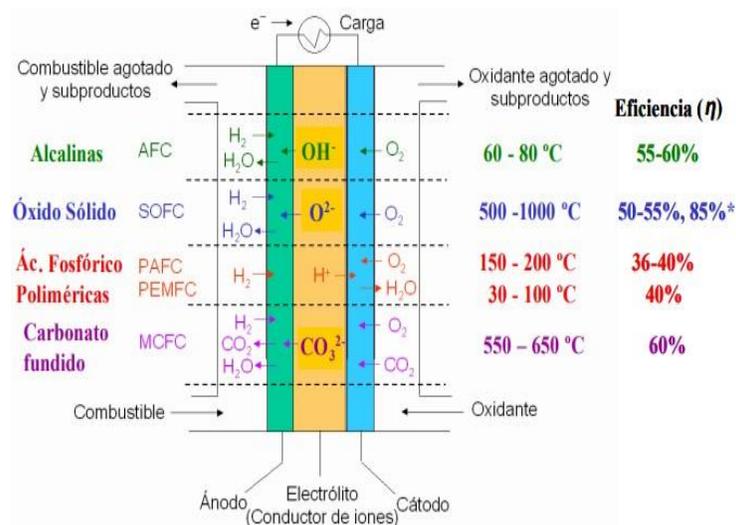


Figura 3. Tipos de pilas de combustible. Fuente: Merino (s.f.)

De acuerdo con Leo (2008), algunas de las ventajas más relevantes de las pilas de combustible es que son mucho más eficientes que los motores de combustión convencionales que utiliza la mayoría de las embarcaciones que se encuentran operando hoy en día, gracias a sus propiedades y sencillez debido a la simpleza de todos los elementos que conforman este tipo de propulsión contando con una menor cantidad de piezas móviles generando alta fiabilidad y larga duración. También se logra evidenciar una disminución considerable en sus emisiones, además de ser más silenciosas y utilizar un alto rango de combustibles.

3. DISEÑO DE LA PONTONA TURÍSTICA

El proceso de diseño del buque se realizó con el apoyo del concepto de la espiral de diseño, que tiene como objetivo servir de guía para lograr un único resultado que es la elaboración de la embarcación mediante un proceso óptimo y eficaz, siguiendo un orden establecido el cual se debe respetar para que la herramienta de diseño asegure la adecuada proporción y equilibrio del proyecto, con la cual se logró determinar su viabilidad, el presupuesto aproximado, especificaciones fundamentales como los son su vida útil, velocidad, capacidad de pasajeros y tripulantes, límites de la embarcación y tipo de propulsión (Vergara et al., 2022). También se lograron identificar y aplicar los reglamentos legales y de seguridad durante la planificación del proyecto para que la elaboración de la embarcación sea aceptada por las entidades oficiales de la nación. El objetivo es presentar un producto listo para su fase de construcción en donde se poseen todos los salvoconductos legales y planos del buque que permitirán ejecutar sin ningún impedimento el proyecto planeado tal como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Diseño 3D pontona turística. Fuente: Godfrey Pontoon Boats (2022).

Para el diseño de la embarcación se utilizó el software Maxsurf Modeler Advanced en el diseño de formas y la optimización hidrodinámica de los cascos tipo Catamarán, y los Maxsurf Resistance y Masurf Stability Advanced para los estudios de estabilidad y comportamiento en la mar y Rhinoceros en el diseño 3D del CAD, en donde se logran evidenciar los servicios de habitabilidad y comodidades. También se hizo un estudio de vigilancia tecnológica respecto a qué combustible utilizar partiendo del vector hidrógeno (Cifuentes et al., 2019), considerando que dadas las potencias que se necesitan en un paseo turístico, el hidrógeno comprimido sería el combustible utilizado. Esto simplifica posibles problemas logísticos con algún otro posible e-fuel. Debido a la necesidad de optimizar el ciclo de vida del buque (Fernández-Jove et al., 2019), para el cálculo del sistema de propulsión basado en la pila de hidrógeno se tienen en cuenta los valores de los rendimientos del sistema proporcionados por la United States Naval Academy (USNA, 2001), ver figura 5.

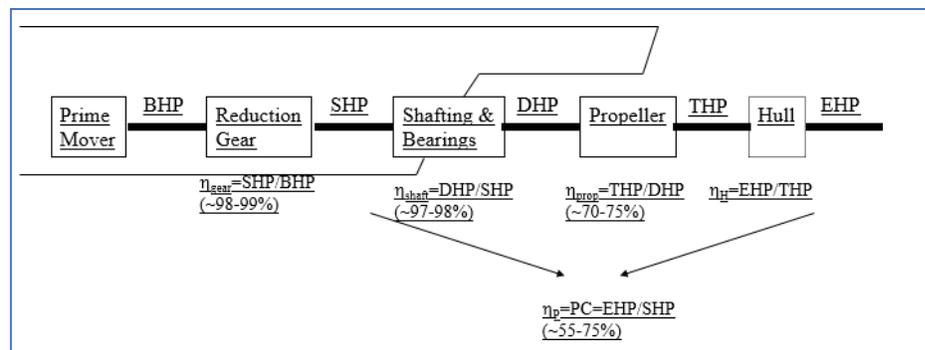


Figura 5. Rendimientos propulsivos. Fuente: USNA (2001).

4. PILA DE COMBUSTIBLE

Debido a que los modelos de pontonas que existen en Colombia optan por la propulsión basada en los motores fuera de borda de combustibles fósiles, por su considerable disminución de calado y menores costos de mantenimiento, se tuvo que analizar la implementación de la propulsión basada en pila de

combustible de hidrogeno en otro tipo de embarcaciones como la Hynova 40, probado en el Energy Observer denominado como El REXH2 (Range Extender Hydrogen) (Choloé Torterat, 2020), los proyectos de Ma-Hy-Hy (Marine Hydrogen Hybrid) (Briag Merlet, 2022), la embarcación YANMAR, Fuel Cell supported by Toyota Motor Corporation (Yanmar Holdings, 2021); en donde se recopilieron datos del funcionamiento del sistema de pila de combustible de hidrógeno y el control del tren de potencia eléctrico durante las pruebas reales en mar y zonas fluviales, evidenciando un sistema de administración de energía que coordina y controla el funcionamiento de las celdas de combustible, las baterías de iones de litio y los motores (Guerrero, 2022). Ver figura 6.

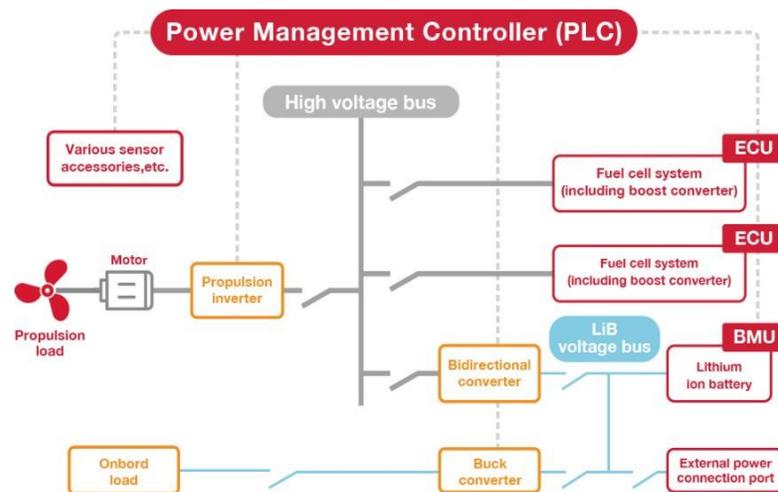


Figura 6. Sistema de administración de energía. Fuente: Yanmar Holdings (2021).

La distribución del sistema de propulsión basado en la pila de combustible de hidrógeno que se implementó en la pontona turística para navegar en ríos al interior del país en zonas protegidas de contaminación será como se muestra en la figura 7.

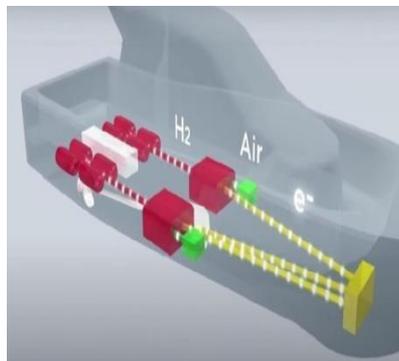


Figura 7. Distribución sistema de propulsión. Fuente: Roca (2021).

Para la selección del tipo de celda de combustible se buscó lo existente en el mercado de suministradores y se seleccionó una pila de combustible tipo PEM la cual tiene un rango de potencia de 0 a 250 KW y cuyo principal uso es la alimentación para sistemas de transporte.

La polarización (V) de la pila de combustible (Ramírez et al., 2022) es el voltaje entre los electrodos y viene dada por la ecuación (4).

$$V = N (V_{CA} - R_e D_i - P_T L_m D_i - C_1 e^{C_2 D_i}) \quad (4)$$

Donde:

N: número de células de la pila

V_{CA} : voltios en circuito abierto

R_e : resistencia específica

D_i : densidad de corriente

P_T : pendiente de Tafel o representación gráfica de una porción de línea recta de una curva de polarización

C_1 y C_2 son constantes

La potencia de la pila en watios responde a la ecuación (5), donde η es el rendimiento y S el área de la célula.

$$P = \eta V D_i S \quad (5)$$

Para determinar la cantidad de hidrogeno en kilos requerido para la pila de combustible tipo PEM en stack se aplica la ecuación (6) en la cual se debe conocer las siguientes variables propias:

$$\text{Cantidad de hidrógeno (kg)} = \frac{P \text{ (kw)} T \text{ (h)} 3.600 \text{ s}}{\eta \text{ (\%)} LHV \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \quad (6)$$

P= potencia entregada por las baterías en kw

T= tiempo de operación en horas

η = rendimiento de la pila tipo PEM $\approx 0,53$

LHV= poder calorífico inferior del hidrogeno, 120 MJ/Kg

Y para el almacenamiento del hidrógeno comprimido, en un botellón a lo largo de la eslora, se ha decidido utilizar las condiciones a 700 bares y 15°C.

6. CONCLUSIONES

- Este trabajo se enfocó en demostrar la viabilidad de que en la logística turística se pueden diseñar botes para disfrutar de la riqueza fluvial del interior del país sin producir contaminación.
- Actualmente, la economía del hidrógeno no ha alcanzado la madurez suficiente para poder competir con los combustibles fósiles. Pero es una solución que evita la acumulación del CO₂ en

la atmosfera y que contribuye a rebajar la alteración del clima en el planeta. La utilización del hidrógeno como vector energético proporciona una reducción de emisiones, sustancias contaminantes y de efecto invernadero.

- Del trabajo desarrollado se puede afirmar que el hidrógeno puede ser un combustible alternativo perfecto para este tipo de buques turísticos. Y el hecho de que su uso como vector energético reduzca las emisiones de sustancias contaminantes, con un funcionamiento silencioso, presenta una solución correcta a la propulsión en zonas de enorme valor medioambiental, como lo son las zonas fluviales del interior del país.
- El principal obstáculo para el uso del hidrógeno en los buques es que, debido a su baja densidad, ocupa un gran volumen. Debido a ello, y para que con un botellón escamoteable sea suficiente para una jornada en el agua, la velocidad del bote no debe exceder a los 5 o 6 nudos, velocidad suficiente para un bote turístico.
- El diseño de este prototipo de buque con fuentes alternativas de combustible es oportuno porque existe un atractivo nicho de mercado de buques de menos de 100 toneladas, formado principalmente por buques turísticos fluviales, transbordadores y barcas que trabajan en ríos, para los que el hidrógeno les ofrece enormes beneficios medioambientales.

REFERENCIAS

- Balbona, L. (2014). *Propulsión eléctrica marina con cero emisiones mediante el empleo de una pila de combustible de hidrógeno tipo PEM (membrana de intercambio de protones)*. Tesis de doctorado. Universidad de Oviedo. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/29126>
- Briag Merlet, P. (2022, 28 de abril). *Torqueo una sus fuerzas para ofrecer soluciones marinas integradas de pila de combustible de hidrógeno*. Obtenido de <https://www.boatindustry.es/noticias/40145/torqueo-una-sus-fuerzas-para-ofrecer-soluciones-marinas-integradas-de-pila-de-combustible-de-hidrogeno>
- Choloé Torterat, P. (2020, 6 de agosto). Obtenido de <https://www.boatsnews.es/noticias/34418/hynova-40-el-primer-barco-de-placer-de-produccion-alimentado-por-hidrogeno>
- Cifuentes, B., Bustamante, F., & Cobo, M. (2019). *Producción de H₂ apto para celdas de combustible a partir de la conexión del reformado con vapor de etanol y la oxidación preferencial de CO*. Repositorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- CNH2. (2020). *Pilas de Combustible*. Centro Nacional de Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible de España. Consultado el 15 de enero de 2022. <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- Fernández-Jove, A., McKinlay, A. & Riola, J.M. (2019). *Optimization of the Life Cycle in the warships: maintenance plan and monitoring for cost reduction*. Proceeding of the International

- Ship Design & Naval Engineering Congress and XXVI Pan-American Congress of Naval Engineering, Maritime Transportation and Port Engineering. Singapore: Springer.
- Godfrey Pontoon Boats. (2022). *Sanpan Lounge 2700 ULW*. Obtenido de <https://virtualshowcase.godfreypontoonboats.com/godfrey/sanpan/sanpan-lounge-2700-ulw>
- Guerrero, L. (2022). *Guidelines for fuel cell systems on board commercial ships*. París: Bureau Veritas.
- Leo, T. (2008). *Pilas de combustible de hidrógeno. Apuntes de Termodinámica*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Merino, R.I. (s.f). *Nuevos materiales para sofc's*. <http://fmc0.unizar.es/people/rmerino/papers/divsofc.pdf>
- Peña, S., Villa, G., & Ronquillo, S. (2020). Capacidad y uso de tecnología: estudio a nivel de los procesos electroquímicos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(3). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/33393/35189#>
- Ramírez, D., Vásquez, O., & Riola, J.M. (2022). Contaminación cero: la propulsión basada en hidrógeno del buque colombiano de apoyo a catástrofes. The 2022 Multidisciplinary International Conference of Research Applied to Defense and Security, MICRADS'22, Barranquilla, Colombia.
- Roca, J.A. (2021, 17 de julio). *El periódico de la energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-estonia-powerup-lanza-un-generator-portatil-de-pila-de-combustible-de-hidrogeno-con-una-potencia-de-400-w/>
- Santoro, F. (2019, 31 de enero). La hora del turismo para Colombia. *La República*. <https://www.larepublica.co/analisis/flavia-santoro-2807402/la-hora-del-turismo-para-colombia2822338#>
- USNA. (2021). United States Naval Academy. Consultado el 1 de julio de 2022. Obtenido de https://www.usna.edu/NAOE/_files/documents/Courses/EN400/02.07a%20Ch7%20HW%20Solutions.pdf
- Valdés, R., Rodríguez, L.R. Tricio, V., & Lucio, J.H. (2018). Nociones elementales y problemas docentes sobre la producción y utilización de hidrógeno electrolítico obtenido mediante fuentes renovables de energía. *Latin- American Journal of Physis Education*, 12(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6957415>
- Vergara, F.I., Riola, J.M., Martínez, J.C., & Areiza, P. (2022). *Módulos de misión del Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano (BALC-L) para operaciones humanitarias y atención de desastres en el Pacífico colombiano*. The 2022 Multidisciplinary International Conference of Research Applied to Defense and Security, MICRADS'22, Barranquilla, Colombia.
- Yanmar Holdings. (2021). *Sistema de pila de combustible de hidrógeno*. Obtenido de https://www.yanmar.com/co/about/technology/vision1/fuel_cell_system/

PRÁCTICA DE LOGÍSTICA INVERSA EN EMPRESAS GANADERAS COLOMBIANAS

Área temática: logística inversa

Alex Jiménez-Díaz*
César Herazo Hoyos**
Sherhey Gulfo Carvajal***
Jisella Medina Yépez****

Resumen

Este documento se centra en explorar la adopción de prácticas de logística inversa (LI) en las empresas ganaderas categorizadas con certificación de buenas prácticas ganaderas. Esta investigación es de tipo exploratoria con enfoque mixto, transeccional y de campo. Se utilizó un cuestionario de preguntas cerradas como instrumento para recolectar la información. La población de estudio fueron las empresas ganaderas del departamento de Córdoba con certificación de Buenas Prácticas Ganaderas. Los resultados confirman que el uso de las prácticas de LI depende de la actividad comercial que tengan las empresas, para las empresas ganaderas, esta actividad busca ayudar al planeta y generar un ingreso extra para las empresas, es poco aplicada porque genera altos costos y poco aumento en los ingresos. La adopción de la LI genera impactos sociales, económicos y ambientalmente sostenibles, que permitirá lograr acceder a mercados nacionales e internacionales de una forma más rápida, con productos admisibles y altamente competitivos cumpliendo los requerimientos del mercado.

Palabras clave:

Logística inversa, buenas prácticas, ganadería, prácticas verdes, reciclar, restaurar, reparar, reutilizar.

Abstract

This document focuses on exploring the adoption of reverse logistics (RL) practices in livestock companies categorized with good animal husbandry practices certification. This is an exploratory research with a mixed, transeccional and field approach. A questionnaire of closed questions was used as an instrument to collect information. The study population consisted of livestock companies in the department of Córdoba with Good Livestock Practices certification. The results confirm that the use of RL practices depends on the commercial activity of the companies; for livestock companies, this activity seeks to help the planet and generate extra income for companies, but it is rarely applied because it generates high costs and little increase in income. The adoption of the RL generates social, economic and environmentally sustainable impacts, which will allow faster access to national and international markets, with eligible and highly competitive products that meet market requirements.

Keywords:

Reverse logistics, good practices, livestock, green practices, recycling, refurbish, repair, reusing.

* Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Negocios Internacionales, Universidad del Sinú, Elías Bechara Zainúm. E-mail: alexjimenezd@unisinu.edu.co

** Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Administración de Empresas, Universidad del Sinú, Elías Bechara Zainúm. E-mail: cesarherazo@unisinu.edu.co

*** Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Negocios Internacionales, Universidad del Sinú, Elías Bechara Zainúm. E-mail: sherheygulfo@unisinu.edu.co

**** Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, Negocios Internacionales, Universidad del Sinú, Elías Bechara Zainúm. E-mail: jisella.medina2000@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La globalización económica ha implicado cambios sociales, ambientales, políticos y comerciales (Samimi & Jenatabadi, 2014), que han forzado a la evolución de regulaciones y disposiciones legislativas más estrictas, conducidas por una demanda de alta calidad, productos personalizados y de mayor valor agregado, en especial, aquellos procedentes del sector agropecuario (Tsolakis et al., 2014; Meyer, 2020).

La actividad agropecuaria es una gran proveedora de recursos alimenticios: los alimentos para humanos es el principal objetivo de los *commodities* agrícolas, no obstante, los alimentos para animales y los biocombustibles han recobrado fuerzas en las últimas décadas, debido al incremento significativo en la demanda de alimentos derivados de los animales. Para 2028 se proyecta un consumo de 40 millones de toneladas métricas de carne (OECD/FAO, 2019).

Un alto consumo de carne se traduce en un incremento de la cría de ganado que, a su vez, acarrea un mayor esfuerzo del empresario agropecuario en el uso eficiente de los recursos, agua, suelo, agro-insumos, y otros como fertilizantes, plaguicidas y antibióticos presentes en el abono animal, y que son usados para prevenir enfermedades y tratamiento de infecciones en las plantas, los cuales son los principales contaminantes en el suelo (Rodríguez-Eugenio et al., 2019). Asimismo, la producción agropecuaria se ve afectada directa o indirectamente por el ingreso de contaminantes, tanto en las aguas subterráneas como en la tierra (Saha et al., 2017).

De allí que el incremento en la producción originaria de la actividad ganadera es un desafío para la sostenibilidad del sistema de producción alimentario (Sharma et al., 2015), exhortándose a la adopción de prácticas verdes o sostenibles, tales como la logística inversa (LI), con el fin de mitigar los efectos negativos en el medio ambiente y, por consiguiente, generar estabilidad económica y social (Pinheiro Machado Filho et al., 2021).

La LI ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas (Rubio et al., 2008). Carter & Ellram (1998) la define como el proceso que llevan a cabo las empresas para transformarse ambientalmente, a través de acciones de reciclaje, reuso y reducción del material usado. Mientras tanto, Rogers & Tibben-Lembke (1999) precisan que la LI es “el proceso de mover bienes desde su convencional destino final con el propósito de que su valor sea recuperado o se realice una eliminación adecuada” (p. 2), alineado con el planteamiento de Dowlatshahi (2000), que está asociado al rediseño de una cadena de suministro con el fin de gestionar los bienes o materiales destinados a someterse a procesos de remanufactura, reciclaje o eliminación, o si bien pueden retornar al ciclo productivo a través de canales de distribución inversos, después de que hayan sido consumidos (Nunes et al., 2009).

En el último decenio han surgido estudios que trazan la definición de la LI bajo la perspectiva de un sistema que no solo se limita a actividades de reciclaje, reuso y remanufactura, sino que considera la recuperación, restauración, reparación y la canibalización como objeto para su aplicación en las organizaciones (García-Rodríguez et al., 2013; Guarnieri et al., 2016; Lai et al., 2013; Lambert et al.,

2011; Sharma et al., 2011; Waqas et al., 2018) y, de esta manera, se pueda responder a las expectativas del mercado internacional, en cuanto a la conservación de los recursos y logros de rendimientos ambientales superiores (Lai & Wong, 2012).

Con respecto a la práctica de la LI en la actividad agropecuaria, existen relativamente pocos estudios (Santos et al., 2018), no obstante, se resalta el de Accorsi et al. (2017) acerca la administración de subproductos en la industria de la carne, en la cual exhorta a practicantes a diseñar sistemas de producción y comercialización sostenibles. Del mismo modo, Fancello et al. (2017) afirman que el flujo inverso de alimentos es un típico problema para la empresa e involucra diferentes actividades, tales como retorno de empaque, reciclaje, reutilización y/o eliminación de productos devueltos. Igualmente, Gisela et al. (2016) consideran que se pueden aprovechar los residuos oleosos derivados de la actividad ganadera para generar biocombustible, permitiendo tomar ventajas de aquel material desechado que, en muchas ocasiones, no corresponde a la actividad principal de las empresas, considerándose como un ingreso adicional (Jayathilakan et al., 2012).

La implementación de la LI ha recibido poca atención en economías emergentes (Bouzon et al., 2015), en gran medida, porque no hay conciencia, compromiso, regulaciones y otros factores afines (Agrawal et al., 2015) que limitan su dinámica. A su vez, implica no solo la voluntad de los productores para afrontar costos de entrenamiento, de adquisición de equipos y herramientas, de materiales verdes, etc. (Saenchaiyathon & Wongthongchai, 2021), sino de diferentes actores de las cadenas de suministros.

Valorando lo anterior, el objetivo de este trabajo es explorar las prácticas de logística inversa (LI) en empresas ganaderas certificadas en buenas prácticas, pretendiendo evidenciar si adoptan actividades de reciclaje, reuso, restauración y reparación de materiales que, después de haber culminado su ciclo de vida inicial, recuperan su valor.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo exploratoria dado que la LI ha sido poco aplicada en el sector agropecuario, además, es transeccional o transversal porque se recolectaron datos en un solo momento de tiempo (Hurtado, 2000). Mediante trabajo de campo se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias, las cuales hacen referencia a las empresas ganaderas certificadas en Buenas Prácticas Ganaderas, así como documentos institucionales y académicos. La técnica utilizada para la recopilación de la información fue la encuesta con preguntas cerrada a partir de la aplicación de un cuestionario, dicho instrumento fue validado por expertos con perfiles afines a la investigación. Las respuestas fueron complementadas por informantes claves. Se utilizó estadística descriptiva para la interpretación de los resultados obtenidos (Fuentes-Doria et al., 2020).

La principal problemática se evidencia en el cambio de comportamiento de los consumidores por los efectos contaminantes que generan las industrias. Por tal motivo, los gobiernos han venido aprobando

leyes de protección al medio ambiente; lo que obliga a los empresarios a adaptarse a estas exigencias creando estrategias que les permitan permanecer en el mercado.

A continuación se conceptualizan las actividades analizadas en la investigación: reciclaje, reutilización, restauración y reparación. Se excluyeron actividades tales como remanufactura, reventa, canibalización y eliminación en vertederos por la dificultad para ser acogidas en este sector de la economía.

2.1. Reutilización

El proceso de reutilización es desarrollado con productos que tienen nula o muy escasa descomposición y pertenece al eslabón de producción en la cadena de suministro. Su principal característica dentro de la LI es dar un nuevo uso a productos que ya han sido utilizados en el mercado pero que no ha sufrido un deterioro importante. Se ha evidenciado que en el sector agrícola la reutilización ha sido una actividad fundamental para el aprovechamiento de residuos, un ejemplo de esto se evidencia con los residuos de ganadería, se ha venido utilizando el estiércol como abono para las plantas (Chávez & Rodríguez, 2016).

2.2. Reciclaje

Se trata de un proceso por medio del cual, a partir de residuos se obtiene la materia prima para la elaboración de nuevos productos con un ahorro de materiales, y que logra niveles de calidad de un producto original por el uso de nuevas tecnologías. Los sistemas agropecuarios promueven el reciclaje de materia orgánica utilizando el estiércol para la preparación de compost o directamente como fertilizante, y los residuos de cosecha y subproductos para alimentación animal (Chávez & Rodríguez, 2016; Palomino et al., 2018).

2.3. Restauración

Es el proceso de renovar los productos con las nuevas tecnologías, permitiendo ampliar su vida útil. Esta actividad pretende que un producto que ya ha sido utilizado pueda recuperarse mediante diferentes procesos para volver a ser utilizado completamente o en parte. La restauración consiste en devolverle el valor al producto usado con nuevas tecnologías que permitan ampliar su vida útil (Cabeza, 2014). Lo que se quiere conseguir es que se reemplacen las piezas que están gastadas (Navas, 2010).

2.4. Reparación

La reparación consiste en poner en funcionamiento un producto averiado. El resultado consiste en que el producto disminuye en calidad y en costo. En la actividad agrícola y ganadera, la reparación corresponde al mantenimiento del predio, lo cual implica infraestructura, herramientas, equipos, etc., (Águila, 2017), útiles para la explotación adecuada, alargando la vida de materiales y evitando mayores costos.

3. RESULTADOS

En la tabla 1 **Tabla 1.** Reutilización en empresas ganaderasse evidencia que la mayoría de las empresas ganaderas siempre reutilizan la materia orgánica para crear abono, no obstante, muchas resaltan que la actividad ganadera genera pocos residuos para lograr ser reutilizados principalmente en la cría de ganado. Asimismo, de manera muy ocasional o algunas veces, estas empresas disponen de la materia prima una vez es desechada, y siempre hacen uso de los residuos animales para el cultivo de plantas.

Tabla 1. Reutilización en empresas ganaderas

¿Utiliza la materia orgánica (p. ej., los restos alimenticios, papel, cartón, hojas, ramas, etc.) o el estiércol de ganado como abono natural o gas metano?	¿Recupera la materia primaria de los productos o dispone adecuadamente de ellos una vez son desechados?	¿Ayuda al planeta aprovechando los residuos vegetales y de ganadería en presentación de abonos orgánicos o de compostaje?
SIEMPRE	ALGUNAS VECES	SIEMPRE

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la actividad de reparación, la tabla 2 muestra que las empresas ganaderas promueven la recuperación de piezas dañadas u obsoletas de máquinas que son necesarias para la producción, siendo este componente fundamental para el mantenimiento de los predios y sus condiciones para la explotación de la ganadería y agrícola. Asimismo, es una constante el mantenimiento de vallas, cercas, herramientas y demás equipos de trabajo que les permita contener el ganado y realizar las respectivas rotaciones o ciclos productivos.

Tabla 2. Reparación en empresas ganaderas

¿Recupera las piezas dañadas u obsoletas de las máquinas necesarias para la producción?	¿Realiza mantenimiento a las cercas o vallas de alambre utilizadas para dividir los cultivos, potreros y proteger al ganado una vez son dañados?	¿Realiza mantenimientos técnicos a las máquinas necesarias para la producción con el fin de prevenir las fallas y sus consecuencias durante la cadena productiva?	¿Repara las herramientas o materiales necesarios para la fabricación de los productos sin dejar a un lado la calidad de este?
CASI SIEMPRE	SIEMPRE	SIEMPRE	CASI SIEMPRE

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a la actividad de restauración, existe un acuerdo entre las empresas ganaderas, pues utilizan técnicas adecuadas para el manejo y conservación de los suelos, los cuales les favorecerá el proceso productivo para generación de pasto y, por consiguiente, la reproducción animal. Asimismo, el mantenimiento adecuado de los suelos les genera rendimientos significativos. Dado que las actividades de este sector se llevan a cabo a la intemperie, reciben el efecto directo del cambio climático, de manera que las empresas atienden situaciones alrededores de este fenómeno.

En la tabla 3 se observa que los empresarios giran alrededor de estas dificultades que se pueden presentar, pues afectan directamente su actividad económica.

Tabla 3. Restauración en las empresas ganaderas

¿Aplica técnicas adecuadas de manejo y conservación de suelos con el fin de prevenir la erosión y degradación por desgaste de los suelos dedicados a cultivos y ganadería?	¿Al manejar adecuadamente los suelos ha evidenciado mayor producción y rendimientos en sus cultivos o ganadería?	¿Desarrolla obras civiles (canales, puentes, drenajes, terraplén, diques, etc.) de prevención para las zonas afectadas por las lluvias e inundaciones de sus predios?	¿El manejo de sus predios se enfoca a la sostenibilidad social, ambiental y económica de su proceso productivo?
SIEMPRE	SIEMPRE	SIEMPRE	SIEMPRE

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, es común en la actualidad hablar acerca de reciclaje, y la ganadería no es una excepción. En la tabla 4 se muestra una labor importante como la disposición de compostaje a partir de residuos orgánicos, lo cual no solo le ahorra dinero, sino que le permite dar una disposición adecuada a dichos residuos. Del mismo modo, hay una cultura de separación de residuos para evitar contaminación del agua y del suelo, así como la disposición de envases plásticos, llantas y otras materias que ya han cumplido su función inicial, para que sean utilizados en otro tipo de actividad. Lo más significativo es que esta actividad les ha permitido a las empresas ganaderas hacer ahorros de energía y recursos.

Tabla 4. Reciclaje en las empresas ganaderas

¿Realiza compostaje (recolectar los residuos orgánicos para posteriormente ser descompuestos, convirtiéndose en abono natural u orgánico) aprovechando los residuos de cosechas o ganadería?	¿Separa o clasifica los residuos de la finca en contenedores diferentes?, por ejemplo: orgánicos y no orgánicos.	¿Recicla los envases plásticos, llantas y otros materiales desgastados en ideas creativas como bebederos, comederos, materas, entre otros? Mencionar otros usos.	¿Al reciclar los residuos ha obtenido un ahorro de energía y de recursos como lo es el abono o fertilizante?
CASI SIEMPRE	CASI SIEMPRE	SIEMPRE	SIEMPRE

Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La investigación confirmó que el uso de las prácticas de logística inversa (LI) depende de la actividad comercial que tengan las empresas, por ejemplo, para las ganaderas, la reventa no es aplicada debido a que su producto, es decir, el ganado en pie no genera residuos ni devoluciones de los mismos lo cual se refleja en los resultados. Aunque esta actividad busque ayudar al planeta y generar un ingreso extra para las empresas, es poco aplicada porque genera altos costos y poco aumento en los ingresos, es por ello que la reventa de los productos desechados en este sector es apreciada principalmente para la agricultura, mientras que en la ganadería se refleja cuando existe un sacrificio hacia el ganado.

La reutilización y la restauración fueron las actividades más aceptadas y aplicadas por las empresas del sector, al generar disminución de los costos. La reutilización refleja el aprovechamiento de la materia orgánica y el estiércol de ganado ya que su principal uso es el abono natural o en el caso de una forma de energía renovable ya que se produce gas metano después de que es debidamente procesado. Se busca aprovechar al máximo los restos de materia prima de los productos una vez son desechados trayendo consigo la reducción de los residuos.

El reciclaje que se evidencia en estas empresas se refiere a la utilización de envases desechados por otro sector o por los hogares, por ejemplo, para crear bebederos y comederos del ganado se utilizan llantas y grandes tanques de plásticos, pero estos no vienen directamente del uso que se les da en la finca, sino que son residuos que quedan producto de una llantería, de una fábrica de queso, entre otros.

La importancia de abordar la logística inversa no tiene que ver solo con el beneficio ambiental, sino con la creación de conciencia en las empresas para que sus procesos productivos no afecten negativamente el medio ambiente ni a las comunidades aledañas. Al contrario, se debe pensar más en que si llevan a cabo prácticas sociales, económicas y ambientalmente sostenibles lograrán acceder a mercados internacionales de una forma más rápida, con productos admisibles y altamente competitivos cumpliendo los requerimientos del mercado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a los empresarios ganaderos con predios certificados en BPA.

REFERENCIAS

- Accorsi, R., Manzini, R., Baruffaldi, G., & Bortolini, M. (2017). On reconciling sustainable plants and networks design for by-products management in the meat industry. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 68, 682–690. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_64
- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009>
- Águila, M. (2017). *Mantenimiento en el sector agrícola y ganadero: condiciones de trabajo y causas de accidentabilidad*. <https://www.insst.es/documents/94886/538970/mantenimiento+agricola+y+ganadero.pdf/ee9e85e4-e715-4e8d-a88f-cce9220b7488>
- Bouzon, M., Govindan, K., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Reducing the extraction of minerals: Reverse logistics in the machinery manufacturing industry sector in Brazil using ISM approach. *Resources Policy*, 46, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.02.001>
- Cabeza, D. (2014). *Logística Inversa en la Gestión de la Cadena de suministro*. Alfaomega Marge.

- Carter, C. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85–102.
<https://bibliotecavirtual.unisinu.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/reverse-logistics-review-literature-framework/docview/212642143/se-2?accountid=44833>
- Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90–107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143–155.
<https://doi.org/10.1287/inte.30.3.143.11670>
- Fancello, G., Mola, F., Frigau, L., Serra, P., Mancini, S., & Fadda, P. (2017). A new management scheme to support reverse logistics processes in the agrifood distribution sector. *Transportation Research Procedia*, 25, 695–715. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.452>
- Fuentes-Doria, D. D., Toscano-Hernández, A. E., Malvaceda-Espinoza, E., et al. (2020). Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables. In *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables*. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-879-9>
- García-Rodríguez, F. J., Castilla-Gutiérrez, C., & Bustos-Flores, C. (2013). Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: The case of Venezuela. *International Journal of Production Economics*, 141(2), 582–592.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.09.015>
- Gisela, M. A., Beatriz, E. J., Ana, M. V., Marcos, A. C., Conrado, G. G., & Lydia, T. P. (2016). Experiencias de aprovechamiento de residuos para la generación de biodiésel en Colombia y México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(Especial), 77–90.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.06>
- Guarnieri, P., e Silva, L. C., & Levino, N. A. (2016). Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1105–1117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.025>
- Hurtado, J. (2000). Metodología de Investigación Holística. In *Fundación Sypal*.
<https://ayudacontextos.files.wordpress.com/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 278–293. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>
- Lai, K. H., Wu, S. J., & Wong, C. W. (2013). Did reverse logistics practices hit the triple bottom line of Chinese manufacturers? *International Journal of Production Economics*, 146(1), 106–117.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.03.005>

- Lai, K. H., & Wong, C. W. (2012). Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters. *Omega*, 40(3), 267–282.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.07.002>
- Lambert, S., Riopel, D., & Abdul-Kader, W. (2011). A reverse logistics decisions conceptual framework. *Computers and Industrial Engineering*, 61(3), 561–581.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.012>
- Meyer, D.F. (2020). The impact of globalisation on economic growth: The case of visegrad countries. *Forum Scientiae Oeconomia*, 8(2), 25–36. https://doi.org/10.23762/FSO_VOL8_NO2_2
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 113–122.
- Nunes, K. R. A., Mahler, C. F., & Valle, R. A. (2009). Reverse logistics in the Brazilian construction industry. *Journal of Environmental Management*, 90(12), 3717–3720.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.05.026>
- OECD/FAO. (2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*.
https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en
- Palomino, P., Jiménez, H., Naranjo, J., Henao, S., García, R., Cardona, A., et al. (2018). *Implementación de Buenas Prácticas Ganaderas: Principios básicos*. Universidad CES.
<https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/3585/Implementaci%C3%B3n-de-Buenas-Pr%C3%A1cticas-Ganaderas-principios-b%C3%A1sicos.pdf?sequence=1>
- Pinheiro Machado Filho, L.C., Seo, H.L., Daros, R.R., et al. (2021). Voisin rational grazing as a sustainable alternative for livestock production. *Animals*, 11(12).
<https://doi.org/10.3390/ani11123494>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*.
- Rubio, S., Chamorro, A., & Miranda, F. J. (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). *International Journal of Production Research*, 46(4), 1099–1120.
<https://doi.org/10.1080/00207540600943977>
- Saenchaiyathon, K., & Wongthongchai, J. (2021). Green Operation Strategy for SMEs: Agri-food Business Thailand Case Study. *TEM Journal*, 10(4), 1803–1812.
<https://doi.org/10.18421/TEM104-43>
- Saha, J. K., Selladurai, R., Coumar, M. v, Dotaniya, M. L., Kundu, S., & Patra, A. K. (2017). Soil pollution: an emerging threat to agriculture. In *Environmental Chemistry for a Sustainable World (Netherlands)* No. 10. Springer.

- Samimi, P., & Jenatabadi, H. S. (2014). Globalization and economic growth: Empirical evidence on the role of complementarities. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087824>
- Santos, R. R. D., Guarnieri, P., & Brisola, M. V. (2018). Reverse logistics of wastes from agriculturallivestock and agroindustry activities: A review of the literature. In *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, 11(2), 573–597. University Center of Maringa. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p573-597>
- Sharma, S., Panda, B., Mahapatra, S., & Sahu, S. (2011). Analysis of Barriers for Reverse Logistics. An Indian perspective. *International Journal of Modeling and Optimization*, 1(2), 101–106.
- Sharma, S., Thind, S. S., & Kaur, A. (2015). In vitro meat production system: why and how? In *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7599–7607. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1972-3>
- Tsolakis, N. K., Keramydas, C. A., Toka, A. K., Aidonis, D. A., & Iakovou, E. T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*, 120, 47–64. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.014>
- Waqas, M., Dong, Q. L., Ahmad, N., Zhu, Y., & Nadeem, M. (2018). Critical barriers to implementation of reverse logistics in the manufacturing industry: A case study of a developing country. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/su10114202>

APLICACIÓN DEL POWER BI PARA EL PLANEAMIENTO OPERACIONAL EN LA ARMADA DE COLOMBIA: CASO FUERZA NAVAL DEL PACÍFICO

Área temática: logística militar

TN Fabio Montenegro Barrantes*
TN Omar Alonso Galvis Quiroga**
Jaime Eduardo González Díaz PhD***

Resumen

El propósito de este trabajo es describir la utilidad del Power Bi para el planeamiento operacional en la Armada de Colombia, aplicado a la Fuerza Naval del Pacífico (FNP) mediante el análisis de las funcionalidades de la herramienta con el fin de optimizar la toma de decisiones estratégicas. Este trabajo es producto de un estudio de caso, que trabajó con información de carácter secundario, compuesta por los reportes proporcionados por la FNP, el procesamiento de la información se realizó aplicando la herramienta Excel en combinación con la herramienta Power Bi. La investigación demuestra que la herramienta Power Bi tiene un amplio y diverso campo de acción para la modelación y análisis de la información, para el caso puntual de la Unidad estudiada, la implementación de la herramienta mantuvo una alta dinámica operacional, y una baja asignación presupuestal respecto al valor total asignado para la FNP.

Palabras clave:

Armada, estratégico, Power Bi, planeamiento operacional, toma de decisiones.

Abstract

The purpose of this paper is to describe the usefulness of Power Bi for operational planning in the Colombian Navy, applied to the Pacific Naval Force (PNF) through the analysis of the functionalities of the tool in order to optimize decision making. strategic. This work is the product of a case study, which worked with secondary information, composed of the reports provided by the PNF, the processing of the information was carried out by applying the Excel tool in combination with the Power Bi tool. The research shows that the Power Bi tool has a wide and diverse field of action for the modeling and analysis of information, for the specific case of the Unit studied, the implementation of the tool maintained a high operational dynamics, and a low budget allocation with respect to the total value assigned for the PNF.

Keywords:

Army, strategic, Power Bi, operational planning, decision making.

* Facultad de Ciencias Navales, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: fabio.montenegro@armada.mil.co

** Facultad de Ciencias Navales, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: omar.galvis@armada.mil.co

*** Facultad de Ciencias Navales, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: jegd002@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La información es hoy un recurso vital. Organizaciones tanto públicas como privadas requieren hacer uso de la información para apoyar la toma de decisiones de sus directivos. Esto es aún más relevante si se recuerda que nos encontramos en la era de la información y el conocimiento, la cual, con sus complejidades e inmediatez, hace cada vez más complejo la administración muchos datos, y como se organizan y procesan para convertirlos en información útil para la toma de decisiones.

Al mismo tiempo, se presentan diversos desafíos en muchos casos relacionados con la obtención de información, integración de datos y la necesidad de tiempo para su recolección y análisis. Ante este contexto surge la necesidad de transformar el actual modelo de recolección y procesamiento de datos, y las herramientas que apoyan esta gestión. La Armada de Colombia no es ajena a esta problemática, y más aun si se tiene en cuenta su propósito misional relacionado con la seguridad y defensa, por lo cual se necesita una óptima administración de la información para, a su vez, una efectiva toma de decisiones en el marco de las operaciones navales.

Es por esto, que el presente trabajo se dedica a analizar la utilidad del Power Bi para el planeamiento operacional en la Armada de Colombia, aplicado a la Fuerza Naval del Pacífico (FNP); esta es una Unidad Operativa Mayor de la Armada de Colombia, cuya misión es ejecutar Operaciones Navales en la región Pacífico colombiano. Así pues, este estudio aporta un estudio de caso a profundidad, que describirá el proceso de implementación de la herramienta de inteligencia de negocios antes mencionada, como apoyo al análisis de datos, y a la toma de decisiones estratégicas para la efectividad de las operaciones de la Armada Nacional.

2. MARCO TEÓRICO

En el contexto militar, el nivel operacional es aquel donde se proyectan y ejecutan las operaciones y campañas, aquel donde se desarrolla la planeación, ejecución, y control de las operaciones para lograr los objetivos establecidos por el nivel estratégico, para un determinado teatro de operaciones. Es un nivel militar teóricamente distinto del estratégico y del táctico. Es este el de la dirección de las operaciones militares, y del despliegue y utilización de las fuerzas para alcanzar los objetivos fijados por el nivel estratégico. Es decir, el nivel táctico se organiza para ganar batallas, el nivel operativo para ganar las campañas, y el nivel estratégico para ganar la guerra (De la Peña, 2012; Alvarado, 2019; Poma, 2016; Poma, 2018).

En el proceso de planeación y ejecución de operaciones militares de nivel operativo es fundamental la habilidad para tomar decisiones, ya que se requiere análisis desde distintos puntos de vista y diversidad de perspectivas, identificando fortalezas, debilidades, amenazas, retando supuestos y examinando resultados alternativos, con el fin de disminuir riesgos, aumentar la oportunidades de resultados más efectivos. La disminución del riesgo es trascendental en la toma de decisiones, más aún en la guerra

nace la necesidad de reducir los riesgos implicados en el proceso de planeamiento operacional con miras a la ejecución de operaciones militares (Piroma, 2017; Benítez, 2018).

Lo anterior, es refrendado por diferentes autores que señalan que el proceso de toma de decisiones no se desarrolla únicamente a nivel estratégico o de la alta gerencia de las instituciones, sino que hace parte de un proceso que se realiza en todos los niveles: operativo, táctico, gerencial y estratégico (Carvalho, 2001; Wiig, 2003). Para la buena toma de decisiones es fundamental contar con excelentes fuentes de información, y un mecanismo para el análisis de esta. Dicho de otra forma, contar con informaciones adecuadas y oportunas es de importancia capital para un efectivo proceso de toma de decisiones (Cruz, 2021; Rodríguez, 2000).

La toma de decisiones del nivel operativo –y en todos los niveles– se enfrenta con lo que la literatura define como la racionalidad limitada. Este constructo señala que los tomadores de decisiones están limitados desde lo cognitivo para procesar (tabular e interpretar) grandes conjuntos de datos e información relativamente compleja que exigen un mayor esfuerzo personal (Choo, 1999). En este sentido, las herramientas informáticas brindan un apoyo fundamental; dado el incremento del volumen de los datos almacenados, se necesitan las herramientas necesarias para procesarlos y convertirlos en información valiosa (Moreno & Dueñas, 2018; Lago & Cantero, 2013).

Dentro de las herramientas informáticas de análisis de datos se encuentran las denominadas de inteligencia de negocios, de las cuales hace parte el Power Bi; este es un paquete informático de análisis de datos desarrollado por la Microsoft, diseñado para generar visualizaciones interactivas y capacidades de inteligencia empresarial con una interfaz lo bastante sencilla como para que los usuarios finales puedan crear por sí mismos sus propios informes y paneles (Vásquez et al., 2022). Este trabajo pretende describir la implementación de este paquete informático como herramienta de analítica de datos para la toma de decisiones y planeamiento en el nivel operativo de la Fuerza Naval del Pacífico (FNP) de la Armada de Colombia.

De otro lado, para la FNP, debido a la gran cantidad de amenazas que afronta, es fundamental la integración eficiente y óptima de los aspectos operacionales, el entrenamiento y mantenimiento en las unidades de superficie. El mantenimiento es clave principalmente en las unidades de superficie debido al tiempo de vida útil que tienen en su mayoría. Por su parte, el proceso de entrenamiento permite mitigar los riesgos y accidentes dentro del desarrollo de una operación y contribuir al estado deseado establecido desde un inicio. El arte operacional contextualizado en la FNP exige el empleo eficiente y efectivo de medios tácticos y capacidades en las unidades de superficie. Por todo esto, se requiere un sistema de información que proporcione datos con la calidad y oportunidad pertinentes sobre los requerimientos de mantenimiento y entrenamiento que permita una toma de decisiones efectiva para el éxito operacional.

3. METODOLOGÍA

Este documento es producto de un estudio de caso que caracterizó el proceso de planeamiento operacional en la Fuerza Naval del Pacífico (FNP) de la Armada de Colombia mediante la aplicación de la herramienta Power Bi. La información que se tomó para este estudio fue de carácter secundaria, y estuvo compuesta por diferentes reportes proporcionados por las diversas dependencias de la FNP relacionadas con el mantenimiento, entrenamiento, y operaciones de las Unidades de superficie que no afecten la seguridad y reserva de la Fuerza.

La información se procesó con el programa Excel en combinación con Power Bi; en el primero se agruparon y organizaron los datos proporcionados por la FNP, y con el segundo se crearon paneles interactivos que permitieron analizar con mayor detalle la información proporcionada por la FNP, con lo cual se pudo pronosticar el posible comportamiento de algunos de los componentes y procesos operacionales (Webb & Crossjoin, 2014; Ferrari & Russo, 2017; Becker & Gould, 2019).

4. RESULTADOS

Para efectos de este estudio se trabajó con base en los datos suministrados por las Unidades de Superficie de la FNP, las cuales administrativamente dependen de la Flotilla de Superficie del Pacífico (FSUPA). Los datos de los tres aspectos observados (mantenimiento, entrenamiento, operaciones), de las Unidades antes señaladas, se organizaron y clasificaron para un análisis individual, y posteriormente se articularon e integraron para un análisis general de acuerdo con una Unidad tipo, donde se ejemplifica ese análisis gerencial para la toma de decisiones que se puede efectuar desde el Power Bi para el planeamiento de operaciones de la Fuerza.

La Escuela de Superficie del Pacífico es la dependencia encargada de realizar los procesos de entrenamiento, reentrenamiento y capacitación a las Unidades y sus tripulaciones sobre temas de procedimientos de emergencia y operacionales, doctrinas de navegación, control de averías y manejo de emergencia en simuladores, procedimientos de guardacostas, comunicaciones navales, derecho internacional de los conflictos armados y otros temas relacionados con las actividades, procedimientos y circunstancias en que una unidad se puede ver comprometida en el cumplimiento operacional con el único objetivo de lograr el fin deseado con el uso efectivo de los medios, disminuyendo los niveles de riesgo y accidentabilidad en el talento humano.

Los datos obtenidos corresponden al año 2021, y fueron presentados de manera estadística en hojas de cálculo Excel, posteriormente se realizó una validación y filtro de la información contenida teniendo como parámetros el total de las Unidades, la clasificación de acuerdo con el tipo de Unidad dado por su objeto misional y el entrenamiento realizado. Luego de haber filtrado se le adiciona el tipo y nivel de entrenamiento realizado a cada unidad y su tripulación según lo establecido doctrinalmente por la directiva de entrenamiento del Comando de la Flota.

Entrenamiento

Las tablas de Excel fueron organizadas y parametrizadas de acuerdo con los requerimientos del aplicativo Power Bi para el trabajo estadístico y comparativo al que se quería llegar estableciendo una relación interdependiente con los aspectos operacionales y de mantenimiento en los cuales se ven inmersas las Unidades. Cabe resaltar que el objetivo de este trabajo es llegar a establecer ciertos niveles comparativos y demostrativos de las relaciones existentes dentro de estos factores para mejorar la toma de decisiones operacionales y, por ende, estratégicas, en el uso de las Unidades de una manera efectiva optimizando las capacidades de las unidades que componen la FNP para el cumplimiento de su misión.

En lo que respecta a este proceso, se establece una claridad en la validez de la información obtenida, se realiza un refinamiento de la misma con los filtros establecidos de acuerdo con parámetros de aceptación para el aplicativo, se adiciona una columna de clasificación en el entrenamiento realizado según definiciones y afinidades de la información, logrando una base de datos sustentable y robusta para iniciar las fases estadísticas, comparativas y de modelación entre los aspectos de operación, entrenamiento y mantenimiento a trabajar.

Con lo anterior se puede abordar el análisis de los tipos, características y detalles de entrenamientos recibidos por una Unidad de Superficie determinada y compararlo con el estado de su mantenimiento y operaciones efectuadas para concluir el estado de alistamiento de la Unidad, en especial del personal para afrontar una operación determinada. Con esta misma información del entrenamiento de las Unidades de Superficie se puede modelar en el power BI de acuerdo con el análisis gerencial que se requiera tanto puntual en este aspecto de entrenamiento como correlacionándolo con el mantenimiento y las operaciones.

Mantenimiento

Teniendo en cuenta la reserva de información para la seguridad de las operaciones, la información que se obtuvo de las Unidades de la FNP –por medio del departamento de ingeniería– se clasificó en dos grandes tipos de mantenimiento según la planeación inicial que se tenía en la Fuerza que son: mantenimiento programado y mantenimiento imprevisto. Adicionalmente se contaba con la información del alcance del mantenimiento, contrato y valor, para lo cual se puede analizar estadísticamente por unidades y tipos de unidades dentro de la clasificación de tipos de contratos los costos de los mantenimientos, contratista que intervino según el contrato, y analizar el alcance del mantenimiento teniendo en cuenta la clasificación de grupos principales de construcción.

Teniendo en cuenta la información recibida y la organización y clasificación de los datos obtenidos se pueden hacer dos tipos de análisis de información en Power Bi, que son el análisis particular de la información de mantenimiento en la cual según la necesidad o interés del que evalúa la información puede centrar su análisis ya sea por tipo de Unidad (general) o por Unidad (particular) según la característica que quiera profundizar en su análisis (costos, tipo de contrato, alcance de mantenimiento,

cantidad de mantenimientos, etc.) y el análisis general correlacionado con los demás aspectos que se analizarán por tipo de Unidad y Unidad que es el propósito fundamental de este proyecto en el Power Bi con el fin de tener un panorama de estos tres aspectos a evaluar para la toma de decisiones por cada Unidad de superficie.

Sobre este panel se podría analizar con detalle la relación de esos costos de mantenimiento en un determinado tipo de Unidad, Unidad específica y alcance según la necesidad del que se encuentre analizando la información para la toma de decisiones, por ejemplo, si dentro del panel del gráfico de barras se quieren analizar las Unidades tipo OPV, sólo basta hacer clic en esa barra de OPV. Posteriormente si se sigue haciendo clic para profundizar el análisis tomamos como ejemplo el ARC Valle del Cauca. De la misma forma se puede seguir profundizando el análisis ya sea para visualizar el alcance del mantenimiento según el tipo de este (programado o imprevisto).

Operaciones

Para el análisis y desarrollo de la temática operacional en la cual convergen las Unidades de Superficie de acuerdo con el tipo y funcionalidad establecida desde su diseño y construcción con la implementación de ciertas capacidades tácticas fue pertinente remitirnos y establecer coordinaciones con el Departamento de Operaciones de la Fuerza Naval del Pacífico (FNP). Esta es la dependencia encargada de orientar y asesorar al mando para este caso al Comandante de la Fuerza en la asignación de unidades para el cumplimiento de los diferentes Planes Operacionales que finalmente apuntan al objetivo estratégico establecido por Armada Nacional justificado en las diferentes amenazas que afectan y desestabilizan los aspectos sociales, económicos, culturas y estatales de la región del Pacífico Colombiano.

La información suministrada por parte del Departamento de Operaciones de la FNP contenía datos relevantes referente a la cantidad de días en que las unidades de superficie, sin tener presente su tipo, han desarrollado operaciones en el ámbito naval y fluvial estableciendo un control de periodo mensual de acuerdo con los diferentes planes de operaciones que desarrollan subordinados del Plan Operacional Almirante Padilla establecido por la Armada Nacional a nivel de todas sus Fuerzas Navales. Partiendo de lo anterior se procede a realizar una validación y análisis de la información con el objetivo de establecer la pertinencia, organización y filtro de los datos para su empleo en el aplicativo Power Bi.

Para lo cual se evidencia. al igual que en las demás temáticas de mantenimiento y entrenamiento, la ausencia en la relación y comunicación entre las mismas lo cual genera una inconsistente demostrada en el marco teórico debido a que el funcionamiento y optimización de las unidades de superficie como herramienta técnica para el cumplimiento de una labor específica debe tener un excelente nivel de mantenimiento para su empleo efectivo y obtención de resultados esperados que a su vez deben ser operada por personas con cierto nivel de calificación, certificación y entrenamiento enfocados en el estado final deseado como se evidencia en la misión táctica de cada plan de operación.

Al interior de los datos estadísticos, refiriéndonos a los días operados mensualmente no se totaliza durante todo el año con el objeto de dar relevancia y establecer como resultado que plan operacional demanda mayor carga en días operados y unidades asignadas de manera mensual y anual, así como determinar cuál es el plan operacional que tiene menor carga en días operados y uso de unidades donde posiblemente se podría deducir cual es el esfuerzo principal de la FNP y qué análisis y evaluación periódica debería realizarse para evitar afectaciones dentro del planeamiento operacional de las unidades en la unificación de esfuerzos.

Dentro del manejo y trabajo realizado a la información suministrada se logró la elaboración de un cuadro en formato Excel donde se cuantifican los días operados anualmente relacionándolos con los diferentes planes operacionales y, a su vez, asignando el tipo de Unidad que realizó cada una de las operaciones, con el objetivo de asignar parámetro de referencia y categorización y poder ser usados en el aplicativo Power Bi, siendo esta una fase del proceso a realizar dentro del proyecto. A partir de esos datos, se pueden diseñar diversas representaciones según los criterios que se requieran analizar, por ejemplo, si se desea analizar el número de operaciones y porcentajes a partir de los planes y tipos de Unidad que lo ejecutan.

Este análisis se puede profundizar detallando las Unidades puntuales por tipo, que en este caso por reserva y seguridad de la información no se dispone, pero este análisis facilita la toma de decisiones en el planeamiento de las operaciones de acuerdo con el desempeño operacional de las Unidades, carga operacional, rotación de las Unidades y del personal, resultados cuando se dispongan de los mismos, entre otros aspectos importantes para incluir en el Power Bi ya sea para un análisis acumulado (año) o parcial por meses.

La toma de decisiones estratégicas FNP aplicando Power Bi

A partir de los datos obtenidos es posible establecer un análisis conjunto de los aspectos o temáticas como el mantenimiento, el entrenamiento y las operaciones establecidas en el estudio para el funcionamiento y operación de las Unidades de Superficie empleando el Power Bi a partir de una característica común de las Unidades agrupadas y organizadas de acuerdo con su tipo y funcionalidad establecidas en la FNP, razón por la cual en todas las tablas de Excel se estandarizó la información de las Unidades por tipo de Unidad para cada aspecto a analizar.

Para el caso particular de este estudio, se tomó puntualmente como ejemplo el mantenimiento y el entrenamiento que inicialmente se analizaron de forma aislada para integrarlos posteriormente en el análisis de forma conjunta, con el fin de evidenciar la importancia de correlacionar estos aspectos en el análisis de toma de decisiones, al cual también se puede integrar un análisis operacional pero que no aplica en este caso debido a que la información no fue obtenida al detalle de cada Unidad específica por tipo como en los dos aspectos anteriores por restricciones de reserva y seguridad de la información de la FNP.

Mediante un gráfico de columnas agrupadas, que arroja el Power Bi, se visualizan los números de entrenamientos y mantenimientos de cada tipo de Unidad de la FNP en 2021 el cual se puede analizar por tipo de Unidad. Lo anterior es un ejemplo de las bondades y las capacidades que puede realizar el Power Bi aplicadas al análisis de la información de entrenamiento y mantenimiento de la FNP en donde se pueden analizar los resultados de una Unidad de superficie y compararlas con otras para la toma de decisiones respecto a la planeación de operaciones, mantenimientos, entrenamientos y cursos de acción de la Fuerza. Así, esta herramienta permite en su aplicación el análisis de resultados de las Unidades de Superficie, integrar y correlacionar la información cruzándola de tal forma que facilite el análisis gerencial de los comandantes para la toma de decisiones.

Como resultado de esta experiencia se determinó que las Unidades tipo BDA realizaron un mayor número de operaciones de acuerdo con los planes operacionales asignados por la FNP, que a su vez tuvo una asignación presupuestal para fines de mantenimiento (imprevisto-programado) del 7,26 % y logró una ejecución de 19 procesos de entrenamiento a nivel Unidad; lo anterior demostrando un alto grado de eficiencia y nivel de integración en los aspectos de mantenimiento, entrenamiento y operación para este tipo de unidad durante el año 2021.

Igualmente, se logró establecer que las Unidades tipo Patrullera de Mar tuvieron una participación activa en el cumplimiento de cuatro planes operacionales (Almirante Padilla, centinela 2.0, resplandory santuario) durante el año 2021 representado en el 52,14 % de la totalidad de operaciones realizadas en la FNP. Asimismo, este tipo de Unidad realizó una ejecución del presupuesto de mantenimiento correspondiente al 22,74 % del total asignado al Departamento de Ingeniería de la FNP y desarrolló 27 procesos de entrenamiento a nivel unidad con un 20,1 % de la totalidad de la Flota.

Dentro de los tipos de Unidades se identificaron también cuáles tuvieron una mayor asignación de recursos de mantenimiento, estableciendo una relación entre el número de entrenamientos y el número de mantenimientos realizados por las unidades, facilitando determinar la afectación que se presentó durante la ejecución de las operaciones, con el fin de diseñar un planeamiento o evaluar el existente con miras a optimizar los recursos y medios disponibles.

Finalmente, se discriminó la asignación presupuestal para cada Tipo de Unidad de la ejecución en su mantenimiento, por ejemplo, para las unidades Tipo Patrulleras de Mar en el año 2021 se les asignó el 22,74 % y las para otras unidades con una alta carga en el desarrollo de operaciones como las Tipo BDA tuvieron un 7,26 % del presupuesto total, facilitando el evaluar y diseñar un plan de mantenimiento ajustado al presupuesto y necesidades operacionales de la fuerza dentro de sus proyecciones.

CONCLUSIONES

Es posible inferir que la herramienta Power Bi tiene un amplio y diverso campo de acción para la modelación y análisis de la información respecto a un sinnúmero de aspectos o criterios que se deseen

evaluar en concordancia con temáticas o áreas establecidas de estudio, fortaleciendo la toma de decisiones dentro del proceso de planeamiento. Para el caso del estudio realizado se puede señalar que para el tipo de Unidad mantiene una alta dinámica operacional pero una baja asignación presupuestal respecto al valor total asignado para la FNP.

Estos resultados no puede ser comparables con las Unidades tipo Corbeta y OPV por motivo de la complejidad y robustez de sus equipos aumentando los costos en sus respectivos mantenimientos, sin embargo debido a la carga operacional por el número de operaciones realizadas en el año no hay un equilibrio, ya que un mayor número de operaciones implica más horas de trabajo de los equipos, por ende, un aumento en la periodicidad de sus mantenimientos programados y referente al área de entrenamiento, se encuentra por encima del promedio en comparación de las demás Unidades tipo disminuyendo la probabilidad de errores tácticos y accidentabilidad en el cumplimiento de la operación asignada.

Las Unidades y aspectos analizados (entrenamiento, mantenimiento y operacional) en la FNP son fundamentales en la doctrina de la Armada Nacional de Colombia en la recolección de información para todas las Fuerzas Navales que la componen, por lo cual se deduce que este estudio es aplicable a otras Fuerzas ajustado a sus planes operacionales y tipos de Unidades, logrando estandarizar el proceso de modelación y análisis de información mediante la herramienta Power Bi para fortalecer la toma de decisiones según el planeamiento operacional de la Armada Nacional de Colombia impactando las actividades contempladas en el pentágono estratégico de acuerdo con el Plan de Desarrollo Naval 2042 (especialmente en las áreas de seguridad integral marítima y fluvial, defensa y seguridad nacional y contribución al desarrollo).

A partir del desarrollo del trabajo se recomienda que para mejorar la correlación de la información referente a las Unidades de Superficie en los tres aspectos (mantenimiento, entrenamiento y operaciones) es importante y necesario estandarizar las plantillas de información de carácter cuantitativo asignado a cada aspecto según los criterios más destacados que se deseen analizar, partiendo en la identificación de patrones comunes como el tipo de Unidad y el nombre particular de cada Unidad (manteniendo la seguridad y reserva de la información al interior de la fuerza) con el fin de facilitar la integración y trazabilidad de la información para su empleo en el aplicativo Power Bi y finalizar con la presentación de informes de resultados lo cual facilitará el análisis y la toma de decisiones en la planeación operacional.

Adicionalmente, es fundamental el conocimiento de las capacidades de la herramienta Power Bi para modelar la representación de la información según las necesidades de los objetivos estratégicos y/o tácticos a analizar en el planeamiento de las Unidades de Superficie ya que una selección adecuada de las gráficas facilitará la interpretación de la información de forma práctica e idónea permitiendo un mejor análisis de la información para la correspondiente toma de decisiones. Un ejemplo fue el análisis del plan operacional “Barbudo” enfocándolo a los gastos y costos que se generan en cada una de las temáticas, a la cantidad de personas que participa en el proceso atendiendo el aspecto de talento

humano y lo representativo que puede ser esto para la Armada Nacional de Colombia afectando positivamente los objetivos operacionales y estratégicos de la FNP.

Hay que destacar que debido al nivel de clasificación y reserva que se maneja en este tipo de información en la cual se encuentra plasmada los niveles y planes operacionales que tiene la FNP, el empleo y el objeto de las capacidades de la Unidades de Superficie y la cantidad de presupuesto que la Armada Nacional asignada a las mismas para su mantenimiento es pertinente, en caso de dar continuidad y aplicación a este proyecto, la estandarización de formatos, conceptos y métodos de recopilación de datos para facilitar la interoperabilidad de las dependencias y la efectividad del Power Bi en la toma de decisiones operacionales.

Igualmente, para la interpretación de la información en los informes y paneles del Power Bi se debe tener un conocimiento básico de la interpretación y visualización de las gráficas como resultado de la herramienta con el fin de comprender la modelación y representación de la información y concluir en la determinación de resultados en el planeamiento operacional. Es necesario resaltar y puntualizar que el objetivo de este método de análisis es facilitar la toma de decisiones operacionales y por ende estratégicas en la Fuerza Naval del Pacífico con el empleo de las Unidades de Superficie de una manera cuantitativa aumentado los argumentos que el mando tendrá en consideración adicional a las recomendaciones que cada encargado realiza con base en su experiencia y conocimiento, para lo cual se hace necesario tener una combinación metódica entre lo estadístico-cuantitativo y lo descriptivo - analítico como base empírica del conocimiento.

Se hace necesario establecer un método cuantitativo con una parametrización estadística facilitado por el Power Bi como mecanismo de reflexión y análisis para la toma de decisiones operacionales y, por ende, estratégicas dentro del funcionamiento de las Unidades de Superficie de la FNP alineadas al cumplimiento de los objetivos de seguridad y defensa del área del Pacífico Colombiano, permitiendo una evaluación continua del rendimiento de las unidades y establecer acciones de mejora para mitigar riesgos y mejorar el sistema empleado.

Finalmente, se requiere capacitar a las dependencias que manejan la información referente al funcionamiento y operación de las Unidades de Superficie al interior de las Fuerzas Navales que componen a la Armada Nacional de Colombia respecto al empleo del aplicativo Power Bi para la integración y estandarización de datos logrando una sinergia y relación transversal de las mismas con el objeto de diseñar un planeamiento de las unidades en el cumplimiento de los planes operacionales con un óptimo nivel de entrenamiento, brindando seguridad y garantía en el cumplimiento de la misión y la disminución de los accidentes al interior de las unidades; por último administrar los tiempos y costos de mantenimiento sin que afecte la dinámica operacional de la fuerza.

REFERENCIAS

Alvarado, I. D. T. (2019). El Sistema de Gestión y sus componentes: estratégico, táctico y operacional. *Compendium*, 22(42).

- Becker, L. T., & Gould, E. M. (2019). Microsoft power BI: extending excel to manipulate, analyze, and visualize diverse data. *Serials Review*, 45(3), 184-188.
- Benítez, A. (2018). La implementación de la gestión del riesgo en el método de planeamiento en el nivel operacional.
- Carvalho, K. (2001). Disseminação da informação e informação de Inteligência Organizacional. *DataGramZero*, 2(3), A04. <https://brapci.inf.br/index.php/res/v/5108>
- Choo, C. W. (1999). *La organización inteligente: el empleo de la información para dar significado, crear conocimiento y tomar decisiones*. México DF: Oxford University Press.
- Cruz, Y. (2021). Gestión de información y del conocimiento para la toma de decisiones organizacionales. *Bibliotecas. Anales de investigación*, 11(4), 150-163.
- De la Peña, J. (2012). Inteligencia táctica. *Revista Unisci*, (28), 213-232.
- Ferrari, A., & Russo, M. (2017). *Analyzing Data with Power Bi and Power Pivot for Excel*. Microsoft Press.
- Lago, E. Cantero, L. (2013). Sistema de inteligencia de negocios para el apoyo al proceso de toma de decisiones. *Revista Ingeniería UC*, 20(3), 25-34.
- Moreno-Cevallos, J. Dueñas-Holguín, B. (2018). Sistemas de información empresarial: la información como recurso estratégico. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 141-154.
- Piuma, J. (2017). Aplicación del pensamiento crítico en el proceso de toma de decisiones del Nivel Operacional.
- Poma, E. (2016). Estudio Comparado del Planeamiento Operacional entre Argentina y Perú.
- Poma, R. (2018). Planeamiento operacional subterráneo mediante una evaluación técnica de la mina Marquiga y Marquiga 02 SRL.
- Rodríguez, Z. (2000). Teoría de la decisión multicriterio: un enfoque para la toma de decisiones. *Economía y Desarrollo*, 126(1), 40-45.
- Vásquez, R., Espinoza, J., & Cabrera, M. (2022). Power Bi como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. *Universidad y Sociedad*, 14(S3), 195-207.
- Webb, C., & Crossjoin Consulting Limited. (2014). *Power query for power BI and Excel* (Vol. 1). Apress.
- Wiig, K. (2003). A Knowledge Model for Situation-Handling. *Knowledge Research Institute* (pp. 3-27).

EL PROCESO DE PLANEACIÓN EN EL SECTOR DEFENSA Y SEGURIDAD EN COLOMBIA, 2011-2021

Área temática: planeación y prospectiva

Juan Pablo Montoya Piedrahíta *

Resumen

El proceso de planeación dentro del sector defensa y seguridad en Colombia ha tenido cambios, transformaciones y particularidades durante la última década (2011-2021). Por lo tanto es necesario analizar el impacto actual y a futuro de la normatividad y la política pública en materia de planificación emitidos por el Estado colombiano y sobre el mismo ciclo de planeación del sector. En ese sentido se abordará un diseño metodológico cualitativo, mediante un análisis normativo y de política pública, puntualmente en los últimos Planes Nacionales de Desarrollo, las políticas sectoriales y las institucionales, además de entrevistas a expertos que han participado o hacen parte del ciclo de planeación y un ejercicio de análisis de proyección con respecto a los escenarios posibles y su impacto para el sector en cabeza del Ministerio de Defensa Nacional. Finalmente, este documento pretende generar insumos para el proceso de formulación de las diversas políticas públicas del próximo cuatrienio (2022-2026), ya que los retos y problemáticas que afronta el sector son estructurales y trasciende a un asunto estatal que debe ser analizado en el corto, mediano y largo plazo; teniendo en cuenta que los contextos son cambiantes y las estrategias deben ser flexibles, adaptables y contar con el uso de herramientas de prospectiva.

Palabras clave:

Planeación, presupuesto público, política pública, estrategia y sector defensa y seguridad.

Abstract

The planning process within the defense and security sector in Colombia has undergone changes, transformations and particularities during the last decade (2011-2021). Therefore, it is necessary to analyze the current and future impact of regulations and public policy in terms of planning issued by the Colombian State, and on the same planning cycle of the sector. In this sense, a qualitative methodological design will be addressed, through a normative and public policy analysis, specifically in the recent National Development Plans, sectoral and institutional policies, as well as interviews with experts who have participated or are part of the planning cycle. And a projection analysis exercise regarding the possible scenarios and their impact for the sector headed by the Ministry of National Defense. Finally, this document aims to generate inputs for the process of formulating the various public policies for the next four years (2022-2026), since the challenges and problems facing the sector are structural and transcend a state matter that must be analyzed in the short, medium and long term; taking into account that the contexts are changing and the strategies must be flexible, adaptable and have the use of prospective tools.

Keywords

Planning, public budget, public policy, strategy and defense and security sector.

* Maestría en Estrategia y Geopolítica, Escuela Superior de Guerra. E-mail: jp.montoyap94@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La planeación es el proceso realizado por las organizaciones, tanto públicas como privadas, para garantizar su supervivencia mediante la obtención de sus objetivos estratégicos, el mejoramiento de sus procesos y la elaboración de una proyección de su evolución en el tiempo. Un caso relevante, que permite analizar el alcance y los cambios en el proceso de planeación, es el mejoramiento del ciclo de planeación del sector defensa y seguridad en Colombia durante la última década.

Este documento busca dar alcance a la pregunta de investigación ¿Cuál ha sido el impacto en la última década y potencial de la normatividad y política pública en materia de planificación emitidos por el Estado colombiano sobre el ciclo de planeación del sector defensa y seguridad? Esto a través de la búsqueda de evidencia que permita verificar la hipótesis si el proceso de planeación dentro del sector defensa y seguridad en Colombia tuvo cambios, transformaciones y particularidades durante la última década (2011-2021); que en términos de ciclo político corresponde a tres períodos presidenciales.

Por lo tanto, es necesario analizar el impacto actual y a futuro de la normatividad y la política pública en materia de planificación emitidos por el Estado colombiano sobre el mismo ciclo de planeación del sector, representados en los Planes Nacionales de Desarrollo, las políticas sectoriales y las institucionales enfocadas en la Fuerza Pública. Finalmente, el análisis de los procesos de planeación y política pública durante los últimos años permite identificar los retos y problemáticas estructurales que trascienden a un asunto estatal y que deben ser analizados en el corto, mediano y largo plazo; teniendo en cuenta que los contextos son cambiantes y las estrategias deben ser adaptables, además de contar con el uso de herramientas de prospectiva.

El diseño metodológico cualitativo consta de dos partes; primero, un ejercicio comparativo de la evolución de la normatividad en materia de planeación y de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo (PND) reflejados en las políticas sectoriales, como la Política de Defensa y Seguridad (2018-2022) y la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana (2018-2022), y las demás políticas institucionales de las entidades adscritas al Ministerio de Defensa Nacional. Y segundo, entrevistas semiestructuradas a expertos que participaron en la elaboración del capítulo de defensa del PND, en la planeación presupuestal y en los ciclos de las políticas públicas sectoriales e institucionales. Con las entrevistas se busca determinar la proyección sobre el ciclo de planeación del sector defensa y seguridad. Se realizaron 19 entrevistas a colaboradores del Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Ministerio de Defensa Nacional, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y a miembros de la Fuerza Pública. No se pudo concretar un encuentro con dos congresistas de la Comisión II, ni con personal de la Contraloría General de la República.

2. ESTADO DEL ARTE

Desde las posturas de Herrera (2019), Pineda (2017) y Vivas (2014), la planeación es una herramienta estratégica para fortalecer las capacidades del sector de defensa y seguridad en Colombia. Herrera

(2019) considera que es necesario articular las diferentes metodologías de planeación e instrumentos asociados teniendo en cuenta las restricciones presupuestales para obtener los objetivos de la Fuerza Pública. En particular:

El reto para la Fuerza Pública consiste en lograr un equilibrio ideal entre la visión estratégica y los proyectos y programas que conducen al logro de los objetivos, en un entorno de recursos limitados. En este sentido, se evidenció la necesidad de articular bajo un solo marco las herramientas de planeación por capacidades y gestión de proyectos y programas con el propósito de mejorar los procesos de formulación y gestión de la estrategia de la Fuerza Pública. (Herrera, 2019, p. 8)

A su vez, Vivas (2014) concluye y recomienda que:

La planeación estratégica o por escenarios es una herramienta útil no solo para proyectar el funcionamiento de las organizaciones a largo plazo, sino también puede ser empleada en la consolidación de políticas de Estado como la de seguridad y defensa nacional, pues generaría a partir de la observación de la realidad y del entorno nacional e internacional múltiples alternativas, capaces de responder a los factores que afecten o amenacen la seguridad nacional en el futuro. (Vivas, 2014, p. 41)

Adicionalmente, Vivas (2014) establece que:

Es realmente importante que en Colombia el alto gobierno nacional, el Consejo de Seguridad Nacional junto con todos los miembros del sector defensa, efectúen este ejercicio de planeación con el fin de crear un escenario que permita delimitar con claridad una política de seguridad y defensa coherente con una política de Estado, que sea proyectada a largo plazo y no para solucionar situaciones coyunturales o circunstanciales de los gobiernos de turno. (Vivas, 2014, p. 43)

En ese sentido y con base en el modelo estratégico de Deibel (2007), las políticas son el curso de acción y que hacen parte de un ciclo fundamentado en la evaluación del entorno, el análisis de los medios y fines y la planeación de unos objetivos e instrumentos por parte del gobierno. Del mismo modo Álvarez y Fernández (2018) afirman que en Colombia:

Es probable que exista un vacío intelectual en el arte de gobernar colombiano, ya que durante décadas pareciera costarle trabajo al Estado construir estrategias coherentes en seguridad y defensa de mediano y largo plazo. No obstante, los gobiernos de turno y sus Fuerzas Armadas lo han intentado parcialmente al tomar en consideración la procura del uso de algunos recursos nacionales para alcanzar ciertos objetivos, así como de la fuerza armada y no armada, de forma que aseguren el orden constitucional y la defensa del territorio. (Álvarez & Fernández, 2018, p. 13)

No obstante, esos “intentos parciales” de los que hablan Álvarez & Fernández (2018) por parte de los gobiernos de turno y de la Fuerza Pública, se deben tener en cuenta porque corresponden a diferentes políticas públicas nacionales que se constituyen en guías para cada gobierno nacional y gobiernos locales. En este grupo de políticas se encuentran el Plan Nacional de Desarrollo con categoría de Ley, las políticas sectoriales ejemplificadas en la Política de Defensa y Seguridad y la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana. Igualmente, en el ámbito institucional las Fuerzas Militares y la Policía Nacional se cuentan con documentos de planeación estratégica con visión a 2030 y 2042.

Dichas políticas han cumplido con las etapas descritas por Sánchez (2020): diagnóstico, formulación, implementación, seguimiento y evaluación.

Sin embargo, se presentan fallas en las etapas de implementación y evaluación como lo afirma Arroyave (2011). Además del debate vigente sobre el alcance temporal de las políticas gubernamentales y estatales que desarrollan Álvarez & Fernández (2018), esto sustentado en que en Colombia aún no se cuenta con un Libro Blanco de Defensa, documento de estrategia y política estatal de largo plazo (documento que ha estado en elaboración por parte del sector defensa y seguridad entre 2020 y 2022. Aunque, no se confirmado si se va a emitir oficialmente).

La revisión de documentos institucionales y de las políticas públicas evidencia el avance progresivo en la planeación en el sector de seguridad y defensa en Colombia. Un punto inicial se puede identificar con la expedición de la Ley 152 de 1994 o conocida como Ley Orgánica del Plan de Desarrollo. Esta Ley establece condiciones básicas para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo (PND), el cuales ejecutado en el periodo presidencial correspondiente. Desde el PND “Cambio para construir la paz, 1998-2002” se ha mantenido un capítulo sobre los objetivos y principales acciones que guiarán la planeación del sector defensa y seguridad.

El capítulo de defensa y seguridad del PND se ha constituido como una de las principales guías para la elaboración de políticas sectoriales en materia de defensa y seguridad desde 2003. La Política de Defensa y Seguridad Democrática (PDSD) se convirtió en la primera política pública nacional sectorial que definió objetivos y estrategias en el marco del PND. Posteriormente, esta fue reemplazada por la Política de Consolidación de la Seguridad Democrática (PCSD) vigente entre 2007 y 2010. Estas se destacaron por emitir los principales lineamientos para recuperar el control territorial del Estado, mejorar la situación de orden público en el país y definir la continuidad o ajuste de diferentes programas e iniciativas. Sin embargo, la PSDS fue criticada por no incluir ningún objetivo específico y estrategias sobre seguridad ciudadana, mientras la PCSD presentó una “estrategia de seguridad ciudadana” enfocada en “desarticular a los grupos y bandas responsables de la comisión de delitos de impacto en las ciudades y centros urbanos” (MDN, 2007) sin considerar otras tareas clave, por ejemplo, las relacionadas con la prevención y convivencia, a cargo de la Policía Nacional y autoridades de policía.

La emisión de políticas sectoriales de defensa y seguridad continuó en el periodo 2011-2019. En cada uno de los periodos presidenciales se han elaborado capítulos del PND sobre defensa y seguridad y sus correspondientes políticas sectoriales. Adicionalmente, se emitieron dos políticas de convivencia y seguridad ciudadana en 2011 y 2019. La implementación de estas políticas ha sido resaltada por Leal (2006) y Pizarro (2018) como hito para el fortalecimiento del sector defensa y seguridad por su carácter de “construir sobre lo construido” y constituirse en ejercicios de planeación que se revisan continuamente para mejorar la estrategia. No obstante, se encuentran críticas como las de Ardila y Torrijos (2017) en las que afirma que, pese a que existen estas importantes políticas públicas

Colombia, no se cuenta con el respaldo de una Ley de Seguridad y Defensa o un libro blanco de defensa que permitan definir y formalizar lineamientos de largo plazo.

En contraste, las Fuerzas Militares y la Policía Nacional han elaborado documentos con visión de largo plazo con el propósito de planear escenarios futuros ante las diferentes amenazas, y proyectar su evolución operacional. (Las Fuerzas Militares y la Policía Nacional han elaborado planes estratégicos a mediano y largo plazo al menos en los últimos 20 años. Progresivamente, estos documentos han incorporado resultados de ejercicios de prospectiva para identificar condiciones operacionales futuras deseadas). Actualmente, están vigentes los documentos: Plan Estratégico Militar de Transformación (PEMT) 2042, Plan Estratégico de Transformación Ejército del Futuro (PETEF) del Ejército Nacional, el Plan de Desarrollo Naval 2042, la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042 y el Proceso de Transformación Integral de la Policía Nacional 2030. Adicionalmente, el Ministerio de Defensa implementó la Metodología de Planeación por Capacidades, eje fundamental para la planeación en el mediano y largo plazo para el sector.

3. MARCO CONCEPTUAL

En el sector defensa y seguridad en Colombia se han adaptado diferentes metodologías y conceptos de planeación. La revisión de algunos de estos sirve de referencia para entender la evolución de los documentos de política pública que dan cuenta de los objetivos y estrategias de las Fuerzas Militares y Policía Nacional. En particular, la planeación estratégica para la adaptación rápida ante los cambios y disrupciones en el entorno y el uso del presupuesto como instrumentos de planeación.

El ámbito teórico de las ciencias económicas y administrativas sobre la planeación estratégica para organizaciones privadas es resumido por Amorocho et al. (2009):

La planeación estratégica se ha enriquecido con la teoría denominada gestión del conocimiento. Laura Zapata Cantú (2001, p. 18), en su estudio sobre el tema, presenta los autores que han contribuido a nutrir esta teoría, expuesta principalmente por Nonaka Takeuchi (1995), Kogut Zander (1992), Szulanski (1996), Fiddler (2000) y Gupta y Govindarajan (2000), cuyo planteamiento señala que el conocimiento de la empresa es el único recurso inimitable y fuente potencial de ventaja competitiva. El supuestobásico de este enfoque es que las empresas están constituidas sobre un cúmulo de conocimientos. Por su parte, la escuela japonesa considera en esta teoría que las organizaciones deberían ser estudiadas a través de sus procesos internos, es decir, desde el punto de vista de cómo éstas crean y transfieren conocimiento. (Amorocho et al., 2009, p. 18)

Sin embargo, en el presente existen turbulencias en los entornos que hacen de la planeación estratégica una herramienta de alta complejidad y de permanente observación; pensar en ambientes macroeconómicos estables, legislaciones permanentes, mercados cercanos, no dejan de ser postulados ingenuos que falsean la realidad y, por tanto, desvían la construcción del futuro. “Aunque no actúe, la organización participa en todo momento de la trama compleja de su entorno. El no actuar es una forma de participar” (Manucci, 2006, p. 15).

Manucci (2006) reconoce las preocupaciones para hacer gestión en las organizaciones bajo condiciones complejas e inestables. Los primeros años de este siglo XXI son una muestra de que las variables no siempre responden a relaciones causa-efecto. Asimismo, los sistemas interactúan unos con otros, en entornos cambiantes y en tiempos muy cortos: “No se puede controlar la dinámica del entorno para adecuarla a las condiciones del plan corporativo” (Amarocho et al., 2007, p. 22).

Bajo este contexto, las estrategias deben adaptarse de manera rápida so pena de perder la oportunidad de sus resultados. Al igual se reconoce la necesidad de revisión continua de las estrategias, “en la dinámica de la trama actual, no hay garantías de permanencia de ninguna estrategia en el tiempo. La mayor competencia de un proyecto estratégico es la propia incertidumbre que generan su implementación y su desarrollo en el devenir de los acontecimientos.” (Amarocho et al., 2009, p. 18). El consenso de la revisión continua de las estrategias se extiende a la planeación a largo plazo “en planeación estratégica, que incluye el largo plazo, es fundamental la evaluación y el control, solo así se puede maniobrar para sortear los cambios de las variables, o de su comportamiento, y efectuar los ajustes necesarios a las estrategias para conseguir resultados.” (Amarocho et al., 2009).

La planeación estratégica se ha apoyado en la utilización de varias herramientas que permiten la definición y seguimiento de metas. Estos ejercicios de seguimiento permiten contar con información para el ajuste de la estrategia. Además, según Amorocho et al. (2009):

Hoy se conocen técnicas de planeación estratégica que de alguna manera tratan estos asuntos; por ejemplo, los mapas estratégicos, como el Balanced Scorecard, de Robert Kaplan y David P. Norton (1992), conocido como Cuadro de Mando Integral (CMI). Según el modelo, las organizaciones tienen que repensar sus prioridades estratégicas y describir sus estrategias: “Los mapas estratégicos son una manera de proporcionar una visión macro de la estrategia de una organización, y proveen un lenguaje para describir la estrategia, antes de elegir las métricas para evaluar su performance”. (Amarocho et al., 2009)

Por otro lado, la teoría de la Nueva Gestión Pública (NGP) establece que “el presupuesto es visto como un instrumento de ejecución de las políticas públicas y como un elemento que permite el mejoramiento de la gestión, a través de la implementación de mecanismos que hagan más eficiente el gasto.” (Nariño & Tami, 2017, p. 4). Esto implica que el presupuesto se constituye en una herramienta clave para determinar los límites de la planeación de una organización. En el caso del sector defensa y seguridad en Colombia, Nariño y Tami (2017), basadas en García (2007), afirman que la “financiación del sector Defensa y Seguridad a través de rentas temporales no es sostenible financieramente, dado que no está vinculada con un proceso de planeación presupuestal de largo plazo que tenga en cuenta las presiones presupuestales futuras de las inversiones.” (Nariño & Tami, 2017, p. 4).

4. ARGUMENTOS

Durante el período de 2011 a 2021 se desarrollaron diferentes políticas públicas en materia de planeación para el sector defensa y seguridad en Colombia, evidenciando cambios, transformaciones y

particularidades. Puntualmente, en este periodo de tiempo se han realizado tres Planes Nacionales de Desarrollo, cinco políticas sectoriales y actualmente se cuentan con las políticas institucionales (ver figura 1); en las que se priorizaron las de la Fuerza Pública, además de las guías metodológicas de planeación por capacidades que han sido un siendo un eje fundamental de la planeación en el mediana y largo plazo para el sector.

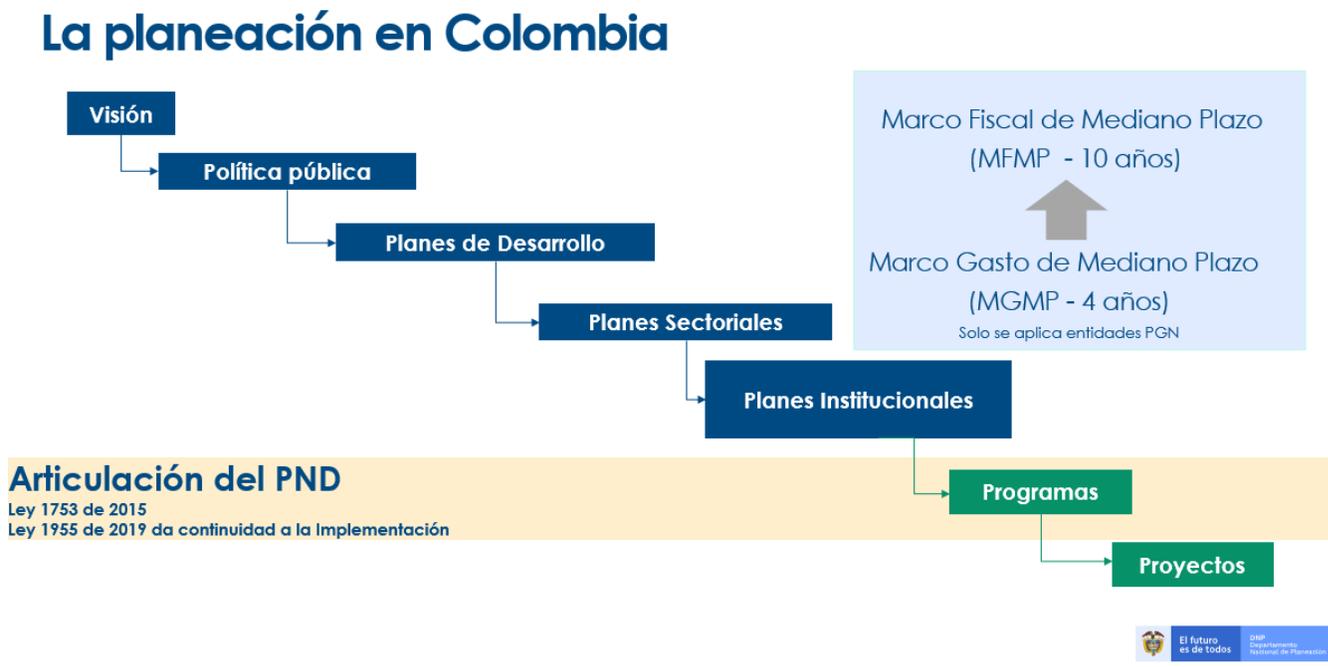


Figura. 1. La planeación en Colombia. Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP).

4.1. Plan Nacional de Desarrollo

Como se mencionaba anteriormente, los Planes de Desarrollo son considerados como la gran política pública de los gobiernos presidenciales, más allá del debate sobre políticas de gobierno y Estado que proponen Álvarez y Fernández (2018) y (Giraldo, F., comunicación personal, marzo de 2021), durante el período de tiempo analizado se han desarrollado tres planes de desarrollo para los dos gobiernos de Juan Manuel Santos Calderón y el de Iván Duque Márquez.

Con respecto al Plan Nacional de Desarrollo (2010-2014) llamado “Prosperidad para todos: más empleo, menos pobreza y más seguridad” se cuenta con el capítulo V “Consolidación de la paz” y puntualmente la sección A sobre Seguridad – orden público y seguridad ciudadana en la que se realiza un diagnóstico inicial. Posteriormente, establece los lineamientos estratégicos en materia de orden público como lo son: la seguridad para la prosperidad, la consolidación de la seguridad y lucha contra los Grupos Armados al Margen de la Ley (GAML), la lucha contra el narcotráfico y la ilegalidad, las

capacidades estratégicas y la modernización del Sector Seguridad y Defensa. Adicionalmente, este PND cuenta con cinco ejes temáticos para el ámbito de la seguridad y convivencia ciudadana los cuales son: prevención social y situacional, presencia y control policial, justicia y denuncia, cultura de legalidad y convivencia y ciudadanía activa y responsable. Finalmente, este documento presenta unas metas en materia de seguridad y defensa y seguridad y convivencia ciudadana (Restrepo, D., comunicación personal, marzo de 2021).

Por otro lado, el Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018) “Todos por un nuevo país: paz, equidad y educación” incluyó el capítulo VIII “Seguridad, justicia y democracia para la construcción de la paz” que cuenta con un diagnóstico, pero de forma novedosa incluye una visión: “La constante ampliación de las oportunidades económicas y sociales en el país ha sido posible gracias al camino recorrido para garantizar, a todos los que habitan el territorio nacional, un extenso conjunto de derechos que les permiten llevar a cabo proyectos de vida en libertad y sociedad, según sus valores, creencias e intereses. Sin embargo, aún existen muchas cosas por hacer. Ello supone articular los esfuerzos del Estado en materia de seguridad, justicia y democracia desde el horizonte estratégico de construcción de paz y, en particular, ante la necesidad de cerrar las brechas creadas por el conflicto en cuanto al ejercicio de derechos y disfrute de las condiciones de convivencia pacífica requeridas para el desarrollo en los territorios” (Gobierno de Colombia, 2015, p. 461). Los cinco objetivos del capítulo son: proveer seguridad y defensa en el territorio nacional, promover la prestación, administración y acceso a los servicios de justicia con un enfoque sistémico y territorial, fortalecer las instituciones democráticas para la promoción, respeto y protección de derechos humanos, la construcción de acuerdos sociales incluyentes y la gestión pacífica de conflictos, fortalecer la articulación del Estado en un marco de política criminal coherente, eficaz y con enfoque restaurativo y enfrentar el problema de las drogas desde una perspectiva integral y equilibrada (Restrepo, D., comunicación personal, marzo de 2021).

Por último, el Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022) “Pacto por Colombia, pacto por la equidad” cuenta con el pilar de legalidad, del cual hace parte la línea de seguridad, autoridad y orden para la libertad. Contiene un diagnóstico y formula seis objetivos: desarticular las organizaciones criminales que persisten en el país, disminuir el porcentaje de hectáreas de cultivos ilícitos en Colombia, realizar intervención integral en zonas estratégicas (ZEII) que permitan sustituir economías ilícitas por lícitas, prevenir y sancionar los delitos de alto impacto mejorando la capacidad de reacción de las autoridades de policía, fortalecer las capacidades de Defensa y Seguridad Nacional y garantizar la protección a los líderes sociales amenazados junto con sus respectivas estrategias y metas. Para destacar en este PND es que se tiene en cuenta una visión al largo plazo, ya que se articulan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de 2030 (González, L., comunicación personal, marzo de 2021).

4.2. Políticas sectoriales

Los planes sectoriales entre 2011 y 2021 corresponden a tres Políticas de Defensa y dos Políticas de Convivencia y Seguridad Ciudadana, los cuales se han derivado de los PND y han seguido para su elaboración e implementación la metodología del ciclo de política pública (ver figura 2). Sin embargo,

como argumentan Arroyave (2011) y Gélvez (comunicación personal, marzo de 2021) estas políticas aún presentan fallas en las etapas de seguimiento y evaluación.

¿Cómo elaborar una Política Pública?

Cinco etapas que corresponden al ciclo de la política pública



DNP(2019) Guía metodológica para la formulación, implementación y seguimiento de los Planes Integrales de Seguridad y Convivencia Ciudadana (PISCC)



Figura. 2: El ciclo de las políticas públicas a partir del ejemplo del PISCC. Fuente: DNP.

Inicialmente el gobierno presidencial (2010-2014) elaboró la Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad la cual tiene un diagnóstico de la situación de seguridad y defensa nacional, unas responsabilidades que tiene el sector, un concepto estratégico, un objetivo nacional definido como “alcanzar condiciones de seguridad óptimas para garantizar la prosperidad democrática y el progreso nacional.” (Gobierno de Colombia, 2011, p. 31), seis objetivos sectoriales, 20 estrategias para cumplir esos objetivos y un tablero de control como herramienta para realizar el seguimiento y evaluación de esta política (Tami, A., comunicación personal, agosto de 2021).

Asimismo, para el año 2011 se elaboró la primera política pública sectorial en materia de convivencia y seguridad ciudadana denominada Política Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana, enmarcada también del PND, que comienza analizando unos desafíos para así formular un objetivo general “proteger a los nacionales y extranjeros que se encuentren en Colombia, en su vida, integridad, libertad y patrimonio económico, por medio de la reducción y la sanción del delito, el temor a la violencia y la promoción de la convivencia.” (Gobierno de Colombia, 2011, p. 6) y cinco ejes: prevención social y

situacional, presencia y control policial, justicia, víctimas y resocialización, cultura de la legalidad y convivencia y ciudadanía activa y responsable. A su vez, contaba una metodología de indicadores para las etapas de implementación y seguimiento. Pero no se realizó una evaluación ni trazabilidad a esta política, más allá de haber sido novedosa y la primera en el ámbito de la convivencia y seguridad ciudadana (Ortega, C., comunicación personal, agosto de 2021).

Para el cuatrienio 2014-2018 se presentó la “Política de Defensa y Seguridad: Todos por un nuevo país” que realiza un análisis del escenario estratégico, unos principios y un objetivo general definido como “coadyuvar a la terminación del conflicto armado, la consolidación de la paz, el desarrollo socioeconómico, la defensa de los intereses nacionales y el mejoramiento de la seguridad pública y ciudadana, mediante el mantenimiento de una Fuerza Pública moderna, fortalecida, motivada y operativa” (Gobierno de Colombia, 2015, p. 15). Para finalizar, conforme a lo aportado por la experta Tami, A. (comunicación personal, agosto de 2021) esta política cuenta con nueve objetivos estratégicos, aunque tiene falencias al no tener en cuenta las etapas de evaluación.

Para los años 2018-2022 están vigentes la Política de Defensa y Seguridad (PDS) y la Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana (PMSCS). Con respecto a la PDS está en cuenta un enfoque multidimensional de la seguridad con respecto a las acciones multisectoriales e interagenciales y estable como objetivo “generar las condiciones de seguridad y convivencia que preserven y potencialicen los intereses nacionales, la independencia, soberanía e integridad del Estado, al tiempo que restablezcan y fortalezcan la legalidad, promuevan el emprendimiento, el desarrollo económico y sirvan para construir una sociedad con equidad y reconocimiento pleno de los derechos humanos” (Gobierno de Colombia, 2019, p. 45) Adicionalmente, la PDS cuenta con cinco ejes de transformación, tres fases, siete objetivos estratégicos y siete líneas de política. Por último, como aspectos novedosos se destacan la importancia y protección del medio ambiente y los recursos naturales, se tiene presentes los temas de ciberseguridad y ciberdefensa, además de priorizar el enfoque delictivo y la lucha contra la criminalidad, se fortalecen las áreas de bienestar de los miembros de la Fuerza Pública y sus familias y se articula con otras políticas sectoriales reduciendo la duplicidad de esfuerzos en los diferentes niveles de gobierno. Aunque tampoco se ha desarrollado un ejercicio de evaluación de la PDS.

Por otro lado, con respecto a la PMSCS esta es la segunda política pública sectorial en materia de convivencia y seguridad ciudadana siendo un instrumento de política pública que busca consolidarse como el referente de direccionamiento para gobernadores y alcaldes, en la elaboración de los Planes de Desarrollo Territoriales y de los Planes Integrales de Seguridad y Convivencia Ciudadana (PISCC). Su objetivo principal es el de “construir y mantener las condiciones necesarias para el ejercicio de los derechos y las libertades públicas, el respeto a la dignidad humana, la vigencia del Estado social de derecho, en un ambiente de convivencia democrática, paz y de armonía con la naturaleza.” (Gobierno de Colombia, 2019, p. 45). Esta política pública sectorial cuenta con cinco ejes de transformación, siete principios rectores, 20 líneas de política y seis ejes transversales. Finalmente, este documento en su momento, y con base en los conceptos de Sánchez (2020), fue modificado en las etapas de

implementación al otorgar responsabilidades a diversas entidades sin ningún consenso o socialización, además de establecer una evaluación de impacto que es inviable en materia de seguridad; por lo que se tuvo que adaptar a una metodología de seguimiento y cumplimiento de indicadores, tal como lo afirma la experta Miranda, C. (comunicación personal, agosto de 2021).

4.3. Políticas institucionales

Con relación a las políticas institucionales es necesario precisar que se analizaron los documentos de planeación vigentes para la Fuerza Pública. Es necesario resaltar que estas políticas se enmarcan en los PND y las políticas sectoriales, cuentan con una visión al largo plazo 2030 y 2042, y además poseen una rigurosidad metodológica en relación con los diferentes ciclos o etapas de las políticas públicas.

Las Fuerzas Militares elaboraron el Plan Estratégico Militar de Transformación a 2042 el cual incluye antecedentes, análisis del ambiente estratégico como diagnóstico, los pilares de la transformación, siete objetivos estratégicos con sus respectivas metas y una matriz de seguimiento y control de metas e indicadores, como lo manifestó la experta Torres, B. (comunicación personal, agosto de 2021).

Igualmente, desde la Armada Nacional se formula el Plan de Desarrollo Naval a 2042 que está compuesto por un diagnóstico mediante un análisis tanto interno como externo y de tendencias mundiales, el escenario prospectivo a 2042 para esta institución, el direccionamiento estratégico con sus respectivos objetivos con visión de largo plazo y cinco estrategias: defensa y seguridad, intereses marítimos y fluviales, alianzas, recursos del sector defensa, desarrollo tecnológico y capacidades, y por último, establece los roles, funciones y estructura de la Armada Nacional, según lo discutido con el experto Serrano, L. (comunicación personal, noviembre de 2021).

Por su parte, la Fuerza Aérea desarrolló la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial también a 2042. Este documento fundamenta un marco estratégico con la misión, valores y principios para esta entidad del sector, además de unos pilares derivados de las áreas misionales. Finalmente, se realiza un plan al corto plazo, mediano y largo plazo mediante el análisis de escenarios institucionales para el 2022, 2030 y 2042. (Pérez, L., comunicación personal, noviembre de 2021).

Por último, la Policía Nacional diseñó el Proceso de Transformación Integral (PTI). Los lineamientos del PTI son: prevención, protección y respeto por los derechos humanos, el nuevo estatuto disciplinario, la profesionalización y desarrollo policial, el uso de la fuerza, la participación ciudadana, mayor tecnología para la efectividad y transparencia policial, la nueva identidad para aproximarse al ciudadano, el desarrollo personal y profesional con enfoque humano, el nuevo modelo de vigilancia policial y el programa ‘Soy joven y estoy contigo’. Este documento contó con el apoyo de asesores externos nacionales y extranjeros; también tiene en cuenta las modificaciones legislativas para la implementación de esta política, y finaliza con unos retos y desafíos a nivel prospectivo que debería responder y afrontar el PTI (Arias, D., comunicación personal, diciembre de 2021).

4.4. Planeación por capacidades

Los expertos resaltaron la importancia del modelo de capacidades (Gaitán, M., comunicación personal, agosto de 2021). La planeación por capacidades es una estrategia en cabeza del Ministerio de Defensa Nacional mediante la Resolución 7144 de 2018, que se fundamenta en unas guías metodológicas que han sido un eje fundamental de la planeación del sector en el mediano y largo plazo.

Para este documento analizaron diferentes casos internacionales como el de Estados Unidos, Reino Unido, Corea del Sur, Canadá, España y Chile. Conforme a la resolución el Modelo de Planeación y Desarrollo de Capacidades de la Fuerza Pública (CAPACITAS) se define como “el conjunto de procesos, instancias responsables y productos que, de manera articulada y continua, traducen los lineamientos políticos y las prioridades estratégicas de defensa y seguridad, en las capacidades operacionales requeridas para la proyección y desarrollo en el mediano y largo plazo de una Estructura de Fuerza flexible, adaptable y sostenible” (Gobierno de Colombia, 2018, p. 17), teniendo muy presente el enfoque de la planeación al largo plazo.

Adicionalmente se establece como concepto estratégico: “el análisis de las condiciones, circunstancias e influencias políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales, legales, delincuenciales, militares y policiales, en escalas global, regional, nacional y local, y sus tendencias en el mediano y largo plazo, que puedan generar oportunidades y amenazas a la defensa y seguridad de la Nación” (Gobierno de Colombia, 2018, p. 36). A su vez, se define el concepto operacional como “la respuesta concepto estratégico y determinan los lineamientos de la respuesta de cada una de las Fuerzas para dar solución a los desafíos identificados” (Gobierno de Colombia, 2018, p. 45). Finalmente, se propone el cierre de brechas de capacidad que también son articulados con la planeación presupuestal y financiera.

5. CONCLUSIONES

Es necesario destacar los avances y aportes que han logrado las políticas públicas de los diferentes gobiernos, como lo son los Planes Nacionales de Desarrollo, los cuales marcan el curso de acción cada cuatrienio. En el ámbito sectorial, se destacan las políticas de defensa y seguridad cuentan con casi dos décadas de historia en el país, y las políticas de convivencia y seguridad ciudadana impulsadas por los últimos dos gobiernos. Finalmente, en el ámbito institucional las Fuerzas Armadas han venido analizando y promulgando políticas con visión al mediano y largo plazo para los años 2030 y 2042, estas estrategias deben ser adaptadas y modificadas de acuerdo con los cambios de contexto y de capacidades que vayan surgiendo. En suma, este documento mostró la aplicación de los procesos de planeación que se desarrollan en las diversas instituciones y el mejoramiento continuo del pensamiento estratégico colombiano, pese a que aún hay retos y desafíos por superar; teniendo un equilibrio entre lo técnico y lo político.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realizara con éxito. En especial a mi tutor, jefes y compañeros del Departamento Nacional de Planeación y de otras entidades por compartirme sus conocimientos. Por último, a toda mi familia y amigos por acompañarme en este proceso.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. (2000). La necesidad de la planeación estratégica en las organizaciones industriales modernas. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 4(11), 17-28.
- Álvarez, C., & Fernández, A. (2018). *Hacia una Gran Estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá: Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”.
- Amorocho et al. (2009). *Planeación estratégica de largo plazo: una necesidad de corto plazo*. Barranquilla: Pensamiento & Gestión.
- Ardila, C., & Torrijos, V. (2017). *Políticas Públicas de Seguridad y Defensa: herramientas en el marco del postconflicto en Colombia*. Bogotá: Escuela Superior de Guerra.
- Arroyave, S. (2011). Las políticas públicas en Colombia. Insuficiencias y desafíos. Medellín. *Revista Forum*.
- Deibel, T. (2007). *Foreign Affairs Strategy*. Nueva York. Cambridge University Press.
- Fundación Buen Gobierno. (1996). *Destino Colombia: proceso de planeación por escenarios*. Bogotá.
- García, M., & Revelo, J. (2018). *El Estado en la periferia: historias locales de debilidad institucional*. Bogotá: Dejusticia.
- Gobierno de Colombia. (2009). *La Fuerza Pública y los Retos del Futuro*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2011). *Plan Nacional de Desarrollo Prosperidad para todos*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobierno de Colombia. (2011). *Política Integral de Seguridad y Defensa para la Prosperidad*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2011). *Política Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo Todos por un nuevo país: paz, equidad y educación*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobierno de Colombia. (2014). *Política de Seguridad y Defensa todos por un nuevo país*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2018). *Guía metodológica de planeamiento por capacidades*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2018). *Guía metodológica para la proyección de financiación de capacidades*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.

- Gobierno de Colombia. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo Pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobierno de Colombia. (2019). *Política de Defensa y Seguridad*. Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2019). *Política Marco de Convivencia y Seguridad Ciudadana*. Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2020). *Conceptos normativos de la gestión pública territorial para la convivencia y la seguridad*. Bogotá: Ministerio del Interior y Policía Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2020). *Guía metodológica para la formulación, implementación y seguimiento de los Planes Integrales de Seguridad y Convivencia Ciudadana (PISCC)*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobierno de Colombia. (2020). *Plan de Desarrollo Naval 2042*. Bogotá: Armada Nacional.
- Gobierno de Colombia. (2022). *Proceso de Transformación Integral*. Bogotá: Policía Nacional de Colombia.
- Gobierno de Colombia. (s.f.) *Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042*. Bogotá: Fuerza Aérea Colombiana.
- Gobierno de Colombia. (s.f.) *Memorias al Congreso*. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.
- Gobierno de Colombia. (s.f.) *Plan Estratégico Militar de Transformación 2042*. Bogotá: Comando General Fuerzas Militares de Colombia.
- Gutiérrez, F. (2020). *¿Un nuevo ciclo de la guerra en Colombia?* Bogotá: DEBATE.
- Herrera, J. (2019). *Articulación de las herramientas de planeación por capacidades y la gerencia de proyectos y programas en el sector defensa (tesis de posgrado)*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Leal, F. (2006). *La inseguridad de la seguridad: Colombia 1958-2005*. Bogotá: Editorial Planeta.
- Mantilla, J. (2022). *Aún no es tarde: ideas y acciones para garantizar la seguridad en Colombia*. Bogotá: FIP.
- Melo, J. (2020) *Colombia: una historia mínima*. Bogotá: Crítica.
- Melo, J. (2021) *Colombia: las razones de la guerra*. Bogotá: Crítica.
- Ministerio de Defensa Nacional -MDN- (2007). *Política de Consolidación de la Seguridad Democrática (PCSD)*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Defensa Nacional -MDN- y Presidencia de la República (2003). *Política de Defensa y Seguridad Democrática*.
- Nariño, M., & Tami, A. (2017) *Análisis de la sostenibilidad del gasto en defensa y seguridad en Colombia desde el enfoque de la Nueva Gestión Pública (tesis de posgrado)*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Pineda, M. (2017). *Planeación basada en capacidades, herramienta de gestión para la transformación y futuro de la Fuerza Pública en Colombia (tesis de posgrado)*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Grada.

- Pizarro, E. (2018). *De la guerra a la paz: las Fuerzas Militares entre 1996 y 2018*. Bogotá: Editorial Planeta.
- Sánchez, D. (2020). *Introducción al estudio de las políticas públicas*. Saber Servir. No 4.
- Schmalbach, J.: Herrera, T. & Ávila, F. (2010). *La planeación por escenarios: revisión de conceptos y propuestas metodológicas*. *Prospectiva*, 8(2), 21-29.
- Schwartz, P. (2011). *La planificación estratégica por escenarios*. *Cuadernos de Administración*, 14 (21), 201-225.
- Vivas, D. (2014). *Planeación estratégica: en búsqueda de un escenario favorable para la seguridad y la defensa nacional (tesis de posgrado)*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

MODELO DE NEGOCIO DE BIOFÁBRICA EN ARGENTINA

Área temática: procesos productivos

Romina Couselo*
 María Celeste Riccobelli**
 Eduardo Williams***
 Manuela Pendón****

Resumen

Las biofábricas promueven un modelo de microempresa que utiliza como principal insumo los recursos locales propios de la región (hongos, bacterias, micorrizas, levaduras y otros organismos benéficos) transformándolos en productos agroecológicos para combatir las principales plagas y enfermedades, y mejorar la nutrición de los cultivos recuperando la vida y salud de los suelos. La comercialización a nivel local permite a los agricultores reducir el impacto ambiental, disminuir costos de producción impactando de manera favorable en la economía familiar, mejorar la competitividad a nivel de la organización, además de la ventaja comparativa a través de ofertar productos orgánicos para nichos específicos. El objetivo del trabajo es mostrar la viabilidad de mercado, técnico y económico - financiero de un proyecto de una biofábrica de la región del cinturón verde de la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires. Para lo cual, se presenta un modelo de negocio de la biofábrica con el estudio de mercado consumidor, competidor, de productos sustitutos, determinación y estrategia de precio, demanda estimada y proyectada; el estudio técnico con la producción de cada biofertilizante, localización, layout; y el dimensionamiento económico, demostrando la viabilidad de cada uno y concluyendo en la factibilidad del mismo.

Palabras clave: Biofertilizantes, biofábricas, modelo de negocio.

Abstract

The biofactories promote a microenterprise model that uses the region's own local resources (fungi, bacteria, mycorrhizae, yeasts and other beneficial organisms) as the main input, transforming them into agroecological products to combat the main pests and diseases, and improve crop nutrition, recovering the life and health of the soil. Local commercialization allows farmers to reduce the environmental impact, reduce production costs and have a favorable impact on the family economy, improve competitiveness at the organizational level, and gain a comparative advantage by offering organic products for specific niches. The objective of this work is to show the market, technical and economic-financial feasibility of a biofactory project in the green belt region of the city of La Plata, capital of the province of Buenos Aires. For this purpose, a business model of the biofactory is presented with the study of the consumer market, competitors, substitute products, determination and pricing strategy, estimated and projected demand; the technical study with the production of each biofertilizer, location, layout; and the economic dimensioning, demonstrating the viability of each one, and concluding in its feasibility.

Keywords: Biofertilizers, biofactories, business model.

* Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. E-mail: romina.couselo@ing.unlp.edu.ar

** Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

*** Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

**** Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Un área de investigación científica prioritaria para el desarrollo del país y de amplia expansión en los últimos años a nivel mundial es la biotecnología y su aplicación a través de las innovaciones en la producción y comercialización de biofertilizantes elaborados por las biofábricas. Las empresas agrobiotecnológicas vinculan la investigación científica con la actividad agrícola, con el fin de cambiar el modelo agrícola actual por uno más ecológico, sostenible y rentable. El uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas convencionales en el campo no solo deterioran la calidad del suelo, sino que también degradan la calidad del agua del subsuelo y, por lo tanto, los nutrientes minerales disponibles, causando efectos negativos como pérdidas financieras, calidad alimentaria, contaminación ambiental, infertilidad del suelo agrícola, e incluso el desarrollo de enfermedades tanto de los animales como en seres humanos que se encuentran en los terrenos donde se utilizan los agroquímicos.

La demanda actual de productos agroecológicos como los biofermentos y biopreparados ha aumentado su uso en la agricultura, en parte por el encarecimiento de los fertilizantes y plaguicidas químicos sintéticos, pero también como una respuesta a las exigencias de los mercados por alimentos sanos e inoocuos, que cumplan con las normas internacionales de niveles de residuos de sustancias químicas para frutas y hortalizas de consumo en fresco. Con el objetivo de transferir tecnologías innovadoras, mejorar la productividad agrícola, reducir el impacto ambiental y propiciar la adaptación al cambio climático se enfoca la implementación de biofábricas, que son centros comunitarios para la elaboración de productos agroecológicos para la nutrición y protección de cultivos.

Las biofábricas se promueven como un modelo de microempresa que utiliza como principal insumo los recursos locales propios de los bosques de la región (hongos, bacterias, micorrizas, levaduras y otros organismos benéficos) transformándolos en productos agroecológicos para combatir las principales plagas y enfermedades, y mejorar la nutrición de los cultivos recuperando la vida y salud de los suelos. La comercialización a nivel comunitario les permite a los agricultores reducir el impacto ambiental, disminuir los costos de producción impactando de manera favorable en la economía familiar, mejorar la competitividad a nivel de la organización y disponibilidad una ventaja comparativa a través de ofertar productos orgánicos para nichos específicos.

El objetivo del trabajo es mostrar la viabilidad de mercado, técnico y económico - financiero de un proyecto de una biofábrica de la región del cinturón verde de la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires.

2. MODELO DE NEGOCIO DE BIOFÁBRICA

2.1. Problemática detectada y solución

La industria agropecuaria en Argentina es el motor de la economía, lo que significa una constante explotación de los suelos, ya sea de forma agrícola o ganadera. En el sector agrícola, la siembra masiva período tras período genera un deterioro en los suelos, ya sea por los nutrientes extraídos como

también por los productos químicos que son necesarios utilizar para que las cosechas sean efectivas y así poder tener productos de calidad. El uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas en los campos e invernaderos a largo plazo afectan al ecosistema, pudiendo generar en él una sobrecarga de nutrientes en el suelo, afectando tanto a las siembras futuras como también a la contaminación de los acuíferos. Además, con el uso excesivo de plaguicidas se produce una erradicación involuntaria de insectos y bacterias positivas para el medio ambiente.

Esta problemática se suma al cambio constante de las nuevas generaciones que buscan mejorar la calidad de vida, centrándose en que la comida consumida esté libre de tóxicos y que su producción sea consciente con el medio ambiente.

Para solucionarlo, se debería implementar una alternativa sustentable a los agroquímicos, ya que sin prevención y control, las siembras no prosperan, para lo que se propone implementar un modelo de negocio alrededor de la fabricación de fertilizantes, insecticidas y fungicidas que aporten las energías y barreras necesarias para la siembra, a base de materias primas naturales que no afecten el futuro de los ecosistemas.

2.2. Estudio de mercado

2.2.1. *Producto*

El proyecto se basa en la producción de bioinsumos para la agronomía, como fertilizantes, fungicidas e insecticidas, producidos con materias primas orgánicas en su mayoría, combinados con productos químicos con poco impacto ambiental y que no dejan residuos significativos que contaminen los suelos. Ver figura 1.



Figura 1. Envases de biofertilizantes. Fuente: autores.

Los productos serán:

- Caldo sulfocálcico: fungicida y estimulante para plantaciones débiles.
- Purín de ortiga: estimulación de crecimiento de los cultivos.
- Decocción de cola de caballo: fungicida, insecticida y bioestimulante.
- Supermagro: fertilizante.

Estos productos son ideales para la producción de alimentos orgánicos, ya que no dejan residuos en las frutas/verduras/hortalizas como tampoco afectan desfavorablemente a los suelos para siembras futuras.

2.2.2. Mercado consumidor

2.2.2.1. Demanda actual y proyectada del producto

El cinturón frutihortícola de La Plata en los últimos siete años incrementó la tendencia del uso de bioinsumos. De acuerdo con un estudio realizado, aproximadamente el 1 % de la población total de La Plata y alrededores es vegana (alrededor de un millón de personas). Además, se estima que cada persona demanda 4,1 litros anuales de bioinsumos. Siendo así la demanda proyectada para el primer año de 40.200 litros anuales. Para los siguientes años se contará con un crecimiento del 2 %, debido al vuelco de las personas sobre una alimentación más saludable y consciente. Ver figura 2.

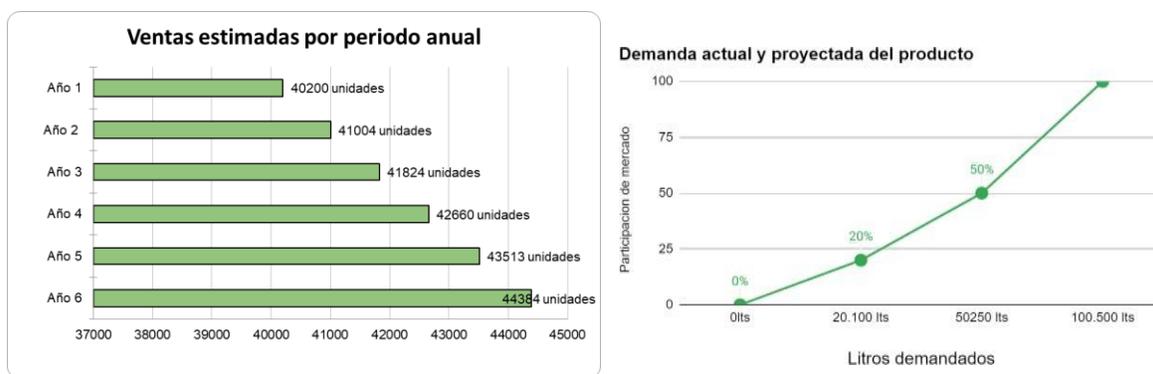


Figura 2. Demanda actual y proyectado de los biofertilizantes. Ventas estimadas. Fuente: autores.

2.2.2.2. Segmentación de acuerdo con el uso del producto

Los principales consumidores de los productos van a ser los productores del cordón frutihortícola platense y una pequeña porción de la siembra extensiva de la región. Con los datos recolectados y las posibilidades que tenemos de fábrica, se estima que se puede cubrir el 20 % de la demanda actual para el cordón frutihortícola y una pequeña parte de la siembra extensiva, teniendo una relación 90 % pequeños productores, 10 % siembra extensiva. Ver figura 3.

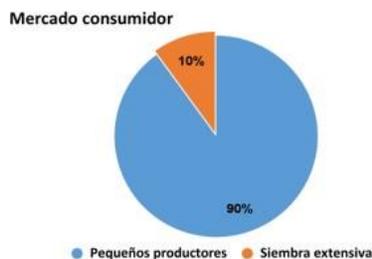


Figura 3. Distribución del mercado consumidor. Fuente: autores.

2.2.2.3. Característica del segmento

La diferencia sustancial de los dos grupos apuntados es la cantidad demandada por cada uno, teniendo que hacer la diferencia ya que a la siembra extensiva hay que proporcionales otra presentación en mayor volumen y con un período de tiempo de entrega más corto. La necesidad a cubrir surge de una parte de la sociedad que desea empezar a producir de manera consciente con el medio ambiente y así tener una mejor calidad en los alimentos, con el fin de mejorar el estilo de vida, utilizando productos orgánicos y biodegradables. Estas necesidades se presentan en las grandes urbes mayoritariamente y están concentradas en un rango de personas de 18 a 50 años, siendo el 60 % entre ese rango de la población vegetariana del país. Teniendo en cuenta que estos cambios de hábitos están en un segmento “joven”, es un hecho que a futuro habrá un aumento de esta tendencia.

2.2.3. Mercado competidor

2.2.3.1. Oferta y situación actual

En la actualidad, los competidores utilizan una estrategia de posicionamiento debido al marco regulatorio legal que no permite la comercialización de bioinsumos en la provincia de Buenos Aires (resolución del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). Debido a que los líderes del mercado son empresas privadas con fines de lucro, se desconoce la oferta de la competencia ya que son de carácter privado, teniendo en cuenta la diferencia del tamaño de lote de producción, aun así se pueden estimar ventas según los ingresos anuales de las diferentes empresas pero con el error de ignorar costos y gastos. En la tabla 1 se puede apreciar los mayores vendedores de insumos, con sus respectivas ganancias, a nivel país.

Tabla 1. Participación de los competidores en el mercado

Ranking	Compañías	Ventas en 2019 (millones de USD)
1	Atanor	284.0
2	Agrofina	118.0
3	Rizobacter	111.3
4	Red Surcos	107.0
5	ACA	96.0
6	Tecnomy	66.7
7	Sigma-Agro	40.0
8	YPF	30.0
9	GLEBA	27.0
10	Lanther Quimica	20.0

Participación de mercado competidores



El 55% del mercado es abastecido por 5 grandes empresas

Fuente: elaboración propia.

La competencia, en principio, no reacciona frente a una empresa con una producción muy inferior ya que no se verán afectadas sus ventas al tratarse de una PyME. Aun así, no hay que ignorar la influencia que tiene esta frente a reglamentaciones en el futuro.

2.2.3.2. Potenciales nuevos competidores

Con la futura implementación de la Ley Nacional de Bioinsumos impulsada por la Cámara Argentina de Bioinsumos se podrá comercializar bioproductos, sentando las bases para concretar una transición productiva de químicos a bioinsumos, incentivando a que nuevas organizaciones se vuelquen a dicha elaboración y comercialización de estos, ya sea por los beneficios para suelos/acuíferos/salud, sino que también por la parte económica, en tanto se prevé que en la ley se implante una reducción impositiva a los fertilizantes biológicos. En la nueva normativa se busca garantizar que los agroinsumos biológicos tengan ciertos atributos mediante sistemas eficaces y específicos.

2.2.4. Mercado productos sustitutos

La perspectiva de ORGANIRAT es plantarse como bien sustituto frente a los agroquímicos ya que no hay bioinsumos en el mercado, lo que genera que los únicos competidores y “sustitutos” a los productos ofrecidos serán los mismos agrotóxicos ya establecidos en el mercado.

2.2.5. Mercado proveedor

Se cuenta con un proveedor principal que va a ser Plusquímica S.A., el cual tiene su local en Lomas del Mirador, y será el encargado de proveer a la fábrica todos los insumos químicos como azufre, sulfatos, etc. La elección de P.S.A se debe a un estudio de proveedores realizado, donde se pudo obtener que la empresa seleccionada es la mejor opción debido a los descuentos al por mayor ofrecidos (20 % de descuento en pedidos mayores a 100 kg) con un plazo de entrega semanal.

En el caso de los insumos de forrajería, algunos de los productos como la conchilla, cáscaras, entre otros, el proveedor encargado va a ser Los Cardales, con su local en la ciudad de La Plata, elegido por conveniencia geográfica y disponibilidad inmediata de entrega en grandes cargamentos, algo complejo de conseguir en una ciudad no rural.

En cuanto a los estiércoles, la empresa encargada es GASDIN S.A de la ciudad de Ranchos a 60km de la planta, debido a que esta toma a la materia prima como un residuo debiéndose hacer cargo solo del traslado hasta ORGANIRAT. Esta misma empresa provee las semillas necesarias para la siembra de cola de caballo y ortiga, siendo una ventaja ya que se estará en contacto continuo con ellos.

Los productos naturales como ortiga y cola de caballo van a estar a cargo de la fábrica con la compra estacional de semillas según la estación del año. Se cuenta con un predio en las cercanías a la fábrica apto para la siembra y cosecha de los insumos naturales necesarios. La siembra y cosecha de esta MP, contaremos con dos empleados enfocados en el riego y fertilización de las mismas.

Se barajó la opción de tercerizar estos insumos, pero debido a la necesidad de contar con estos recursos frescos, es la manera más efectiva ya que los proveedores cercanos tienen plazos de entrega mensuales.

2.2.6. Mercado distribuidor

La organización, en principio, se hará cargo de los costos de distribución de los productores frutihortícolas, teniendo la posibilidad de –a futuro–, una vez ya establecidos en el mercado, una revisión de la estrategia de distribución.

2.3. Matriz FODA y Fuerzas de Porter

2.3.1. Matriz FODA

Al analizar el FODA se puede concluir que las amenazas más significativas son generales para todas las PyMES por lo cual no afecta directamente al proyecto ORGANIRAT (ver tabla 2). Cuando se logre entrar en el mercado, hay muchas oportunidades y fortalezas a nuestro favor, por lo que es cuestión de tiempo el reconocimiento entre interesados, más que nada por la calidad-precio y la escasez de estos productos en los mercados mayoristas.

Tabla 2. FODA

<p>Factores Internos</p> <p>Factores Externos</p>		<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bajos costos de producción -Empresa manejada por sus dueños -Localización cercana a productores -Difusión de productos entre productores 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> -Nuevos en el rubro (falta de experiencia) -Procesos de producción sin estandarización -Clientes poco identificados con la marca.
		<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> -Competencia controladora del mercado -Agroquímicos ya instalados -Contexto económico del país -Necesidad de alta inversión para cubrir demanda 	<p>Estrategias FA</p> <p>Aunque el mercado sea controlado por las agroquímicas, nuestros bajos precios están listos para irrumpir en el mercado</p>
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> -Faltante de biofertilizantes en el mercado -Creciente del interés de la población en productos libres de químicos -Precios de venta competitivos -Demanda máxima sin techo 	<p>Estrategias FO</p> <p>Los bajos costos de producción y la cercanía a productores serán de gran ayuda para la casi segura expansión de las comidas libres de químicos</p>	<p>Estrategias DO</p> <p>Al ser nuevos en un mercado donde los procesos son no estandarizados, podemos ser pioneros en cuanto a técnicas.</p>	

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Fuerzas de Porter

En la tabla 3 se presentan las variables de la fuerzas de Porter en relación con los niveles de amenazas y los factores determinantes.

Tabla 3. Fuerzas de Porter

FUERZAS DE PORTER		
	Nivel de amenaza	Factores determinantes
1-Poder de negociación de los clientes	Baja	-La falta de oferta de biofertilizantes en el mercado debilita el poder de negociar de los clientes. - Producto dirigido a pequeños productores con baja organización y poca influencia en los precios.
2-Poder de negociación de los proveedores	Media	- <i>Proveedores de materia organica</i> : el nivel de amenaza es bajo debido a la amplia oferta. -Poca organizacion de proveedores , se trata de material de desecho. <i>Provedores de quimicos</i> : El nivel de amenaza es mas elevado, ya que la oferta es menor. - Sectores organizados -Sin embargo cambiar de proveedor no implica cambios en el producto
3-Amenaza de nuevos competidores entrantes	Media Alta	-Mercado con gran potencial. -Diversos financiamientos a proyectos de bajo impacto ambiental.
4-La amenaza de los productos sustitutivos	Media	-Los productos sustitutivos, fertilizantes quimicos, ya se encuentran instalados en el mercado y son conocidos por los compradores. -Por otro lado Organirat posee productos mas beneficiosos para la salud y medio ambiente. - Otro punto a favor son los bajos precios en relación a los sustitutos
5- Rivalidad entre los competidores	Media alta	Si bien la competencia actual se trata de empresas de produccion de fertilizantes quimicos. La rivalidad con las mismas indica cierto nivel de amenaza ya que son grandes compañías, ya posicionadas en el mercado. Con grandes recursos productivos. Ademas son las encargadas de poner trabas en la reglamentacion de biofertilizantes.

Fuente: elaboración propia.

2.4. Variables clave

2.4.1. Precio

En dicho proyecto se cuenta con un valor de producto de \$1200 x litro en promedio, para el primer año del horizonte temporal del proyecto –basado en costos y margen de ganancia–. Con este precio se intenta lograr una penetración en el mercado y una promoción del mismo. Luego se modifica en función a la estrategia de precios establecida, en la que se mantendrá los \$1200 el segundo año, para posteriormente aumentar a \$ 1350 el tercer año; \$ 1500 el cuarto año y \$ 1600 los años 5 y 6 del proyecto. Los consumidores y clientes serán sensibles al cambio de precio cuando éste sea muy elevado y roce el precio la competencia, que se encuentra entre \$5.000 y \$8.000.

2.4.2. Cantidades

En un criterio optimista, se abastece toda la demanda proyectada, con un crecimiento anual del 2 %, de manera lineal al crecimiento de la población vegana en la Argentina. Ver tabla 4.

Tabla 4. Producción, cantidad de productos, demanda y utilización

Produccion anual					
41.004	41.808	43.480	45.220	47.028	48.909
Cantidad de productos					
40.200	41.004	41.824	42.661	43.514	44.384
Demanda anual de litros de productos					
3.350	3.417	3.485	3.555	3.626	3.699
Promedio de utilizacion de litro por persona vegana					
4,10	4,18	4,35	4,52	4,70	4,89

Fuente: elaboración propia.

La ampliación del mercado consumidor se verá incrementada una vez se empiecen a notar la mejora en los rindes de cosecha, lo cual va a captar más clientes de la zona agropecuaria, generando una mayor demanda de productos.

2.4.3. Características y packaging

Los productos puros serán comercializados bajo el nombre de ORGANIRAT (proveniente del idioma latín). Luego de analizar la competencia y especificaciones de los productos, se concluyó que las presentaciones más adecuadas son en cantidades 5 lts y 20 lts.

Los productos de 5 lts serán entregados en cajas de 8 unidades (40 lts) y los de 20 lts de forma individual, por lo que será necesario un packaging extra de las etiquetas del envase.

Las características principales de cada envase se deben a las necesidades de los clientes, teniendo dos opciones ya que en los segmentos no hay demasiada diferencia de necesidades.

Los dos envases son comunes para todos los productos ofrecidos, por lo que tendrán una etiqueta común con la marca y a la vez otra que contenga las especificaciones de uso, composición, lote específicas para cada producto.

2.4.4. Estrategia comercial

Como introducción al mercado, desde el comienzo a cada cliente potencial se le distribuirá información técnica sobre la composición, aplicación, ventajas y efectos de ORGANIRAT por medio de propagandas en la zona periférica a la empresa y a través de eventos de agronomía local, así se buscará alcanzar a medianos y pequeños productores que serán de fácil acceso por la cercanía a ellos. Una vez establecidos como clientes a los productores periféricos, se apostará al “boca en boca” llegando a mayor cantidad

de productores y así poder llegar a las siembras extensivas lo más rápido posible. En la distribución del producto deben cuidarse los envases para que lleguen en buen estado a destino, como a la vez hacer la distribución económica y eficiente.

La distribución debe ser de manera tal que cause un primer impacto positivo en el imaginario colectivo de los usuarios. Por esta razón, se decide distribuir en las zonas donde el balance de nutrientes haya sido marcadamente negativo, y los suelos hayan disminuido su rendimiento. Así, al aplicar en suelos empobrecidos y estos se recuperen en tiempo récord, se fijará la imagen de calidad del producto en la mente del cliente, favorecido por su rápido proceso de compostaje. Se elige esta estrategia ya que se cree que es la óptima para la difusión entre productores debido a que se pueden usar los resultados de los procesos de refertilización.

2.5. Estudio técnico

2.5.1. Trabajo

El horario laboral de la fábrica es de 8 horas diarias, 5 días a la semana (con una hora de almuerzo incluido en el turno) siendo así el único turno de trabajo.

2.5.2. Localización

Una vez establecida la posible demanda y las estrategias de comercialización, se concluyó que ORGANIRAT deberá estar establecida en las cercanías a los productores frutihortícolas del cordón platense.

Con la necesidad y especificaciones de planta para cubrir la producción estimada, se deberá contar con un espacio techado mayor a 1500 m² disponibles de libre uso y circulación, más dos oficinas y un vestuario. También el predio deberá tener un terreno al descubierto donde se pueda sembrar las MP necesarias para ciertos productos.

Esta ubicación tiene como ventaja la poca densidad poblacional, el terreno para la plantación de ortiga y cola de caballo y el fácil acceso a las rutas de transporte. Se hizo un estudio acerca de las ubicaciones de los posibles grandes consumidores y pudimos concluir que la planta deberá ser instalada en las cercanías de Lisandro Olmos, La Plata (calle 520 y 161), una zona con alta densidad de producción vegetal. El galpón mide 1728m², contiene dos oficinas con un baño cada una, lo que da la posibilidad de otorgar un vestuario a trabajadores donde tengan un lugar en común y otra oficina de reuniones.

La ubicación y características del galpón seleccionado cumple con las especificaciones y necesidades para ORGANIRAT siendo un punto estratégico del proyecto, de modo tal que se logren satisfacer las necesidades, productivas y normativas para la fabricación de biofertilizantes, así como una facilidad a la hora de comercializar y darse a conocer.



Figura 4. Localización de la biofábrica. Fuente: autores.

2.5.3. *Producto y procesos*

En la empresa se llevará a cabo la producción de cuatro productos y un subproducto, de los cuales dos deben tener una previa cocción y otros dos se basan en la mezcla y fusión de diversos compuestos y un último que surge de los desechos de una cocción. Los productos principales a producir serán:

- Purín de ortiga
- Purín de cola de caballo
- Caldo sulfocálcico
- Super magro

Para el producto caldo sulfocálcico se debe hervir agua, agregar cal, azufre y remover. Tiempo: 60 min 5 min 15 min

Para el producto purín de ortiga se debe depositar agua, agregar ortiga y revolver todos los días. Tiempo: 5 min 5 min 1 vez al día

Preparación: Recolectar plantas, preferentemente en el momento previo a la floración. Cortar las plantas en trozos. Colocarlas en un tacho de 200 litros. Agregar agua de lluvia a razón de 10 litros/1kg de plantas (250 – 300 gramos si es planta seca). Revolver y tapar, pero dejar un espacio de circulación de aire. Remover a diario durante 5 minutos aproximadamente. El proceso dura en promedio unos 15 días, la fermentación habrá finalizado cuando termine la producción de espuma. Filtrar, usar o conservar. Puede ser aplicado sobre el follaje o directamente sobre el suelo, con equipo pulverizador. Dosis: se diluye una parte de extracto fermentado en 10 litros de agua de buena calidad.



Figura 5. Proceso de purín de ortiga. Fuente: autores.

Para el producto decocción cola de caballo se debe hervir agua y agregar cola de caballo. Tiempo: 60 min 5 min. Propiedades: Fungicida. Preparación: cosechar las partes aéreas de las plantas y dejarlas secar. Colocar en recipiente de acero inoxidable o enlozado en agua fría 24 horas antes de realizar la decocción (1kg cada 10 litros de agua de lluvia). Llevar a ebullición durante 20 minutos (decocción). Dejar enfriar, filtrar y usar. Aplicar sobre el follaje, con equipo pulverizador de arrastre o autopropulsado. Dosis: 1 litro de decocción cada 5 litros de agua.

Con respecto al biofertilizante líquido super magro, este resulta de la fermentación de diversos materiales orgánicos y minerales, para utilizar como abono foliar y preventivo natural de plagas y enfermedades; el residuo sólido del proceso puede incorporarse al suelo directamente. Llenar hasta la mitad el recipiente de agua y agregar los ingredientes orgánicos de a uno mezclando bien. Agregar los ingredientes inorgánicos de a uno o de a dos por vez con intervalos de 3 días de diferencia, teniendo la precaución de no agregar el bórax junto con el sulfato de magnesio para evitar que reaccionen entre sí (ver figura 6). Cada adición la realizamos disolviendo las sales en agua, agregando 0,5 kg de melaza o azúcar y revolvemos bien toda la mezcla. Una vez agregadas todas las sales completamos el volumen de agua del recipiente. Pasadas 6 a 8 semanas estará listo para ser usado. Un indicador de que el proceso ha terminado es cuando la manguera deja de burbujear. Colar y guardar en recipientes oscuros a la sombra. Durante el proceso el recipiente debe mantenerse al resguardo del sol. Aplicaciones: puede aplicarse sobre el follaje o directamente sobre el suelo, con equipo pulverizador de arrastre o autopropulsado. Además, se puede utilizar en tratamientos de semillas previo a la siembra. Dosis: se emplean diluciones del 2 al 5 %.



Figura 6. Supermagro. Fuente: autores.

2.5.4. Tecnología utilizada en cada operación del proceso

Cocciones: para hervir se usará acero inoxidable 304 porque este es más fácil de limpiar, con respecto al resto de metales.

Fermentaciones: se utilizarán fermentadores de plástico debido a que estos cumplen con la misma función que los de acero, pero con la ventaja de que se reducen costos. Cabe destacar que se pueden sanitizar con los mismos químicos que los fermentadores de acero inoxidable.

Extractores: por cada cocina para hervir se debe tener una campana de acero inoxidable 304 con extractor para sacar fuera de las instalaciones los vapores y malos olores, estas mismas se pueden ir rotando a los fermentadores cuando estos deban ser vaciados.

Equipos personales: cada operario deberá tener dentro de la fábrica un ambo cuerpo entero, botas, barbijo y casco, para seguridad personal y para cumplir con ordenanzas de seguridad e higiene.

Equipos de producción: cucharas y revolvedores de acero inoxidable 304 (150cm). Mangueras corrugadas 2" PVC.

La tecnología seleccionada se debe a características que poseen los materiales, desde resistencia al calor, vida útil o capacidad de limpieza y beneficios químicos frente a hongos/bacterias.



Fermentador plástico



Ollas de acero inoxidable

Figura 7. Fermentador y ollas. Fuente: autores.

Con respecto a los fermentadores de plástico, estos se elaborarán con especificaciones de acuerdo con las necesidades requeridas por la organización, ya que se necesita que cuenten con busca claros en los mismos y filtros con mallas.

2.5.5. Producción

En la tabla 5 se muestra la proyección a cinco años de las variables ventas, stock promedio, delta stock y producción.

Tabla 5. Producción

	Unidades	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	40.200	41.004	41.824	42.661	43.514	44.384
Stock promedio	1000 litros					
Delta stock	804	804	1.656	2.559	3.515	4.525
Producción	41.004	41.808	43.480	45.220	47.028	48.909

Fuente: elaboración propia.

2.5.6. Layout

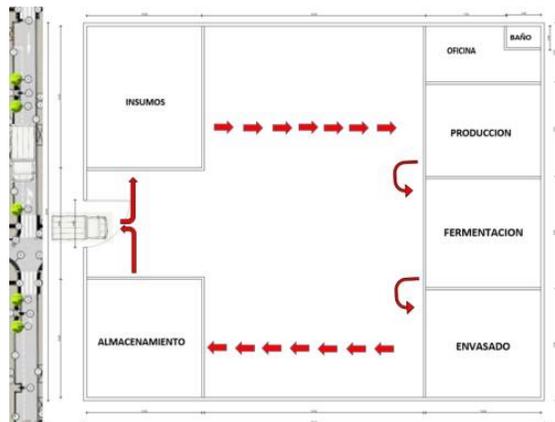


Figura 8. Layout de planta. Fuente: autores.

2.6. Dimensionamiento económico

2.6.1. Horizonte de evaluación del proyecto

Se realizó un análisis profundo y se determinó que el horizonte de evaluación del proyecto óptimo es de 6 años.

2.6.2. Beneficios del proyecto

El proyecto ofrece un resultado positivo en la actividad económica, incrementando los activos por sobre los costos de ORGANIRAT, tal como lo respalda el cálculo del VAN con un valor de \$23.127.334.

2.6.3. Inversiones iniciales

Activos fijos: se pueden definir a estas inversiones como las maquinarias, transporte para trasladar materia prima, sanpi autoelevador y algunas modificaciones que se deberán llevar adelante en el complejo con el fin de dejar en óptimas condiciones el lugar de trabajo.

Activos intangibles: las capacitaciones, la marca de la empresa, conocimiento adquirido de los empleados, etc.

2.6.4. Costos del proyecto

Se encuentran costos variables de \$20.502.000 para el primer año, con un incremento para los años posteriores debido a un aumento de la demanda. Dentro de estos costos tenemos los referidos al producto en sí (envase, packaging, etc.).

En cuanto a los costos fijos anuales, son de \$22.400.000 teniendo en cuenta el alquiler del galpón, costos de producción, gastos de transporte, salarios.

2.6.5. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio económico (PEE) es de 16.092 litros anuales, es decir, las ventas deben superar las 16.092 unidades (de litros) para poder cubrir los costos fijos.

2.6.6. Estudio financiero

Tasa de descuento utilizada 20 %.

De los análisis de sensibilidad se puede destacar que el proyecto es muy sensible a los ingresos, por lo que si la demanda baja poco, afecta en demasía, pero también se debe a los precios de comercialización bajos que se tienen.

Basándose en el estudio financiero se concluye la rentabilidad del proyecto debido a que el VAN arroja un valor de \$23.137.334 y una TIR del 36 %, superando a la tasa de descuento utilizada del 20 % representativa del sector.

Tabla 6. Flujo de fondos del proyecto

Año/concepto	0	1	2	3	4	5	6
Ingreso por venta	-	48.240.000	49.204.800	56.462.508	63.990.842	69.622.037	71.014.477
Costo variable (-)	-	20.502.000	20.904.000	21.740.160	22.609.766	23.514.157	24.454.723
Costo fijo (-)	-	\$22.400.000	\$22.400.000	\$22.400.000	\$22.400.000	\$22.400.000	\$22.400.000
Amortización	-	-4.166.667	-4.166.667	-4.166.667	-5.833.333	-5.833.333	-5.833.333
Total antes de impuestos	-	1.171.333	1.734.133	8.155.681	13.147.743	17.874.546	18.326.421
Impuestos	-	351.400	520.240	2.446.704	3.944.323	5.362.364	5.497.926
Total después de impuestos	-	819.933	1.213.893	5.708.977	9.203.420	12.512.182	12.828.494
Amortización	-	4.166.667	4.166.667	4.166.667	5.833.333	5.833.333	5.833.333
Inversión inicial	-25.000.000	-	-	-5.000.000	-	-	-
capital de trabajo	-4.401.722	-	-	-	-	-	-
prestamos	-	-	-	-	-	-	-
Valor recuperado	-	-	-	-	-	-	62.560.912
FF	-29.401.722	4.986.600	5.380.560	4.875.644	15.036.753	18.345.516	81.222.739
FF acumulado	-29.401.722	-24.415.122	-19.034.562	-14.158.919	877.835	19.223.350	100.446.089
VAN	\$23.137.334	-	-	-	-	-	-
TIR	36%	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

2.7. Conclusión del proyecto

Luego de los análisis previos y la realización de los estudios correspondientes, se concluye que el proyecto es factible porque sus estudios son viables y por definición, la suma de las viabilidades del estudio nos muestra un proyecto factible.

3. CONCLUSIONES

De acuerdo con la problemática detectada, se estudió la implementación de una nueva unidad de negocios, analizando la viabilidad desde los ámbitos de mercado, técnico y económico financiero. De los cuales se determina la factibilidad del proyecto.

Se espera llevar adelante a ORGANIRAT S.R.L, como fabricante y distribuidor de insumos agrarios enfocados en la agricultura sustentable, con la distancia a los agroinsumos convencionales ya que se

plantea un modelo de negocio alrededor de materias primas naturales para satisfacer una necesidad de un nicho de mercado definido.

Las organizaciones relacionadas con la sustentabilidad no tienen techo debido a los grandes cambios de la sociedad en cuanto a hábitos saludables y eco-friendly's. Desde ORGANIRAT S.R.L se busca una penetración en el mercado desde la modalidad "bajo costo" para así ser una fuerte alternativa en el mercado local y de rápida difusión. El mercado apuntado es el cordón frutihortícola del Gran La Plata, provincia de Buenos Aires.

Para poner en marcha el proyecto se necesita una inversión inicial de \$29.500.000, los ingresos se definen por la cantidad de demanda estimada, la capacidad instalada de planta y la determinación del precio de los productos, que en promedio son de \$1200 para el primer año, y luego por estrategia de precios van aumentando hasta llegar a \$1600 para los últimos años del horizonte de valuación.

Se utiliza una tasa de corte del 20 % y se estima un VAN es de \$ 23.138.000 y una TIR de 36 %, siendo viable el estudio económico - financiero del proyecto.

Los biofertilizantes generados en las biofábricas son una alternativa para la conservación, regeneración de los suelos agrícolas, así como también para el control de plagas y enfermedades; se cuida la salud de las personas y la sostenibilidad del medio ambiente al obtener productos libres de contaminantes y demás patógenos. Los biofertilizantes permiten la conservación y regeneración de los suelos, que fomentan la sostenibilidad e incremento en la productividad.

Los biofertilizantes son productos cada vez más demandados tanto en mercados nacionales como internacionales y tienen un precio más atractivo para el productor, ayudan a reducir la contaminación del aire, los sistemas acuíferos, subsuelo, los organismos del entorno donde desarrollan su proceso productivo, con la intención de generar un proceso sostenible a lo largo del tiempo. Estas prácticas generarían una rentabilidad, ya que hoy en día muchos clientes y consumidores buscan productos más seguros y ambientalmente amigables, ya que el empleo desmedido de agroquímicos implica riesgos para la salud.

REFERENCIAS

- Anllo, G., & Bisang, R. (2015). Bioeconomía. Una ventana al desarrollo de América Latina (pp. 150-162) en INTAL 50 años. Las tecnologías disruptivas en América latina y el Caribe. Buenos Aires. Octubre 2015.
- Bisang, R. (2014). Las empresas de Biotecnología en Argentina. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, MINCYT, Buenos Aires.
- Bisang, R., & Trigo, E. (2017). Bioeconomía Argentina Modelos de negocios para una nueva matriz productiva. Elaborado en el marco del convenio de colaboración entre el Ministerio de Agroindustria de la Nación y la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

FORTALECIMIENTO DEL ECOCONSUMO DESDE LAS SIETE (7) Rs EN LA COMUNA 7 DE VILLAVICENCIO

Área temática: Planeación y prospectiva

Javier Díaz Castro *
Lilia Suarez Puerto **
Rafael Ospina Infante ***

Resumen

En el entorno colombiano, las tiendas enfrentan desafíos no sólo en cuanto a la competitividad, sino también en la responsabilidad social empresarial y los objetivos de desarrollo sostenible. La competitividad tiene que enmarcarse en una apuesta global adoptando nuevos modelos de dirección y de gerencia estratégica teniendo en cuenta el ecoconsumo. Para que una tienda sea competitiva debe tener una estructura de costos que le permita establecer un precio competitivo de su producto, y adicionalmente, la estrategia de mercado debe estar encaminada a encontrar nuevos nichos de mercado local que en la era post COVID-19 son más exigentes con el cuidado social y ambiental. Estudiar y fortalecer el ecoconsumo es significativo dado que incide en la transformación de patrones culturales en beneficio del medioambiente, y del macro y micro entorno de las tiendas hacia un desempeño social y medioambientalmente responsables.

Palabras clave:

Ecoconsumo, competitividad, medioambiente

Abstract

In the Colombian environment, stores face challenges not only related to competitiveness but also in terms of corporate social responsibility and sustainable development goals. This competitiveness has to be framed in a global commitment adopting new management and strategic management models taking eco-consumption into account. For a store to be competitive, it must have a cost structure that allows it to establish a competitive price for its product, and additionally, the market strategy must be aimed at finding new local market niches that in the post-Covid-19 era are more demanding with social and environmental care. Studying and strengthening eco-consumption is significant given that it affects the transformation of cultural patterns for the benefit of the environment, and the macro and micro environment of the stores towards socially and environmentally responsible performance.

Keywords:

Eco-consumption, competitiveness, environment.

* Universidad de los Llanos. E-mail: jdiaz@unillanos.edu.co

** Universidad de los Llanos, Colombia.

*** Universidad de los Llanos, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Las sociedades modernas han dado saltos de consumo debido al exceso de marcas, productos, servicios y empaques que se encuentran en los diferentes puntos de venta; sumando a esto la creciente cultura del ocio también contribuye al consumismo en contra vía de la sostenibilidad. La disyuntiva entre el cuidado del medio ambiente y el bienestar del consumidor asociado al paradigma individual de que a mayor consumo mejor calidad de vida, no permite que los planes o programas medioambientales sean apropiados por las sociedades de consumo; incluso después de la pandemia de la COVID-19 se observa derroche de recursos. Es urgente mejorar nuestro hábitat en coherencia con las políticas medioambientales, y tratar de poner en cuestión la primacía del crecimiento económico sobre el cuidado del medioambiente.

En la lógica de conquistar mercados, las empresas aumentan su producción, el transporte, el almacenamiento, la distribución, la comercialización y la venta de productos-servicios para lo que necesitan grandes cantidades de recursos naturales renovables y no renovables generando múltiples impactos al suelo, aire, fuentes hídricas; y produciendo también un exagerado volumen de desechos; lo que incide en alteraciones de la salud, desaparición de especies animales, vegetales, minerales y, en general, de los ecosistemas aunando el crecimiento demográfico exponencial de población que conlleva una huella ecológica alta.

El objetivo general de esta propuesta de investigación consiste en fortalecer el ecoconsumo desde las siete Rs, en los tenderos de la comuna 7 de Villavicencio, departamento del Meta, mediante el método deductivo que permita incentivar una reducción de desechos y dar recomendaciones al sector tendero y a la política de consumo responsable. Para lograrlo se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar estrategias de promoción y comunicación del ecoconsumo presenciales y online basadas en las siete Rs para los tenderos de la comuna 7 de Villavicencio, Meta.
- Sensibilizar sobre los beneficios del ecoconsumo desde las siete Rs a los tenderos de la comuna 7 de Villavicencio, mediante talleres utilizando estrategias de comunicación y promoción.
- Establecer propuesta de recomendaciones desde la perspectiva de los tenderos luego de los talleres de sensibilización para la política de consumo responsable y para la cadena de tenderos de Villavicencio (ACATEVI).

2. ESTADO DEL ARTE

La agenda 2030 estableció prioridades estratégicas de las Naciones Unidas entre 2016 y 2030, que a través de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) permitirá hacer realidad el cumplimiento de los derechos humanos de todas las personas (ONU, 2015). Los ODS representan los desafíos a los que hoy nos enfrentamos por efecto de las problemáticas ecológicas, económicas y sociales globales que se han venido denunciando y reclamando desde la década de 1970 en foros científicos y por organismos

internacionales (p. ej., IPPC, 2014; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; ONU, 1972, 2015). Como Gil Pérez y Vilches (2017) señalan, los ODS marcan una hoja de ruta en el camino hacia la sostenibilidad.

La Constitución Política de Colombia, en los artículos 79 y 80, consagra el derecho colectivo a gozar de ambiente sano y propende por planificar el manejo y aprovechamiento de recursos naturales a fin de garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución ambiental y prevenir factores de deterioro. El artículo 8 ° del Decreto ley 2811 de 1974 estableció que son factores que deterioran el ambiente, la contaminación de aguas, suelo y demás recursos naturales renovables, la acumulación inadecuada de residuos.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 promueve programas de consumo responsable y compromete a productores en la gestión de residuos. Acá se podría relacionar lo que Mejía et al. (2008) plantean con relación a los programas de promoción de consumo responsable como prioridad del Estado, pero que deben ser compromiso de cada ciudadano y organización. Delgado (1998) argumenta que se tiende a pensar que los problemas los generan otros; no obstante, Fraj y Martínez (2002) manifiestan que los problemas medioambientales han logrado generar consumidores con conciencia ecológica motivados por necesidades universales, traducidas en nuevas estrategias de compra, pero infortunadamente no se realiza de manera generalizada (Ottman, 1998).

3. METODOLOGÍA

Las variables predictoras del ecoconsumo de mayor impacto sobre la deducción de un posible modelo de medición de ecoconsumo son educación y edad (Suárez Puerto et al., 2018). En este sentido, Nelson y Phels (1966) establecen que el capital humano es importante en el manejo de la tecnología; y como estas favorecen positivamente la productividad, el rendimiento del capital humano y la gestión ambiental. Chambers y Krause (2010), establecen una correlación negativa entre capital humano y escaso capital físico, generando procesos improductivos y de difícil manejo. La importancia de estos factores de producción radica en como la gerencia optimiza los recursos de la empresa basado en óptimas decisiones para que se favorezca la competitividad y la sostenibilidad ambiental. Si el tejido empresarial es competitivo en toda su integralidad generará excedentes de producción beneficiando el bienestar en el territorio (Liu, 2013). Estudios empíricos como el de López et al. (2008), demuestran que un capital humano competente y motivado contrarresta bajos niveles de productividad, permitiendo la acumulación de capital en la compañía y beneficiando a los inversionistas en términos de rentabilidad y sostenibilidad.

Igualmente, estudios como el de Rodríguez y Klenow (2005), evidencian los factores que generan crecimiento empresarial, entre estos las relaciones con el entorno, las cuales obedecen a la buena toma de decisiones de sus profesionales y la cultura ambiental. Por tanto, es importante gestionar proyectos que contribuyan a mejorar las condiciones del ambiente. El fortalecimiento del ecoconsumo desde las siete Rs como instrumento de la política de consumo responsable desarrollará un programa de

estrategias encaminadas a reflexionar, reducir, reciclar, reutilizar, redistribuir separar, reeducar, reclamar, con el propósito de apuntar a los objetivos, 3, 12, 13 y 17 de los ODS en el segmento de los tenderos que son base de la pirámide comercial.

Se recolectará información través de una encuesta de 20 preguntas y posteriormente se tabulará para realizar un análisis descriptivo de las 7 Rs del ecoconsumo (Suárez, 2016) con siete reglas: Reflexiona, Rechaza, Reduce, Recicla, Reutiliza, Redistribuye, Reclama, Reeducar y Separa, frente a variables independientes demográficas y pictográficas en relación con juicios y hábitos, entre otros.

Para el análisis cuantitativo se establecieron los siguientes criterios estadísticos:

Total aproximado de la población tenderos = 704

Probabilidad para un máximo tamaño de muestra = 0,5

Nivel de confianza = 95 %

Margen de error = 5 %

La muestra se calculará en el desarrollo de la investigación según los datos de la encuesta ya tabulados.

Dentro de las actividades que se requieren se pueden señalar:

1. Diseño y construcción de los talleres de ecoconsumo por parte de docentes y pasantes del proyecto en metodología virtual y presencial.
2. Creación de vídeos de comunicación y promoción del ecoconsumo desde las siete R's para redes sociales.
3. Trabajo de logística del proyecto durante su desarrollo.
4. Reunión con los tenderos de manera online o presencial.
5. Desarrollo del taller de sensibilización y capacitación.
6. Asesoría y acompañamiento a los estudiantes vinculados al proyecto como opción de grado.
7. Aplicación de encuestas de satisfacción con la población objeto del proyecto.
8. Organización, análisis y evaluación de resultados del proyecto de los talleres de capacitación.

REFERENCIAS

- Delgado, E. (1998). Consumo y medio ambiente. *Tabanque, revista pedagógica*, 12-13, 41-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=127576>
- Fonseca A., & Salazar. (2016). *Análisis de 40 años de Gobierno: una dinámica para entender al Estado colombiano*. Medellín. Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. Disponible en <http://www.anla.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=1357&conID=7997>,

- Fraj, E., & Martínez, E. (2002). *Comportamiento del consumidor ecológico*. Editorial Esic.
- Gil Pérez, D., & Vilches, A. (2017). Educación para la sostenibilidad y educación en Derechos Humanos: dos campos que deben vincularse. Teoría de la Educación. *Revista Interuniversitaria*, 29(1), 79-100.
- IPPC. (2014). Climate change 2014. Synthesis report. Ginebra: IPCC.
- Liu, Z. (2013). Human capital externalities in cities: evidence from Chinese manufacturing firms. *Journal of Economic Geography*, lbt024.
- López-Bazo, E., & Moreno, R. (2008). Does human capital stimulate investment in physical capital? Evidence from a cost system framework. *Economic Modelling*, 25, 1295-1305.
- Martínez, D., & Rodríguez, J. (2009). New technologies and regional growth: the case of Andalucía. *The Annals of Regional Science*, 43(4), 963-987.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press.
- Nelson, R., & Phelps, E. (1966). Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 51(2), 69-75.
- ONU. (1972). Report of the united nations conference on the human environment. Recuperado de <http://www.un-documents.net/aconf48-14r1.pdf>07/10/2021
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Recuperado de http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf
- Ottman, J.A. (1998). *Green Marketing: Opportunity for innovation*, 2a ed. NTC Business Books.
- Rodríguez-C., A., & Klenow, P.J. (2005). Externalities and growth. En Aghion, P., & Durlauf, S. *Handbook of Economic Growth* (pp. 817-861). Amsterdam: Elsevier.
- Suarez Puerto, L., Díaz Castro, J., & Hernández González, J. W. (2018). Variables explicativas del eco consumo en estudiantes de postgrado Villavicencio 2014. *Revista Investigaciones Andina*, 20(36), 71-86. <https://doi.org/10.33132/01248146.970>

LA LOGÍSTICA INVERSA Y APLICACIÓN EN EMPRESA INDUSTRIAL PERUANA

Área temática: logística inversa

Benito Zárate Otárola*
Carlos Arréstegui Pulido**

Resumen

El objetivo de esta investigación es resaltar la importancia de la gestión de Logística Inversa como un mecanismo de planeamiento, implementación y control de manera eficiente para aprovechar los recursos desechables optimizando los costos y generando las oportunidades de valor económico. La investigación se basó en la existencia de un incremento en el beneficio de Logística Inversa en las relaciones entre empresa y medio ambiente. Las tendencias ambientales, sociales y culturales, y la escasez de los recursos naturales exigen a las empresas industriales optimizar a través de la Logística Inversa, como soporte no solo en su desempeño operativo, sino más aún, el grado de competitividad razonable en sus recursos y capacidades. Se utilizó la metodología de revisión documental sobre el tema, para el periodo 1990-2017. Como resultado se pudo resaltar que, la estrategia de la organización se debería centrar en las competitividades principales que esta posee, y que podrían maximizar el valor de la organización. La conclusión trata de las ventajas económicas que son ampliamente considerables para las empresas industriales, y sus implicancias en el tema de actividades económicas ambientalmente sostenibles. En este caso se ha considerado aplicar los conocimientos de ingeniería industrial y sistemas, para sugerir la Logística Inversa en las empresas industriales peruanas, que permita desarrollar productos o servicios sostenibles.

Palabras clave: logística inversa, logística reversa, ingeniería industrial, empresa industrial.

Abstract

The objective of this research is to highlight the importance of Reverse Logistics management as a mechanism for taking advantage of disposable resources to give them an opportunity for economic value. The investigation was based on the existence of an increase in the benefit of Reverse Logistics in the relations between the company and the environment. Environmental, cultural and social trends, and the scarcity of natural resources require industrial companies to optimize through Reverse Logistics, as support not only in their operational performance, but even more, the degree of reasonable competitiveness in their resources and capabilities. The documentary review methodology was used on the subject, for the period 1990-2017. As a result, it was possible to highlight that the organization's strategy should focus on the main competitiveness that it owns, and that could maximize the value of the organization. The conclusion deals with the economic advantages that are widely considerable for industrial companies, and their implications on the issue of environmentally sustainable economic activities. For this case, it has been considered to apply knowledge in industrial engineering and systems to suggest Reverse Logistics in Peruvian industrial companies, that allows us to develop sustainable products or services.

Keywords: Reverse logistics, logistics, industrial engineering, industrial company.

* Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. E-mail: bzarate@uni.edu.pe

** Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. E-mail: carrestegui@uni.pe.

1. INTRODUCCIÓN

Valenzuela, Espinoza y Alfaro (2019) muestran que los desechos se han convertido en un problema mundial, con escasos atisbos de soluciones. Un caso particular es el desvío de residuos sólidos urbanos, que generan un incremento de costos en los Estados Unidos, teniendo un aumento del 285 % desde 1960 a 2006, y con los plásticos ha tenido un crecimiento del 7562 %. A la carencia de servicios para una gestión de residuos, se le agrega un mal manejo de la basura, incluida su acumulación, a la cual la población contribuye. Aunque se considera que el reciclaje es una solución, es necesario que forme parte de un sistema que los reinserte en los procesos productivos. Por ello, se considera a la economía circular como una repuesta, ante el surgimiento de industrias afines a la ecología. Siendo la logística inversa uno de los ejes principales de la economía circular. Los porcentajes de la población mundial por regiones en desarrollo sin acceso a la recolección de desechos se muestran en la figura 1.

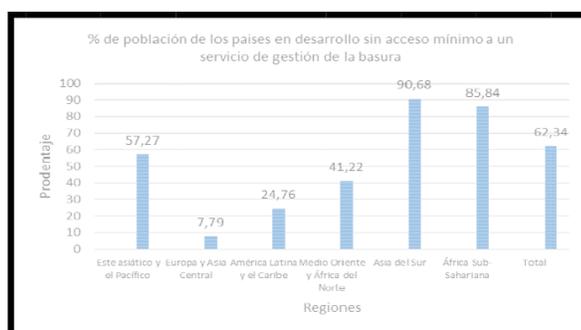


Figura 1. Porcentajes de la población mundial por regiones en desarrollo sin acceso a la recolección de desechos. Fuente: Valenzuela et al. (2019).

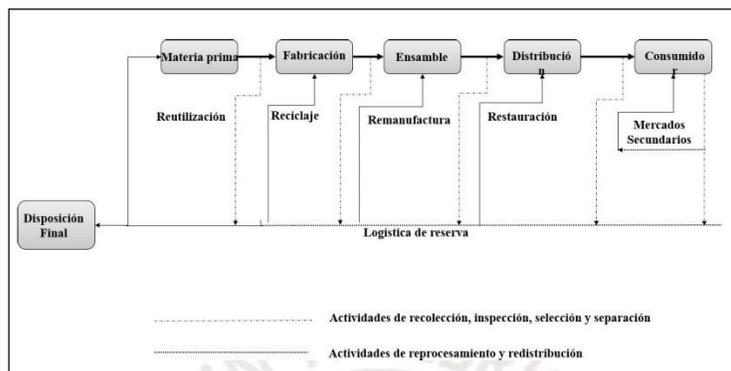


Figura 2. Modelo de logística inversa de Kumar y Putnam. Fuente: Kumar y Putnam (2008).

Tal como lo representan Kumar y Putman (2008) en la figura 2, así como también Salas (2020) en la figura 3, el proceso de logística inversa ocurre en sentido opuesto al flujo de la cadena de suministros, implica la gestión de devoluciones y la compra de excedentes de bienes y materiales. El proceso es responsable también de hacer frente a los arrendamientos o renovaciones. La logística inversa varía

entre las industrias y existen diferentes incentivos económicos para mejorar la gestión de la logística inversa.



Figura 3. Logística inversa del producto. Fuente: Salas (2020).

En el caso de las industrias peruanas, el tema del manejo de residuos presenta retos. Existen iniciativas por parte del gobierno, a través del Ministerio de Ambiente (MINAM), para dictar normas que controlen los casos ambientales (específicamente la Ley General de Residuos Sólidos), así como un Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016-2024). El MINAM viene impulsando los acuerdos de producción limpia que han sido suscritos por empresas peruanas, las cuales asumen compromisos, desde la transformación de sus residuos, adoptar procesos de innovación e implementar programas educativos de ciudadanía ambiental (*El Peruano*, 2021). Ello, sin embargo, refleja que las empresas actúan más por obligación que por iniciativa propia en cuanto al manejo de residuos, según el tipo de productos que genera y la naturaleza de los residuos.

Ramos (2017), por su parte, considera que uno de los más importantes problemas que históricamente ha enfrentado la humanidad es la escasez de recursos, como consecuencia del consumo masivo y del desgaste rutinario que fue conducido por la aparición de materiales de bajo costo y la tecnología de punta, y no existía incentivos para un desarrollo sostenible o del cuidado del medio ambiente, hasta la década de 1970 cuando se realizaron estudios que demostraron que este tipo de crecimiento tenía límites, en décadas sucesivas se implementaron elementos como el reciclaje, reutilización y reducción de recursos, la responsabilidad ambiental y la aplicación de políticas de retorno, con el propósito de incrementar la competitividad.

Una forma de tratar el exceso de producción de elementos cuyo valor o tiempo de vida se va reduciendo con el tiempo (que también incluye productos obsoletos, productos estacionales, devoluciones de clientes, o residuos peligrosos), es el de devolver estos elementos a la cadena de suministro. Sin embargo, este proceso puede ser costoso, y posiblemente genere impactos ambientales adicionales, por lo que en muchos casos contribuyen con promover el desarrollo sostenible de manera satisfactoria.

De otro lado, por la necesidad de mantener la competitividad, existe la tendencia de realizar cooperaciones con socios estratégicos, en especial con las pequeñas y medianas empresas (Pymes). Esto ha creado una metodología de trabajo en el cual las empresas involucradas participan de las decisiones, y aunque existen sistemas de gestión de ciclo de vida para el intercambio de información e integración de los integrantes de estos socios, así como un sistema de apoyo para la toma de

decisiones; la falta de información y de conocimientos crean incertidumbres que hace que el sistema sea ineficaz.

Por lo expuesto, la aplicación del uso de logística inversa se considera para promover el desarrollo sostenible a través del mejor manejo de los elementos generados por la producción, reduciendo costos y el impacto ambiental, lo que permite tomar decisiones de una manera más precisa, no requiriendo de una visión holística.

2. ANTECEDENTES

Resumen del libro “Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro” de D. Cabeza (2012): la logística inversa abarca el conjunto de actividades de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos y sus componentes, así como materiales de diverso tipo y naturaleza con el objeto de maximizar el aprovechamiento de su valor, en sentido amplio de su uso sostenible, y en último caso, su destrucción. Además, considera las 6 R que son: reutilización, reventa, reparación, remanufactura, reciclaje y rediseño.

Resumen del artículo “Importancia de la logística inversa y su impacto en el medio ambiente” de A. Silva (2015): la logística inversa se refiere a alternativas de recuperación de productos, piezas, materiales, reuso, remanufactura, reciclaje, reparación, reventa y rediseño; gestión de transporte de tipos de vehículos a usar, distancias, emisiones y combustibles a utilizar, clasificación de los procesos operativos y administrativos, gestión de la red de distribuidores, sistema de información del producto procesado.

Resumen del artículo “Logística Inversa: Realidad o Desafío” por E. M. González (2002): la actual cultura de fortalecimiento del desarrollo sostenible en la que la humanidad está inmersa, genera el compromiso y obligación de las organizaciones a desarrollar modelos de gestión de carácter sistémicos y holísticos en el que llevar a cabo procesos de auto diagnóstico e implementación de mejoras de calidad y de rendimiento socio ambientales, entre otros. Es en este contexto que la logística inversa representa un factor clave de éxito, especialmente en las organizaciones empresariales donde el valor del producto o el índice de retornos son altos. Este campo de acción es todavía un desafío y en él los operadores logísticos pueden jugar un papel fundamental.

3. METODOLOGÍA

3.1. Objetivos

El objetivo general consiste en determinar cómo la Logística Inversa y su aplicación influyen en la empresa industrial peruana.

Los objetivos específicos son:

- Aplicación del proceso de logística inversa en la empresa Linde Gas Perú S.A.

- Aplicación de logística inversa para incrementar la rentabilidad en la planta de reciclaje de la municipalidad provincial de Ferreñafe.

3.2. Descripción de la solución

El concepto de la Logística Inversa es identificar una serie de valores, inversiones y procesos que la empresa debe cumplir para minimizar los resultados no deseados que se generan en el desarrollo de sus actividades para crear valor económico, ambiental y social.

3.2.1 Logística de entrada y salida

Logística: es el proceso de implementación, planeamiento y control, de una forma eficiente, del flujo de materias primas, materiales en proceso de fabricación y productos terminados, así como la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el objeto de cubrir las necesidades de los clientes (Mora y Martín, 2014).

Logística de entrada: cubre las actividades necesarias para cumplir con el suministro de los productos, dejándolos disponibles para su transformación o venta (Medina, 2017). El planeamiento de producción y el ingreso de materia prima se deberán realizar con base en la demanda proyectada que será brindada por las áreas comerciales para evitar futuros desabastecimientos de materia prima y roturas de stock para la venta.

Logística de salida: se encarga del despacho de los productos terminados a los diversos distribuidores y/o clientes, se deberán evaluar las mejores alternativas de rutas de distribución, considerando las variables como: criticidad de despacho, distancia, tiempos de espera en el cliente, etc.

3.2.2 Logística Inversa

Es el proceso de planeamiento, desarrollo y control eficiente de flujo de materiales, productos e información desde el lugar de origen hasta el lugar de consumo, de manera que se satisfagan las necesidades del consumidor, recuperando el residuo obtenido y gestionándolo de tal manera que sea posible su reintroducción en la cadena de suministro, obteniendo un valor añadido y/o consiguiendo una adecuada eliminación de este (Alcalde et al., 2017).

Otra definición de logística inversa es la que se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos, así como de los procesos de retorno, excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales, incluso se adelanta al fin de la vida útil del producto con objeto de darle salida en mercados de mayor rotación (Alcalde et al., 2017).

La logística inversa se puede clasificar según dos puntos de vista diferenciados.

- Corporativo: cuando nos referimos a las devoluciones por parte del cliente de producto pedido.
- Reciclaje: conversión de productos viejos, no funcionales, en nuevos productos o materias primas, minimizando el impacto ambiental.

Algunas razones de por qué muchas empresas han descubierto que con la logística inversa consiguen un potencial ahorro en costos y en consecuencia la obtención de beneficio económico:

- Cumplimiento de la legislación.
- Beneficios económicos: disminución en costos de producción, ahorros en materias primas, etc.
- Recuperación de información, tanto propia como de la competencia.
- Mejora en el servicio al cliente.
- Mejora de la imagen de la empresa.
- Desarrollo de la responsabilidad social empresarial.
- Mejor aprovechamiento de los recursos.
- Extensión del ciclo de vida de los productos.
- Protección medioambiental.
- Eliminar inventario de los clientes.
- Proteger el margen de ganancia.

4. DESARROLLO

A partir de las consideraciones establecidas se investigaron una organización privada y una pública.

4.1. Linde Gas Perú S.A.

Linde Gas Perú S.A. forma parte de la división de gases del grupo Linde, empresa transnacional alemana líder mundial en la producción de gases industriales e ingeniería de plantas para la separación de gases de aire y energía limpias (GNL=Gas Natural Licuado), que se encuentra en el Perú hace más de 60 años. Linde tiene participación en más de 90 países y ocupa el segundo lugar a nivel mundial con más del 24 % de participación del mercado, solo superada por la empresa francesa Air Gas con 28 % de participación del mercado mundial. En el Perú también ocupa el segundo lugar con 24,7 % de participación del mercado, solo superada por la empresa Praxair Gas con 43,8 % de participación del mercado nacional.

Dentro de sus procesos principales se tiene: Logística de entrada, Operaciones (Líquidos y Cilindros), Logística de salida y Logística inversa. La logística de entrada cubre las actividades necesarias para cumplir con el abastecimiento de los productos. Las operaciones de cilindros, que es donde existe el problema, están enfocadas en la producción y distribución de gases comprimidos a alta presión. Actualmente, se produce una amplia gama de gases industriales y medicinales como: oxígeno, nitrógeno, argón, acetileno, helio, dióxido de carbono (CO₂) entre otros. La logística de salida se encarga del despacho de los productos terminados a los diversos distribuidores y/o clientes. La

logística inversa es el proceso por el cual se va a gestionar la recuperación de los envases que se encuentran en los diversos clientes y/o distribuidores.

Ante el problema de la pérdida de cilindros y el bajo nivel de servicio (operaciones de cilindros) debido a la carencia de envases, se propone un proyecto de “Mejora en la gestión de recuperación de cilindros e implementación de una metodología de ventas y planeamiento de operaciones (S&OP=Sales and Operations Planning)”. En la gestión de recuperación de cilindros está incluida la logística inversa ya que estos cilindros recuperados serán nuevamente puestos en operación, lo que beneficiará económicamente en disminuir la compra de nuevos cilindros, dar más trabajo a la comunidad, que beneficiará socialmente y reutilizar los usados para mejorar el medio ambiente. Esto permite a la empresa generar aportes al desarrollo sostenible.

4.2. Municipalidad Provincial de Ferreñafe

El Ministerio del Ambiente, en su calidad de ente rector en el país en el tema de la gestión y manejo de residuos, promueve la implementación de un sistema de gestión integral de residuos en las municipalidades, en los que se priorice la valorización de residuos orgánicos e inorgánicos con el objetivo que se reduzca el volumen de residuos sólidos eliminados en botaderos y rellenos sanitarios.

Para lograrlo, es necesario implementar un sistema de recolección selectiva e informar a los habitantes sobre el sistema para que, los residuos sólidos sean clasificados en la fuente generadora, situación que viene promoviéndose, aunque de forma incipiente.

Se han considerado 17 tipos de materiales reciclables y que cuentan con mercado para su comercialización: papel blanco, papel color, periódico, cartón blanco, cartón marrón, cartón mixto, plásticos PET, PEAD, PEBD, PP, PVC, PS, vidrio incoloro, vidrio color, hojalata fierro y aluminio.

La cadena logística inversa propuesta de residuos sólidos urbanos (RSU) se divide en tres etapas. La primera se trata de la generación y segregación en el origen, la segunda se enfoca en la recolección selectiva del residuo sólido inorgánico aprovechable trasladado a una planta de reciclaje, para su segregación en 17 tipos de residuos identificados, dándoles un valor agregado con el fin de conseguir un mejor precio en el mercado, asimismo se reduce el volumen de residuos eliminados en el botadero. La tercera etapa comprende las opciones de reciclaje a través de empresas operadoras de residuos sólidos o directamente con las plantas industriales que usarán estos residuos como materias primas para sus procesos, siendo este último lo ideal para maximizar ingresos, sin embargo, la ubicación geográfica distante de la planta de reciclaje y los volúmenes que se manejen hacen inconveniente esta opción. Para este tipo de residuo, con menor cantidad de generación, lo mejor será venderlo a las empresas comercializadoras.

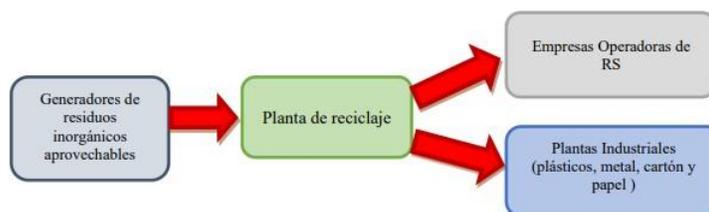


Figura 4. Configuración de la cadena de logística inversa para residuos inorgánicos aprovechables de Ferreñafe.
Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe la cadena de logística inversa (figura 4) y cada eslabón mostrado, considerando las mejoras propuestas para cada uno.

4.2.1 Generadores de residuos sólido inorgánicos aprovechables

Para este modelo de logística inversa los generadores de residuos sólidos son los proveedores. Los residuos sólidos se originan en los domicilios, comercios y organizaciones (colegios e institutos) y parques ubicados en la zona urbana de la provincia de Ferreñafe. Siendo fuentes generadoras de origen, es necesario capacitar a la población en temas de reciclaje, sobre todo en la segregación de residuos, en domicilios, calles, parques, organizaciones, entre otros lugares del ámbito municipal. Más importantes lograr que se concienticen, comprometan y tengan total disposición en participar en los programas de capacitación y separación de residuos a través del uso de depósitos diferenciados como inorgánicos aprovechables al interior de sus casas y en cualquier lugar de la ciudad. Los temas para tratar en las charlas a los responsables, trabajadores y vecinos involucran el aprendizaje de separación de residuos, almacenarlos y conocer los beneficios que traerán estas actividades.

En la tabla 1 se presenta la generación de residuos inorgánicos aprovechables tanto domiciliarios y no domiciliarios, la última columna muestra la cantidad (en toneladas) que se proponen aprovechar anualmente.

Tabla 1. Proyección de la generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios

Año	Generación RSD (t/año)	Generación RS no domiciliarios (t/año)	Residuos inorgánicos RSD (t/año)	Residuos inorgánicos RS no D (t/año)	Total de RS inorgánicos (t/año)	RS inorgánicos para aprovechar (t/año)
2021	7494	3212	2156	335	2491	2482
2022	7502	3215	2158	336	2494	2484
2023	7509	3218	2160	336	2496	2486
2024	7517	3222	2163	336	2499	2489
2025	7524	3225	2165	337	2501	2491
2026	7532	3228	2167	337	2504	2494
2027	7540	3231	2169	337	2506	2496
2028	7547	3234	2171	338	2509	2499
2029	7555	3238	2173	338	2511	2501
2030	7562	3241	2176	338	2514	2504

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2 muestra la proyección de la generación de residuos de papel y carbón.

Tabla 2. Proyección de la generación de residuos: papel y cartón

Año	Papel blanco (t/año)	Papel color (t/año)	Periódico (t/año)	Cartón blanco (t/año)	Cartón marrón (t/año)	Mixto (t/año)
2021	274,40	122,05	495,81	127,41	215,41	74,09
2022	274,68	122,17	496,31	127,53	215,63	74,16
2023	274,95	122,30	496,80	127,66	215,84	74,24
2024	275,23	122,42	497,30	127,79	216,06	74,31
2025	275,50	122,54	497,80	127,92	216,28	74,38
2026	275,78	122,66	498,30	128,04	216,49	74,46
2027	276,06	122,79	498,79	128,17	216,71	74,53
2028	276,33	122,91	499,29	128,30	216,92	74,61
2029	276,61	123,03	499,79	128,43	217,14	74,68
2030	276,88	123,16	500,29	128,56	217,36	74,76

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 se muestra la proyección de la generación de residuos de plásticos.

Tabla 3. Proyección de la generación de residuos: plásticos

Año	PET (t/año)	PEAD (t/año)	PEBD (t/año)	PP (t/año)	PS (t/año)	PVC (t/año)
2021	276,44	260,91	140,25	31,69	10,92	14,24
2022	276,72	261,18	140,39	31,72	10,93	14,25
2023	276,99	261,44	140,53	31,75	10,94	14,27
2024	277,27	261,70	140,67	31,79	10,95	14,28
2025	277,55	261,96	140,82	31,82	10,96	14,30
2026	277,82	262,22	140,96	31,85	10,98	14,31
2027	278,10	262,48	141,10	31,88	10,99	14,33
2028	278,38	262,75	141,24	31,91	11,00	14,34
2029	278,66	263,01	141,38	31,95	11,01	14,35
2030	278,94	263,27	141,52	31,98	11,02	14,37

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4 trata de la proyección de la generación de residuos de vidrios y metales.

Tabla 4. Proyección de la generación de residuos: vidrios y metales

Año	Vidrio incoloro (t/año)	Vidrio color (t/año)	Hojalata (t/año)	Fierro (t/año)	Aluminio (t/año)
2021	222,37	23,13	143,79	47,96	0,64
2022	222,59	23,15	143,93	48,01	0,64
2023	222,82	23,17	144,07	48,06	0,64
2024	223,04	23,20	144,22	48,11	0,64
2025	223,26	23,22	144,36	48,16	0,64
2026	223,49	23,24	144,51	48,20	0,65
2027	223,71	23,26	144,65	48,25	0,65
2028	223,93	23,29	144,80	48,30	0,65
2029	224,16	23,31	144,94	48,35	0,65
2030	224,38	23,33	145,09	48,40	0,65

Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Planta de reciclaje

Esta etapa se inicia con la recolección selectiva de residuos en domicilios, instituciones, mercados y parques. La planta se encarga de recibir, seleccionar y embalar la materia prima reciclada que cumpla con las exigencias de calidad para ser vendida. El diagrama de flujo y el diagrama de operaciones del proceso propuesto en la planta de reciclaje se muestran en las figuras 5 y 6.

A continuación se describe el proceso.

- **Recolección selectiva**

La recolección selectiva se realizará con dos camiones baranda de 20 m³ que recorrerán una vez por semana diversos sectores de Ferreñafe. Cada camión requiere de un chofer y tres ayudantes. La capacidad del camión se ha calculado con base en las densidades de los materiales a recoger. Es necesario que el personal de acopio tenga conocimientos sólidos sobre segregación de residuos y buen trato a la población.

- **Recepción**

El camión cargado con el material acopiado se traslada a la planta de reciclaje, registrando su hora de ingreso, después se dirige a la zona de descarga.

- **Descarga**

El camión descarga el material en la tolva que tiene acoplada una faja transportadora inclinada y que alimenta al proceso de clasificación. Dos trabajadores ayudan a que el material pueda ingresar a la tolva y a su vez sean arrastrados por la faja.

- **Clasificación**

El material residual será acarreado por una faja horizontal. Esta faja recibirá el material alimentado desde la faja inclinada de la etapa anterior. A ambos lados de la faja transportadora se ubicarán los operarios encargados de seleccionar los materiales, según los 17 tipos de residuos identificados. Cada uno tendrá a su lado unos contenedores con ruedas, en donde irá depositando el material seleccionado.

- **Prensado**

Los contenedores cuyo contenido sea papel, cartón, metal y los siguientes plásticos: PEBD, PVC, PP y PS, son trasladados al área de prensado. Los materiales se prensan por separado, colocando el residuo en el equipo hasta que su volumen se reduzca obteniendo pacas de 80 x 60 x 70 cm, amarradas con cable de acero N° 14.

- **Molienda**

Los contenedores que contengan PET (separados en cristal y color), PEAD (blanco y color) y vidrio (incoloreo y color) son transportados al área de molienda. Cada material, incluido color, se procesa por separado. Los operarios se encargan de alimentar el molino que reducirá el plástico a hojuelas, constatando que el material cumpla con los requisitos de tipo y color. A su vez, el vidrio es triturado en otro molino.

- **Envasado**

El plástico en hojuelas y el vidrio triturado son envasados por separado en sacos de polipropileno de 500 kg (big bag).

- **Pesado**

Las pacas y los sacos son pesados en una balanza de rampa. Los paquetes se rotulan de acuerdo con el material que contienen.

- **Almacenamiento**

Las pacas y los sacos son trasladados al almacén de producto terminado, colocándolos por tipos de material, con el uso de un montacargas.

- **Venta**

El material es cargado en un camión y llevado a empresas de reciclaje.

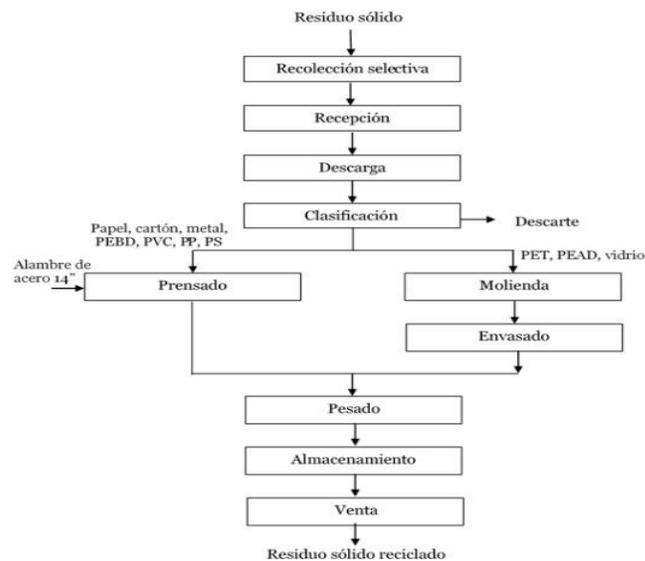


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso propuesto en la planta de reciclaje. Fuente: autores.

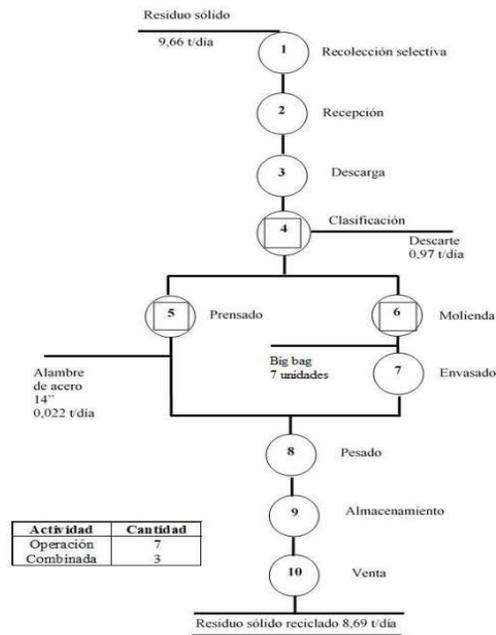


Figura 6. Diagrama de operaciones del proceso propuesto en la planta de reciclaje. Fuente: autores.

La capacidad de planta diseñada de reciclaje se calculó tomando como objetivo la proyección de la generación de residuos sólidos que representa la demanda el valor del año 2030. Este valor es 2504 t de residuos sólidos inorgánicos aprovechables al año. De igual manera, se considera que la jornada de trabajo es de 8 horas, de lunes a sábado, por tanto, son seis días a la semana, cuatro semanas al mes por doce meses, un total de 288 días al año (ecuación 1).

$$\text{Capacidad diseñada} = \frac{2504 \text{ t}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{288 \text{ días}} = 8,69 \text{ t/día} \quad (1)$$

La figura 7 exhibe el balance de materia del proceso, donde se observa que las transformaciones son físicas.

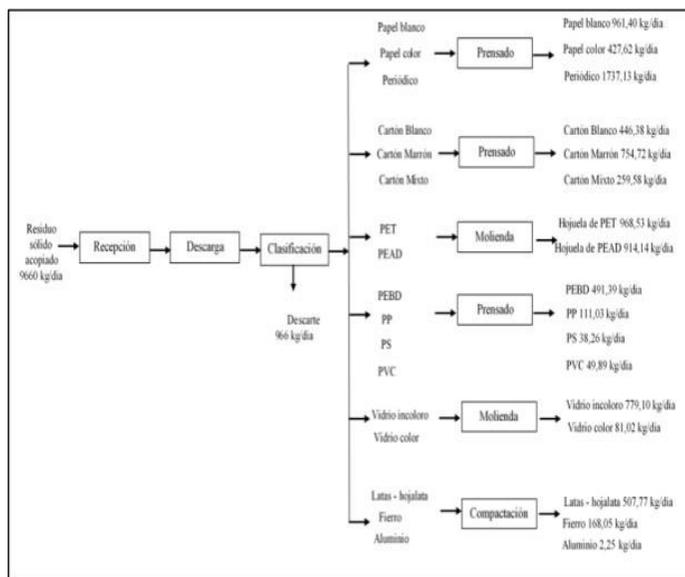


Figura 7. Balance de materia del proceso. Fuente: autores.

Para la determinación de las capacidades de los equipos de recolección estos se definieron, basadas en las densidades de los materiales que figuran en la tabla 5.

Tabla 5. Tecnología para la planta de reciclaje

Descripción	Cantidad	Capacidad	Requerimiento de energía
Camión Baranda	2	20 m ³	
Montacarga	1	2,5 t	
Tolva de recepción	1	1 t	
Balanzas de rampa	1	1 t	
Cinta de elevación	1	1,5 t/h	3 kW
Cinta de clasificación	1	1,5 t/h	6 kW
Cinta de salida de material descarte	1	1 t/h	3 kW
Molino de plástico	1	350 kg/h	20 HP
Molino de vidrio	1	350 kg/h	20 HP
Prensa	1	1 t/h	15 HP

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la distribución de planta, dado el proceso propuesto, se requiere de mayor área de procesamiento, considerando las siguientes áreas: recepción, selección, prensado, molienda, almacén, administrativa, patio de maniobras, entre otras, suman 2027 m². En la tabla 6 se muestran las áreas por procesos.

Tabla 6. Áreas definidas de la planta de reciclaje

Áreas	Medida (m ²)
Recepción	120
Selección	260
Prensado	35
Molienda	40
Almacén de producto terminado	907
Almacén de insumos	30
Control de calidad	20
Patio de maniobras	313
Baños y vestuarios	32
Administrativas	28
SS. HH. administrativos	10
Residuos	15
Áreas Verdes	50
Estacionamiento	155
Caseta de vigilante	12
Total	2027

Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se grafica el plano de planta de reciclaje propuesto.

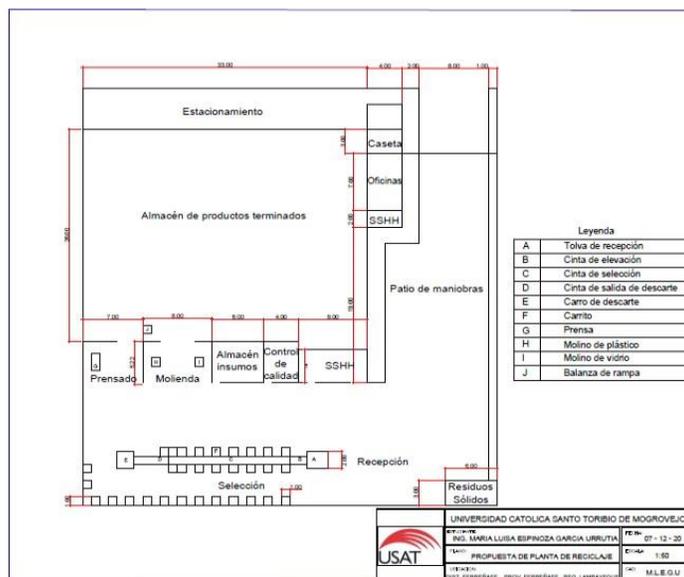


Figura 8. Plano de la planta de reciclaje propuesta. Fuente: autores.

4.2.3 Desarrollo del modelo de logística inversa

El modelo de logística inversa desarrollado para la planta de reciclaje de la Provincia de Ferreñafe se basa en el uso de la programación lineal. El objetivo de este modelo es hallar el punto de equilibrio de las cantidades (en toneladas), de cada uno de los 17 insumos (material reciclable) que debe tener la planta, para que su producción anual no se detenga. Esto le permitirá tener equilibrio, sostenibilidad y maximizar la utilidad que siempre se desea obtener. El modelo se describe a continuación.

Definición de variables

- X1: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PAPEL BLANCO
 X2: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PAPEL COLOR
 X3: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PERIÓDICO
 X4: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de CARTÓN BLANCO
 X5: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de CARTÓN MARRÓN
 X6: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de MIXTO
 X7: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PET
 X8: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PEAD
 X9: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PEBD
 X10: Cantidad en toneladas anuales recolectadas del PP
 X11: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PS
 X12: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de PVC
 X13: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de VIDRIO INCOLORO
 X14: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de VIDRIO COLOR
 X15: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de LATAS - HOJALATAS
 X16: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de FIERRO
 X17: Cantidad en toneladas anuales recolectadas de ALUMINIO

Función objetivo

Maximizar la rentabilidad anual de la producción de material reciclable (en el tratamiento de residuos inorgánicos) en la planta de reciclaje. Matemáticamente se expresa en la ecuación (2).

$$\text{Max } Z = 101X_1 + 80X_2 + 91X_3 + 31X_4 + 25X_5 + 10X_6 + 299X_7 + 400X_8 + 180X_9 + 175X_{10} + 160X_{11} + 280X_{12} + 99X_{13} + 50X_{14} + 171X_{15} + 150X_{16} + 280X_{17} \quad (2)$$

Para determinar los coeficientes de cada una de las variables se efectuó el análisis que se representa en la ecuación (3) o ecuación de utilidad.

$$\text{Aporte a la utilidad} = \text{ingreso} - \text{egreso} \quad (3)$$

De manera general se describe como la ecuación (4) o ecuación de utilidad unitaria.

$$\text{Utilidad unitaria por cada producto a reciclar} = \text{precio de venta} - (\text{costos fijos y variables}) \quad (4)$$

Sujeta a los siguientes tipos de restricciones:

- Demanda proyectada, aplicándole el axioma de elasticidad en que el valor de cada variable debe abastecer la demanda por lo que será igual o mayor al valor.
- Capacidad de almacenamiento, la sumatoria del volumen unitario de cada material por la cantidad de este debe ser menor o igual al volumen de almacenamiento.
- Capacidad adquisitiva, monto de dinero necesario para operar por cada tipo de material.
- Diferencia de demanda real entre algunos de los productos, tomando en cuenta los valores promedio de la recolección que se ha realizado hasta el momento por el programa en curso.
- Rendimiento de maquinaria (Productos/Horas) condiciones de producción por t de producto, por tiempo y máquina.
- Rendimiento (Horas hombre).
- Restricción de no negatividad.

La propuesta de aumentar el tipo de residuos sólidos aprovechables se fundamenta en el uso de la logística inversa, que lo diferencia de la gestión de residuos sólidos. Esta propuesta además añade valor a los residuos acopiados, permitiendo la generación de puestos de trabajo, mayor conciencia ambiental y la reducción de los gases de efecto invernadero en los botaderos. La incorporación plena de la logística inversa es una solución prometedora para los países en vías de desarrollo. Dentro de esta, una de las actividades que genera mayor potencial es el proceso de innovación, en este caso la innovación de los materiales. Adicionalmente se requiere desarrollar un enfoque integrador donde los sectores públicos, privados y la comunidad puedan trabajar coordinadamente en soluciones locales que promuevan la gestión sostenible de los residuos.

El resultado del modelo matemático sensibilizado propone la siguiente decisión para la recolección, procesamiento y venta de los 13 tipos de residuos para obtener 30 797 soles anuales de utilidad, que es el valor de Z. Para el año 2022, arroja un valor de cero para cartón mixto, PS, vidrio incoloro y vidrio color, por lo que no sería conveniente trabajar con estos residuos en los primeros años.

X1: 180 toneladas anuales de PAPEL BLANCO

X2: 100 toneladas anuales de PAPEL COLOR

X3: 10 toneladas anuales de PERIÓDICO

X4: 80 toneladas anuales de CARTÓN BLANCO

X5: 43 toneladas anuales de CARTÓN MARRÓN

- X6: 00 toneladas anuales de MIXTO
- X7: 27 toneladas anuales de PET
- X8: 22 toneladas anuales de PEAD
- X9: 04 toneladas anuales de PEBD
- X10: 10 toneladas anuales de PP
- X11: 00 toneladas anuales de PS
- X12: 12 toneladas anuales de PVC
- X13: 00 toneladas anuales de VIDRIO INCOLORO
- X14: 00 toneladas anuales de VIDRIO COLOR
- X15: 10 toneladas anuales de LATAS - HOJALATAS
- X16: 42 toneladas anuales de FIERRO
- X17: 0,30 toneladas anuales de ALUMINIO

En la figura 9 se verifican las utilidades obtenidas en los años analizados (2013, 2014, 2015, 2016 y 2019), las que son negativas. En el año 2022, con el modelo propuesto se obtendrá una utilidad de 30 797 y para el año 2030, 12 220,30 soles; lo cual se considera lógico ya que al trabajar con más residuos, los costos aumentan.

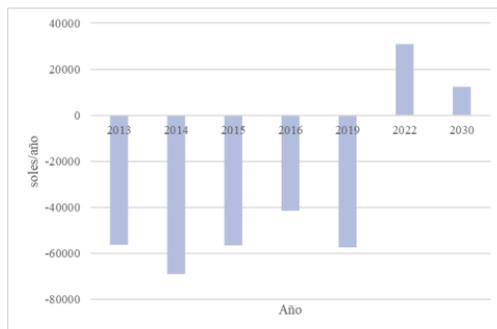


Figura 9. Comparación utilidad actual con el modelo propuesto. Fuente: autores.

3. CONCLUSIONES

La logística inversa a través de la gestión del reciclaje de materiales disminuirá el impacto de los residuos, ayudará a preservar el medio ambiente, y disminuirá los riesgos que ponen en peligro el ecosistema terrestre. De igual manera apoyará a generar mayor concientización, mentalización y colaboración total entre todos los agentes participantes: proveedor o suministrador, capital humano, distribución, transporte y usuario final.

La logística inversa se encarga de la recolección, recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos, e incluso, se adelanta al fin del ciclo de vida del producto, con el objetivo de darle salida en mercados con mayor rotación.

La logística inversa logra gestionar el retorno de las mercancías en la cadena de suministro, de la forma más efectiva y económica posible, lo que implica que en los próximos años habrá una importante modificación de muchos procesos productivos y, además, una oportunidad como nuevo mercado para muchos operadores de transporte, almacenaje y distribución.

La logística inversa supone una importante revolución en el mundo empresarial y, es probable que se convierta en uno de los negocios de mayor crecimiento en los próximos años.

La logística inversa definida por expertos, es una actividad con un enorme potencial de crecimiento, considerada como la última frontera para la reducción de costos en las empresas y como una importante y novedosa fuente de oportunidades.

En la gestión de recuperación de cilindros de la empresa Linde Gas Perú S.A. está incluida la logística inversa ya que estos cilindros recuperados serán nuevamente puestos en operación, lo que beneficiará económicamente al disminuir la compra de nuevos cilindros, dar más trabajo a la comunidad y reusar los cilindros usados para mejorar el medio ambiente. Así, la empresa tiene un desarrollo sostenible usando la línea de triple resultado: económico, social y ambiental.

La logística inversa propuesta en la Municipalidad Provincial de Ferreñafe permite obtener utilidades a partir del año en que fue usada, en los años analizados 2013, 2014, 2015, 2016 y 2019 se observan utilidades negativas. En el año 2022, con el modelo propuesto se obtendrá una utilidad de 30 797 y para el 2030, 12 220,30 soles. Esto es lógico al trabajar con más residuos, los costos aumentan. Esta propuesta además añade valor a los residuos acopiados, permitiendo la generación de puestos de trabajo, mayor conciencia ambiental y la reducción de los gases de efecto invernadero en los botaderos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Nacional de Ingeniería por darnos la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Alcalde, H., Guerrero, P., & Mendo, V. (2017). *Reingeniería del proceso de logística inversa en una empresa de gases industriales*. Tesis de maestría, Universidad del Pacífico. Disponible en: https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/2109/Hector_Tesis_Maestria_2017.pdf?sequence=1
- Bravo González, M. F., & Mogollón R., S. Z. (2019). *Diagnóstico del proceso de logística inversa para la gestión de residuos sólidos en MYPES del sector de restaurantes en Lima Metropolitana: Caso de estudio múltiple*. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14452/BRAVO_GONZ%C3%80CILEZ_MOGOLLON_ROPA1.pdf?sequence=6

- Cabeza, D. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Marge books.
- Castillo Garibal, L. Y. (2017). *Mejora de la gestión de logística inversa en envases de vidrio para reducción de compra de envases nuevos*. Disponible en: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3259/1/2017_Castillo-Garibay.pdf
- El Peruano. (2021). *Peruanos generamos 21 mil toneladas diarias de basura*. <https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-de-basura>
- Félix R., N. R., & Montes V., J. I. (2019). *Sistema de Logística Inversa utilizado en el Perú y América*. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24058/N00080230%20Nelly%20Raquel%20Felix%20Ruiz-N00111618%20Jessyca%20Iris%20Montes%20Valverde.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ganoza, J. C. (2015). *Logística del futuro*. Disponible en: https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/136/Logistica_futuro_2015_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, M. (2020). *Propuesta de aplicación de logística inversa para incrementar la rentabilidad en la planta de reciclaje de la municipalidad provincial de Ferreñafe*. Tesis de grado. Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Kumar, S., & Putnam, V. (2008). Cradle to cradle: reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 305-315.
- Logística y Comercio (2019). *Logística inversa ¿Qué es? Factores a tener en cuenta*. Disponible en: <https://logisticaascoel.com/logistica-inversa/>
- Maeso, E. (2002). *Logística inversa: Realidad o desafío. II Conferencia de Ingeniería de Organización*.
- Medina, T. (2017). *Descripción del procedimiento de un operador logístico para la distribución y reparto de una línea de productos de belleza en la provincia de Lima*. Lima: Universidad del Pacífico.
- Ministerio del Ambiente, Perú (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos*.
- Mora, L., & Martín, M. (2013). *Logística inversa y ambiental*. 1ª ed. Bogotá.
- Ramos, P. (2017). Gestión de la Logística en Reversa: Un enfoque de toma de decisiones bajo incertidumbre, basado en la teoría bayesiana. *Matemática: Espol – FCNM Journal*, 15(1).
- Salas, E. T. (2020). *La logística inversa en el sector manufacturero y su impacto en el medio ambiente*. Disponible en: <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/eyn/article/download/906/989/1723>
- Silva, A. (2015). Importancia de la logística inversa y su impacto en el medio ambiente. *CFMD de Tecana American University (TAU), USA*.
- Supply Chain Web (2012). *Generalidades de la logística reversa*. Disponible en: <https://gs1pe.org/gs1-newsletter/content/generalidades-de-la-logistica-reversa>

- Valenzuela, J., Espinoza, A., & Alfaro, M. (2019). Diseño de la cadena logística inversa para modelo de negocio de economía circular. *Ingeniería Industrial*, XL(3), 306-315.
- Valle Bolaños, G. E. (2010). *Propuesta de mejora de la gestión de Logística Inversa de teléfonos inalámbricos*. Disponible en:
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/273511/GValle.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RETOS Y OPORTUNIDADES DE COLOMBIA EN COMPETITIVIDAD CON EL USO COMERCIAL DE DRONES EN DESARROLLO DE LA 4TA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Área temática: Gestión de cadenas de suministro

Edgar Lombana Díaz*
 Juan Carlos Ligarreto Parra**
 Ingrid Natali Rodríguez Gaona***

Resumen

El objeto de este documento es compartir retos y oportunidades de Colombia en productividad y competitividad, teniendo en cuenta el Índice de Competitividad Global (ICG) 2010-2019 con el uso de drones en las cadenas de suministro para la generación de valor, en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial. En el desarrollo del análisis para identificar las oportunidades y retos que se presentan para las organizaciones y la economía colombiana se tendrán en cuenta: 1. Descripción y comparación de la estructura y evaluación del ICG 2018-2019; 2. Análisis del uso de drones en el mundo en las cadenas de suministro; 3. Reflexiones de los retos y oportunidades de Colombia con la proyección del uso de drones en las cadenas de suministro. La investigación tiene un enfoque cuantitativo descriptivo documental y se desarrolla con una revisión de literatura en las temáticas de la investigación de comercio internacional. La recolección de información se realizó con fuentes primarias y secundarias, se organizan los datos de acuerdo con los objetivos propuestos, se describen y analizan los resultados y se reflexiona identificando los retos y oportunidades existentes con el uso de drones en las cadenas de suministro en Colombia para enriquecer la investigación, generando una perspectiva interesante en investigadores, estudiantes y actores involucrados en las temáticas.

Palabras clave: competitividad, productividad, logística, revolución industrial, dron.

Abstract

The purpose of this paper is to share challenges and opportunities for Colombia in efficiency, productivity and competitiveness, taking in fact, the Global Competitiveness Index (GCI) 2010-2019 with the use of drones in supply chains for value generation, in the context of the 4th Industrial Revolution. 1. Description and comparison of the structure and evaluation of the GCI 2018-2019; 2. Analysis of the use of drones in the world in supply chains; 3. Reflections on the challenges and opportunities of Colombia with the projection of the use of drones in supply chains. The research has a quantitative descriptive documentary approach and is developed with a literature review on the topics of international trade research. The collection of information is obtained with primary and secondary sources; the data are organized according to the proposed objectives; the results are described and analyzed and the challenges and opportunities existing with the use of drones in the supply chains in Colombia are identified to enrich the research, generating an interesting perspective in researchers, students and actors involved in the topics.

Keywords: Competitive, logistics, productivity, industrial revolution, drone.

* Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad ECCI. E-mail: elombanad@ecc.edu.co

** Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad ECCI. E-mail: jligarretop@ecc.edu.co

*** Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad ECCI. E-mail: ingridn.rodriguezg@ecc.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución industrial (4RI) generó expectativas en todos los contextos –ambientales, industriales, comerciales, militares, educativos y otros– en el mundo. La logística no ha sido ajena a verse afectada y desarrollada para lograr eficiencia, productividad y competitividad en la cadena de suministro donde se identifican retos y oportunidades a partir del uso de Drones para el aprovisionamiento y distribución de bienes. En Colombia, hasta la segunda década del siglo XXI los drones ha sido utilizados con fines de seguridad nacional, seguridad privada, agricultura y cartografía, pero teniendo apenas una sola propuesta concreta en aspectos comerciales y más específicamente en la cadena de suministro como se menciona anteriormente. El presente artículo busca identificar oportunidades y retos que generen ventajas competitivas con el uso de drones en aspectos comerciales.

El Foro Económico Mundial, que ha medido la competitividad entre países desde 1979, la define como el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de productividad de un país promoviendo el bienestar de las personas. Una economía productiva es una economía competitiva que conduce al crecimiento y permite niveles de ingresos más altos y una cadena de eventos importantes. Debido a la 4RI, las empresas serán más competitivas debido a los avances científicos y tecnológicos que permiten la digitalización en procesos industriales cambiando el modo de trabajar independientemente de su tamaño, logrando que no sólo aumenten y consoliden su negocio en el mercado nacional, sino que también puedan conquistar nuevos mercados de una manera más óptima y eficiente.

La actual revolución tecnológica genera competitividad, agiliza y hace más flexible los procesos productivos, reduciendo los costos de materiales, los tiempos muertos de los equipos y la adaptación más rápida a las necesidades cambiantes e individuales de los mercados. Es por ello que los drones en la industria 4.0 empiezan a verse como una solución en la mejora de los procesos y la incorporación de nuevas tecnologías dentro del entorno industrial que ha ido cambiando por los modelos de negocio, tal y como los conocíamos capaces de transformar la base económica y social de los países. Dentro de esta revolución tecnológica han surgido dispositivos inteligentes como los drones capaces de reducir accidentes por medio de la automatización de tareas, los cuales seguirán siendo utilizados durante los próximos años, revolucionando todo tipo de mercados a nivel mundial.

1.1 Antecedentes

El Informe de Competitividad Global, lanzado por primera vez por el profesor Klaus Schwab en 1979 presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial (FEM) que tiene su sede en Ginebra, Suiza, fue en inicio un estudio de las principales economías europeas y evolucionó en el área de visión estratégica para evaluar el panorama de competitividad de 144 economías, de modo que brinda información sobre los impulsores de su productividad y prosperidad (World Economic Forum, 2016). El FEM midió los índices de competitividad desde 2010 hasta 2017 mediante tres subíndices, 12 pilares, y 114 variables como se observa en la tabla 1 (World Economic Forum, 2010).

Tabla 1. Mediciones del Índice de Competitividad Global, 2010-2017

1. REQUERIMIENTOS BÁSICOS		2. PROMOTORES DE EFICIENCIA		3. FACTORES DE INNOVACIÓN Y SOFISTICACIÓN	
Pilar	Variables	Pilar	Variables	Pilar	Variables
1. Instituciones	21	5. Educación superior y capacitación	8	11. Sofisticación empresarial	9
2. Infraestructura	9	6. Mercados de bienes	16	12. Innovación	7
3. Ambiente macroeconómico	5	7. Mercado laboral	10		
4. Salud y educación	10	8. Mercado financiero	8		
		9. Disponibilidad tecnológica	7		
		10. Tamaño del mercado	4		

Fuente: elaboración propia con información del World Economic Forum (2010).

Los subíndices y pilares tuvieron una modificación en 2018 por un análisis experimental llevado a cabo ese año, el cual halló que los ICG 4.0 explica más del 81 % de las alteraciones en los niveles de ingresos y el 70 % de alteración entre territorios en el incremento a largo plazo una vez que se contabilizan. El marco ICG 4.0 está organizado en 12 pilares primordiales de productividad que se establecen jerárquicamente en componentes que crecerán en trascendencia mientras 4RI acelera el capital humano, velocidad, resiliencia y novedad (World Economic Forum, 2019).

El ICG 4.0 es un indicador compuesto, la medida se calcula tomando la media aritmética de las puntuaciones de sus elementos. El puntaje general ICG 4.0 es el promedio de los puntajes de los 12 pilares, tres (3) subíndices que a su vez cuentan con 98 variables, estos indicadores provienen de empresas de todo el mundo, instituciones académicas y empresas no gubernamentales. Cuarenta y siete variables, que representan el 48% del puntaje general del ICG 4.0 se derivan de la encuesta de crítica ejecutiva del FEM, La encuesta es un análisis universal exclusivo que indaga todos los años a alrededor de 15.000 ejecutivos de organizaciones gracias a 150 institutos asociados, en la tabla 2 se observa los indicadores que el FEM midió los índices de competitividad desde 2018 hasta 2019 apoyado en doce pilares, los cuales conforman cuatro subíndices y 98 variables así:

- Subíndice de Ambiente Adecuado: conformado por los pilares de instituciones, infraestructura, adopción de TIC y estabilidad macroeconómica.
- Subíndice del Capital Humano: está conformado por los pilares de la salud y las habilidades del talento humano.
- Subíndice de los Mercados: lo conforman los pilares de mercados de productos, mercado laboral, sistema financiero y el tamaño del mercado.
- Subíndice del ecosistema de innovación: compuesto por los pilares del dinamismo empresarial y la capacidad de innovación.

Tabla 2. Mediciones del Índice de Competitividad Global, 2018-2019

1. AMBIENTE APTO		3. MERCADOS	
Impulsor	Variables	Impulsor	Variables
1. Instituciones	20	7. Mercado de bienes	8
2. Infraestructura	12	8. Mercado laboral	12
3. Adopción de TIC	5	9. Sistema financiero	9
4. Estabilidad macroeconómica	2	10. Tamaño del mercado	2
2. CAPITAL HUMANO		4. ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN	
Impulsor	Variables	Impulsor	Variables
5. Salud	1	11. Dinamismo de negocios	8
6. Educación y habilidades	9	12. Capacidad de innovación	10

Fuente: elaboración propia con información de World Economic Forum (2019).

Desde mediados de la segunda década del siglo XXI la revolución tecnológica está alterando fundamentalmente la forma de vida en el planeta, los cambios drásticos en las formas de trabajo y las interrelaciones de las personas, han generado formas diferentes de productividad. La transformación que se espera es a niveles y complejidad que la humanidad nunca ha experimentado en su historia y es llamada la cuarta revolución industrial (4RI). Todavía no se sabe a ciencia cierta cómo evolucionará, pero deberá existir una respuesta a sus cambios integrada por todos los actores de la política global, sector público, sector privado, academia y la sociedad civil (Schwab, 2020).

Las características de esta 4RI son la fusión de tecnologías que desarrollan avances tecnológicos en campos como la inteligencia artificial, la robótica, el Internet de las cosas, los vehículos autónomos, la impresión 3D, la nanotecnología, la biotecnología, la ciencia de materiales, el almacenamiento de energía y la computación cuántica. La inteligencia artificial se identifica con la presencia de automóviles y drones autónomos, software que aprenden con las experiencias lo que genera la posibilidad de negocios con crecimiento en forma exponencial (Schwab, 2020).

La logística surgió en el ámbito militar en la movilización de tropas y los recursos necesarios en los movimientos generados en las acciones de guerra; las organizaciones adoptaron el término y crearon dos conceptos: 1. La planeación de traslado de recursos que una empresa necesitará para el desarrollo de actividades en su objeto social y comercial; 2. Las operaciones y labores relacionadas con la recepción y envío de materias primas, productos semielaborados o terminados al punto de recepción del cliente, teniendo en cuenta lo anterior el éxito de la operación depende de la eficiencia de la logística (Camarero y González 2007).

La globalización ha desarrollado un mundo más competitivo, y con consumidores con estándares superiores en las demandas de bienes y servicios, la logística es un aspecto primordial para cumplir los objetivos y resultados en la gestión de las empresas. En el ámbito empresarial, la logística se relaciona de forma directa con todas las actividades en la transformación de productos En este orden de ideas la

logística se puede definir como la gestión coordinada de recursos y la información desde los proveedores, cruzando por la transformación de esas materias primas en productos semielaborados o terminados, hasta la distribución al cliente o usuario cumpliendo con los requisitos pactados en la negociación (González, 2015).

Los drones son aeronaves sin tripulación que se controlan manualmente mediante una pantalla y un joystick de manera remota por un piloto y tienen un vuelo sostenido, como los utilizados en inteligencia y reconocimiento militar. Los drones se empezaron a utilizar en la primera guerra mundial, y durante la segunda guerra mundial la Fuerza Aérea de Estados Unidos utilizó un dron de asalto llamado Fleetwinngs BQ1. El uso de drones para fines logísticos y comerciales aún no es muy frecuente por los altos costos en el transporte de mercancías, las organizaciones pioneras en este tipo de ensayos son Amazon, Google o Deutsche Post. La legislación vigente en España es exigente y limitante exigiendo licencia al piloto y sus sobrevuelos a baja altura entre otras, dificultando el uso comercial (González y Gisbert, 2017).

Las principales ventajas que presentan el uso de drones son el acceso a sitios remotos y su facilidad para emprender el vuelo, teniendo en cuenta esto Amazon presenta un proyecto que busca abrir líneas logísticas con estos equipos en la ciudad, dentro del proyecto Amazon propone una normatividad para el uso de drones en la ciudad para este fin, las cinco (5) características son: 1. GPS sofisticado para determinar posición en tiempo real y en relación con otros drones en el área; 2. Internet confiable a bordo el uso óptimo del GPS en tiempo real para identificar otros aviones no tripulados y todo tipo de obstáculos; 3. Planeación de vuelos en línea; 4. Equipos de comunicaciones para intercomunicación entre drones en la zona, y 5. Equipos de detección para eludir a obstáculos y otros aviones no tripulados Amazon Prime Air (2015).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Compartir oportunidades y retos de Colombia en competitividad con el uso comercial de drones en desarrollo de la 4^{ta} revolución industrial.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar el comportamiento del subíndice de Requisitos básicos y el pilar de Infraestructura del Índice de Competitividad Global de Colombia, 2018-2019.
- Conocer los usos y aportes de drones en aspectos de logística en la cadena de suministros en la distribución de productos en Colombia y en el mundo.
- Describir oportunidades y retos de Colombia en competitividad con el uso de drones en desarrollo de la 4^{ta} revolución industrial.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Competitividad y productividad

De la literatura académica existente sobre la competitividad y su relación con el desarrollo económico, destacamos algunos estudios según el énfasis en aspectos adicionales, así: desarrollo de la competitividad y las instituciones (Romer, 1986), el capital humano (Lucas, 1988), la infraestructura (Barro, 1990), las innovaciones (Romer, 1990; Aghion y Howitt, 1992), la competencia y la apertura comercial (Grossman y Helpman, 1991); también Ferraz, Kupfer y Haguenuer (1996) plantean un enfoque de la competitividad como proceso dinámico.

En otra perspectiva, Chan Kim y Mauborgne (2005) plantean la idea de océano azul que se desarrolla dejando a un lado la competencia destructiva entre empresas en la búsqueda de una competitividad definitiva a largo plazo, esto se logra ampliando los horizontes del mercado de las organizaciones y generando una propuesta de valor a través de constante innovación y el desarrollo de la tecnología, a diferencia de Porter (1980) que enfoca sus estrategias en la competitividad en un sector industrial donde existe la rivalidad entre las empresas que operan tradicionalmente.

Bonilla (2012) argumenta que desarrollar la productividad incide en ser competitivos y se evidencia en la formulación de políticas públicas, por ello el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT) 2000-2010 propuso la Política Nacional de Productividad y Competitividad. Las dos categorías generan una relación estrecha y directa, ya que al desarrollar la productividad en las organizaciones crea ventaja competitiva que se refleja en las industrias y economía de un país. De acuerdo con Krugman (1997), para que las naciones logren la competitividad en los mercados internacionales deben fortalecer la productividad mediante las organizaciones teniendo en cuenta el talento humano, la innovación y los recursos tecnológicos. Porter (1999) evidencia que la productividad se logra en un largo plazo y es una variable definitiva para el nivel de vida de la población y del Producto Interno Bruto (PIB) de una nación.

Desde otro punto de vista, la competitividad es analítica, debido a que estudia cómo las naciones implementan sus políticas y las estrategias para alcanzar la prosperidad. (Institute for Management and Development –IMD– citado por Lombana y Gutiérrez, 2009). Según Garay (1998), la competitividad de una nación estará representada por el grado de producción en condiciones de libre mercado.

El World Economic Forum (2016) estableció que la productividad conduce al crecimiento de los países, que permite niveles de ingresos más altos en los ciudadanos, lo que busca generar un mayor bienestar por el incremento del poder adquisitivo. El nivel de competitividad de un país depende de la respuesta a los cambios del entorno, que afecta positiva o de negativamente, en aspectos económicos, políticos, culturales y sociales. Una economía es competitiva a medida que cuente con una mayor probabilidad de crecimiento a mediano o largo plazo, también es importante la reacción para generar cambios en el desarrollo de la economía (World Economic Forum, 2010).

2.2 Logística

A principios de la década de 1960, las actividades logísticas eran funciones aisladas, gestionadas de forma independiente por agentes, departamentos distintos, y vinculadas esencialmente a la distribución física, es decir, a la gestión del flujo físico desde producción hasta el cliente final. Sin embargo, a partir de esta década, las empresas empiezan a gestionar las actividades logísticas como elementos interrelacionados, que precisan de una gestión conjunta y desde una perspectiva global, desde el aprovisionamiento de materias primas hasta el cliente final. A partir de mediados de los sesenta cuando se produce el auge de la función logística, tanto en el ámbito empresarial como en el académico; se amplía entonces el ámbito de aplicación de la gestión logística, desarrollándose el concepto de logística integral, al tiempo que se orienta hacia las necesidades del cliente. Ballou (2004) señala que la primicia en el campo de la logística consiste en que la dirección coordina todas las actividades relacionadas para que la acción de la logística añada un valor a los productos o servicios, con el fin de incrementar la satisfacción del cliente y de incrementar ventas.

2.3 Revolución Industrial

La Primera Revolución Industrial (1RI) fue un período histórico de transformaciones económicas y sociales, entre 1760 y 1840 que desencadenó cambios sin precedentes para las sociedades de todo el mundo. Inició en Inglaterra ya que presentaba las condiciones económicas, políticas, sociales y tecnológicas necesarias para ese gran cambio. En el siglo XIX, la 1RI hacía parte de la forma de vida de las sociedades de Europa, Estados Unidos y Japón apoyados en la nueva valoración de las ciencias y los saberes, liberados del yugo de la fé y centrados en la razón humana. La 1RI se divide en dos etapas: la que inicia en 1760 con la aplicación del modelo de fábricas textiles en una Gran Bretaña gobernada por la monarquía liberal no absolutista; y una segunda que inicia alrededor de 1850 y se caracterizó por una aceleración de los cambios impulsados por la nueva tecnología (Montagut, 2016).

La Segunda revolución industrial (2RI) corresponde al período que inició en el año de 1850 hasta el inicio de la Primera Guerra Mundial en 1914. Fue una época de importantes cambios económicos y sociales como consecuencia de un acelerado desarrollo tecnológico. Los principales aportes de la 2RI fueron: la industrialización y el nuevo sistema de producción en serie, el desarrollo del transporte, las nuevas fuentes de energía donde el petróleo reemplazaría al carbón, y los grandes avances en las telecomunicaciones. Algunos de los inventos que cambiaron la historia para siempre fueron los productos químicos, la electricidad, la creación de combustible con base en el petróleo, la producción industrial en serie, los nuevos métodos de transporte, la producción industrial de armas, la impresión de periódicos, la emisión de programas de radio y el telégrafo (El mundo enciclopedia, 2014).

Siguiendo con el contexto, la Tercera Revolución Industrial (3RI) o Revolución de la Inteligencia, aprobada por el Parlamento Europeo en 2007, es producto del pensamiento de Rifkin (2011) derivado del punto en que convergen las nuevas tecnologías y los nuevos mecanismos de obtención de energía, además se identifica mayor empleo de energías renovables, construcción de edificios sostenibles que

produzcan su propia energía y la transición del uso del hidrógeno como elemento de almacenaje energético. La 3RI se desarrolla en cinco pilares: 1) la transición hacia la energía renovable; 2) la transformación del parque de edificios de cada continente, en micro centrales eléctricas; 3) el despliegue de la tecnología del hidrógeno y de otros sistemas de almacenaje energético en todos los edificios y a lo largo y ancho de la red de infraestructuras; 4) el uso de la tecnología de La Internet, para transformar la red eléctrica de cada continente en internet de energía compartida, y 5) la transición de la actual flota de transportes hacia vehículos de motor eléctrico.

En la 4RI es importante tener en cuenta el reto a partir del impacto que se puede generar en el empleo, para lo que González (2017) concluye que la transformación tecnológica y digital puede traer efectos sobre el empleo y el estado de bienestar, aunque las opiniones están divididas, las evidencias de los últimos años indican que la automatización, robótica y la inteligencia artificial eliminan empleos, pero a la vez se crean otros e incrementan la productividad. El reto consiste en potenciar y aprovechar las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías siendo necesario un cambio de percepción de las mismas. Para hacer frente a este fenómeno es necesario el rediseño de normas, políticas de empleo, educación y todas las medidas que garanticen la igualdad de oportunidades.

2.4 Drones

Los drones son aviones no tripulados, que requieren la misma pericia que los aviones tripulados normales, la única diferencia con estos es que en la cabina hay un módulo de control y una cámara, que son controlados a kilómetros de distancia. A veces se les llaman drones de combate, pero no son drones como tales. El sector de las aeronaves no tripuladas crece a buen ritmo y quizá no se note tanto en el ámbito del mercado de consumo, pero los avances en entornos B2B son notables. Hay una gran cantidad de tareas que estos dispositivos pueden hacer, en lugar de delegarlas en trabajadores y se utilizan para evitar riesgos innecesarios, como subir a una torre de alta tensión lo que dará un salto aún mayor con la llegada de las nuevas redes. La tecnología de materiales ha logrado que cada vez sean más ligeros, y la miniaturización de los componentes hoy contamos con drones de tamaños y prestaciones muy diversas: desde los minidrones de recreo hasta los destinados a control y vigilancia, hay un amplio listado de modelos (Universidad Internacional de Valencia, 2018).

El uso de los drones en la industria 4.0 está creciendo de manera exponencial y los expertos aseguran que la utilización de estos vehículos no tripulados seguirá creciendo durante los próximos años, revolucionando todo tipo de mercados a nivel mundial. Con el tiempo veremos la gran cantidad de beneficios que puede traer consigo el uso de drones en el sector industrial. No obstante, hoy día se sabe que los drones en la industria 4.0 sirven para: acortar el tiempo entre inspecciones en lugares con difícil acceso, reducir el riesgo por accidente al sustituir operarios por drones en trabajos de alta peligrosidad, automatizar tareas en entornos industriales que requieren de gran esfuerzo y destreza, mejorar los resultados en la cadena de producción gracias a la precisión con la que trabajan estos aparatos voladores, prevenir fallos gracias a la monitorización del dron y reducir los costes en desplazamientos de equipos humanos (Electroners, 2022).

De momento, solo algunas empresas e industrias han empezado a utilizar esta nueva tecnología a fin de comprobar las ventajas y desventajas. Una evolución de los drones que se puede observar es la creación de modelos más sofisticados con diseños aún más modernos, su potencial está generando entusiasmo, dado que dan más poder a los ciudadanos, a las organizaciones no gubernamentales y a otras redes informales más pequeñas. Los drones marcarán la diferencia en los procesos de políticas y de toma de decisiones, dado que los ciudadanos participan en la consecución y creación de datos en momentos críticos, destaca Diego Alfonso Erba, ingeniero tasador y experto en sistemas de gestión de suelo en América Latina. Los ciudadanos pueden controlarlos, tomar fotos de una situación y compartirlos resultados con las autoridades. En situaciones que evolucionan a gran velocidad, en las que se observa la generación de asentamientos informales, extracciones de recursos no autorizadas o conflictos, los drones pueden ofrecer pruebas a los sistemas legales. (Lincoln Institute, 2019).

3. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo descriptivo documental, en él se reconocen y explican las propiedades, las características y los rasgos predominantes del fenómeno, describiendo los resultados obtenidos (Hernández et al., 2014). La investigación se desarrolló del análisis de la comparación del Índice de Competitividad Global 2018-2019 con respecto a los retos y oportunidades en la proyección del uso de drones en las cadenas de suministro. La metodología se desarrolló en cinco fases: 1) revisión de literatura; 2) recolección de información derivada de fuentes primarias y secundarias; 3) organización de datos mediante tablas, figuras y textos para identificar comportamientos y comparar las variables de investigación; 4) análisis de los resultados de la información organizada; 5) descripción de análisis y conclusiones de los resultados de la investigación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 1 se evidencia la comparación del comportamiento del ranking de las variables del ICG 2018-2019 de Colombia, donde las variaciones no son representativas en la mayoría de los casos, vale recalcar dos variables que sufren un cambio drástico, como son la caída de transparencia presupuestaria, del ranking 4 en 2018 al 45 en 2019, debido a la percepción de los evaluadores en cuanto a la confiabilidad, oportunidad y accesibilidad a los informes de las finanzas públicas, que se afectan por la existencia de normas y disposición de los gobiernos para compartir esta información; mejorando la rendición de cuentas, la legitimidad y, en general, la confianza de los gobiernos y ciudadanos (OCDE, 2020). También la variable de inflación sufre un cambio representativo debido a las políticas generadas para el manejo del IPC trasladándose del puesto 108 al 1 en la línea de tiempo de comparación, producto del acierto que tiene el país con su política monetaria a través del Banco de la República denominada la inflación objetivo, que pretende mantener unos niveles bajos que cumplan con el mandato constitucional de conservar el poder adquisitivo de la población en beneficio de la producción y el empleo (Banco de la República, 2022).

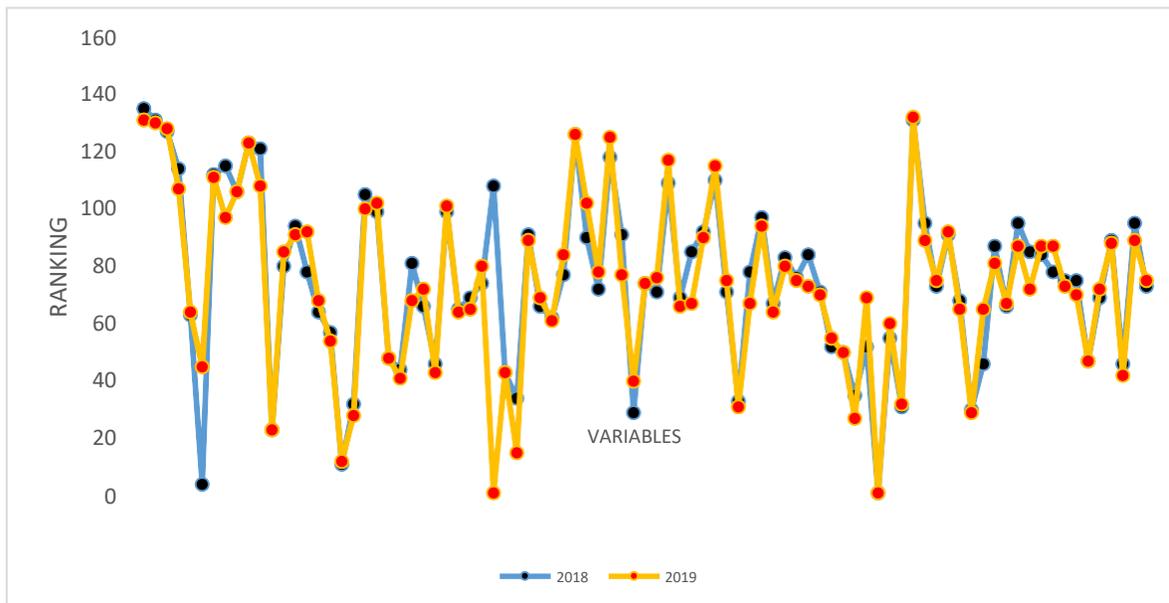


Figura 1. Comportamiento ranking de variables del índice de competitividad global de Colombia 2018-2019. Fuente: elaboración propia con base en el World Economic Forum (2019).

El comportamiento del subíndice de Requisitos Básicos 2018-2019 se observa en la figura 2, en donde cada pilar tiene su comportamiento particular así: Instituciones baja en el ranking de 89 a 92; Infraestructura mejora del puesto 83 a 81, en Adopción de las TIC pierde posiciones del 84 a 87, al no poder implementar la masificación de este servicio a los sitios alejados del centro del país y la estabilidad Macroeconómica gana en posiciones del puesto 56 al 43, por la solidez y aciertos de la política monetaria en especial la evolución positiva de la inflación y la dinámica de la deuda pública (Banco de la República, 2022).

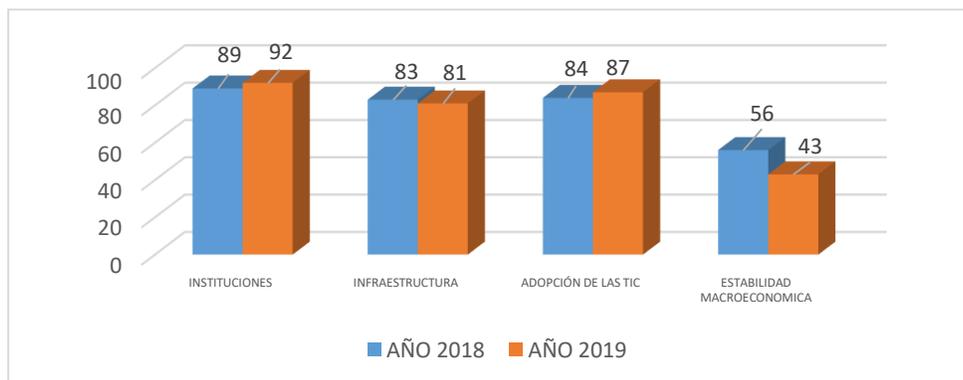


Figura 2. Ranking de Colombia en el Subíndice de Requisitos Básicos ICG 2018-2019. Fuente: autores con base en el World Economic Forum (2019).

El comportamiento de las variables del pilar de Infraestructura 2018-2019, se muestra en la figura 3; en donde la variable de carreteras mejora del puesto 105 al 100, por la puesta en marcha de las vías 4G y la ya adjudicación de concesiones 5G; las vías férreas bajan de lugar pasando del 99 al 102, en la medición de densidad que relaciona km lineales de vía por Km²; en infraestructura aérea se mejora del 44 al 41 al concluir importantes obras que dan mejores oportunidades de conectividad en los aeropuertos de Leticia, Pasto y Armenia; en cuanto a servicios básicos en Electricidad se mejora del 81 al 68 gracias a los avances en centrales hidroeléctricas, de generación térmica y de ciclo combinado, así como la promoción de energías no convencionales (Sociedad Antioqueña de Ingeniería, 2022). El servicio de agua potable se desmejora pasando del 66 al 72, por el aumento en el porcentaje de aguas no consumibles (World Economic Forum, 2019).

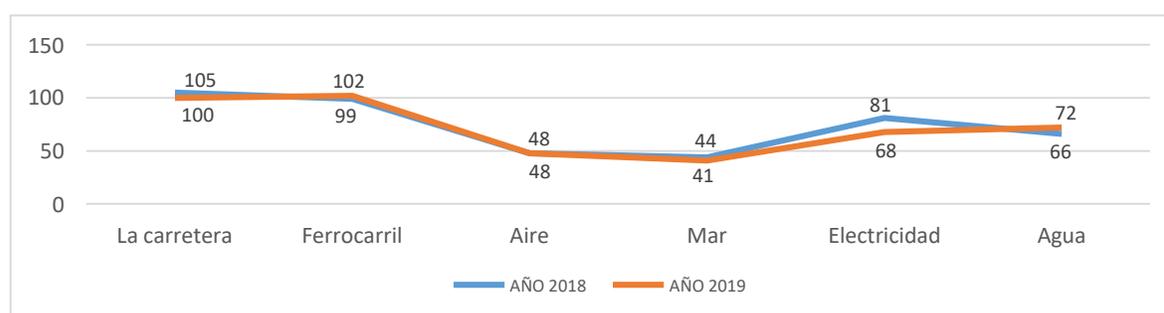


Figura 3. Ranking de Colombia en el Pilar de Infraestructura ICG 2018-2019. Fuente: autores con base en el World Economic Forum (2019).

4.1 Retos y oportunidades

El pilar de infraestructura hace parte del subíndice de ambientes aptos; a su vez se divide en infraestructura del transporte y de servicios públicos; donde se está evaluando por una parte la calidad y eficiencia de todos y cada uno de los medios de transporte, así como los insumos necesarios para su movilidad y en la otra, la cobertura y la calidad de servicios básicos como son el suministro de energía eléctrica y agua potable.

En general Colombia mejora un par de posiciones en infraestructura, alcanzando el lugar 81 en 2019, después de haber iniciado este método de mediciones en 2018 en el puesto 83. Encontrando muy pocas mejoras en el ranking del país dentro de las diferentes evaluaciones, con excepción en los servicios férreos que pasa del puesto 125 al puesto 99, en la eficiencia y del puesto 92 al 89 en densidad de líneas por km²; las demás permanecen estables pero se destacan por su buena posición la conectividad marítima que ocupa los puestos 34 y 33 y la aérea 31 y 31, en los años de medición, por la posición geográfica del país considerada estratégica, convirtiéndose en punto o de llegada o de paso para las diferentes compañías de transporte internacional que se dirigen a otros territorios del continente.

En la infraestructura de servicios públicos pierden posiciones en la exposición a agua no segura del 64 al 79, contrastando con la mejor posición en la confiabilidad del suministro del agua de 70 a 66. Por su

parte, el servicio de energía eléctrica se mueve del 89 al 91 en cobertura teniendo una buena posición 51 en calidad del servicio. Los resultados, salvo algunos ítems muy específicos, no dan cuenta de una mejora sustancial, a pesar de haber reglamentado la actividad de mejora en la infraestructura a través de la Ley 1680 de 2013, además haber reglamentado una de las formas de financiación con la Ley 1508 de 2012 sobre las asociaciones público privadas (APP) para la ejecución de estas obras, y no menos los esfuerzos presupuestales por apostar a una mayor inversión en estos rubros.

Lo cierto es que el país adolece de una verdadera infraestructura eficiente para efectos de la movilidad de bienes de entrada y salida del país, o de igual manera para todo el comercio interno; en especial en lo que tiene que ver con vías secundarias y terciarias requeridas para que los productores de provincias alejadas del centro tengan esos medios para llevar sus productos a los puntos de acopio y distribución; convirtiéndose esta actividad en un determinante de elevados costos que afectan directamente el precio de los bienes, tiempos de entrega y que hacen perder competitividad a los productores. Es ahí cuando tecnologías como el uso de drones comienza a abrirse camino como una posibilidad real de acercar en términos logísticos a muchos productores inicialmente con sus proveedores de materias primas e insumos y posteriormente con sus clientes en la logística de entrada y salida.

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV) se están convirtiendo rápidamente en una herramienta logística para diferentes campos, saliendo del encasillamiento de las tareas militares y convirtiéndose para fabricantes e inversionistas en uno de los campos con mayor perspectiva en el corto y mediano plazo, por su versatilidad y posibilidad de uso en diferentes actividades: salud pública con el transporte de productos sanitarios, medicinas y muestras desde sitios alejados en corto tiempo, protección de recursos naturales y biodiversidad sirviendo como elemento de inspección, de igual manera para lo que tiene que ver con el constante chequeo de los elementos usados para la generación de energías alternativas, actividades de búsqueda y rescate, manejo de materiales peligrosos, gestión de obras, minería, petróleo y gas, como lo describe la empresa DJI (2021), en su blog: “13 maneras en que los drones comerciales transformaron la forma de trabajar”.

En lo que respecta a la logística de cadenas de suministro, las primeras expectativas se centran en el mercado minorista, específicamente en el transporte y distribución de paquetería y la gestión de almacenes e inventarios. De acuerdo con Panceron (2020), es muy posible que se empresas como DHL o UPS, dejen de ser necesarias en la cadena de abastecimiento. Lo que hasta hace poco parecía un sueño de empresas como Amazon, que promete sus primeras entregas para final de 2022, o Alibaba, se está haciendo realidad, y con sus primeros ensayos autorizados por la Administración Federal de Aviación, en entregas a sus clientes están constituyendo una herramienta para el e-commerce, en la distribución capilar, mejor conocida como la última milla.

Como se describe en la revista Zonalogística (2021), otras aplicaciones de los drones en logística se han realizado con los ensayos realizados en Vigo España, para abastecer buques que se encuentran a kilómetros de distancia del puerto ahorrando tiempo y dinero en estas labores; así como la compañía de automóviles SEAT, que los utiliza en su línea de producción llevando las piezas de reemplazo de las

defectuosas desde el centro de distribución hasta la planta de producción. Asimismo, los controles de inventario serán más eficientes encontrando referencias en estanterías o realizando inventarios cíclicos o generales a través de tecnologías como RFID cuya principal función es recibir y enviar señales a partir de los tags incorporados a las mercancías, reduciendo las tareas de operarios que emplearían mucho más tiempo en estas actividades. Otros de los usos al interior de los almacenes son los movimientos internos de repuestos o de mercancía a las zonas de despacho (Mecalux News, 2020).

Por su parte en Colombia, también se ha realizado los primeros esfuerzos por convertir los drones en una solución para la difícil topografía y la baja densidad de la malla vial. De acuerdo con la revista Forbes (2021), con el liderazgo de la compañía Orkid, primera plataforma para el uso de drones, Colombia ya cuenta con la primera flota de estos vehículos, para ofrecer servicio de última milla en salud, comercio y logística. A esta iniciativa se unen compañías como Boston Scientific, Coordinadora, Solística, la Patrulla Aérea Civil Colombiana (PAC) y Sura; compañías que, con este método, buscan mejorar el alcance de su distribución, ofreciendo llegar más rápido a esas zonas de difícil acceso y en algunos casos de conflicto social.

En cuanto a la normatividad, desde la aeronáutica civil se expidió la RAC 91, Resolución 4201 de 2018, que se constituye de manera preliminar en la norma que reglamenta el uso de drones en el país, categorizando su uso en tres niveles diferentes: A, para el uso recreativo o personal; B, para el uso comercial; C, para todos los usos que sobrepasen las dos primeras categorías (Portafolio, 2021). Para cualquiera de los usos se debe estar inscrito en la Aeronáutica Civil y cumplir unas condiciones mínimas de seguridad para operarlos. Hasta la fecha de la publicación se tenían 900 empresas inscritas y 1900 operadores, pero se considera que existen alrededor de 20.000 equipos funcionando. Por ello de acuerdo con los expertos, esta regulación aún se considera débil y los negocios de comercialización y uso de estos, adolecen de un marco jurídico claro. El primer reto que se evidencia con esta información es precisamente que el aparato legislativo colombiano se ocupe de estos temas, y proporcione claridad tanto a los comercializadores como a los usuarios.

De acuerdo con Nanot (2021), en logística Colombia enfrenta estos retos: 1) incrementar la inversión y tecnología conforme a una logística verde, por el uso indiscriminado de vehículos movidos por combustibles fósiles, nuevos y usados; especialmente en las zonas de provincia donde, por lo general, se utilizan vehículos que han sido desechados en otras regiones impactando el medio ambiente y generando altos costos, igualmente por falta de una tecnología de bajo consumo, abriendo oportunidades para vehículos con uso de otras fuentes de energía o los drones de uso comercial, que por su versatilidad, podrían generar mejores y menos costosas rutas para las entregas a esos puntos de difícil acceso; 2) buscar una óptima fiscalidad con una clara referencia en la autoridad aduanera; bien podría ser otra de las beneficiarias de esta tecnología, en tareas de inspección y seguimiento a la entrada y salida de mercancías, agilizando en tareas que no requieran de una presencia obligatoria de los funcionarios; 3) gestionar con mayor eficiencia el canal logístico, replazando el uso de carreteras

como medio para la distribución de mercancías por otras vías como la férrea, fluvial, marítima o aérea y en este análisis con el uso de los drones en la última milla disminuyendo los tiempos y los costos.

Ahora bien, si se plantean presupuestos de inversión y se generan las normas necesarias para el uso de esta tecnología, se debe pensar inicialmente en los contextos a cubrir, que se convierten en retos adicionales, a saber, redes de internet que den cobertura a todo el territorio nacional, indispensables por el uso de los sistemas de GPS de localización; adecuación de instalaciones físicas de partida y control de los UAV, recursos humanos capacitados, entre otras.

Luego las oportunidades como en cualquier otro país estarán alrededor de la salud, agricultura, seguridad, atención de emergencias, inspecciones diversas entre las que se pueden incluir las instalaciones e infraestructura para la prestación de servicios públicos y junto con estas aplicaciones la logística comercial, tanto para el abastecimiento de materias primas, insumos, bienes intermedios, repuestos para el sector industrial y en la distribución de mercancías, que con el avance del sistema crecerá también en el tamaño de los bienes y pedidos que se puedan transportar.

5. CONCLUSIONES

En las mediciones realizadas por el FEM y evaluada con la nueva metodología 2018-2019, Colombia avanza en el ranking de competitividad de la posición 60 a la 57; buena parte de ese avance se le puede atribuir al buen comportamiento en el período analizado a los pilares de: 1) infraestructura, en donde se destacan la ejecución y puesta al servicio de las vías 4G y la concesión de los primeros proyectos 5G; por su parte, avances en la infraestructura marítima con una mayor cantidad de terminales para cargue y descargue de mercancías objeto de comercio internacional; mantenimiento de la buena posición en las instalaciones aéreas gracias a la modernización y ensanche de algunas de las terminales, pero con deuda en cuanto al medio férreo que pierde terreno por la baja densidad; 2) estabilidad macroeconómica, por el acertado manejo de la inflación y la dinámica de la deuda externa pública, pilares correspondientes al subíndice de ambientes aptos de la medición. Los avances en estos campos deben ser como compromiso de los gobiernos, complementados por un mejor comportamiento en los pilares de instituciones que suben o bajan de acuerdo con la percepción de confianza que ofrezcan, en este caso de desconfianza por la incidencia de la corrupción 80 a 85 y la transparencia presupuestaria en donde la caída fue del puesto 4 al 45 y la adopción de las TIC, que, por su lento avance en cobertura, bajó su ubicación y frenó el subíndice.

Colombia, como cualquier otro país, puede generar ventajas competitivas con el uso de los drones en sectores como salud, agricultura, seguridad, atención de emergencias, inspecciones diversas, entre las que se pueden incluir las propias de la autoridad aduanera, de instalaciones e infraestructura para la prestación de servicios públicos. Y junto con estas aplicaciones la logística comercial, tanto para el abastecimiento de materias primas, insumos, bienes intermedios, repuestos para el sector industrial y en la distribución de mercancías que, con el avance del sistema, crecerá también en el tamaño de los

bienes y pedidos que se puedan transportar. Sin embargo, se deben establecer las condiciones para gozar de sus beneficios, especialmente robusteciendo las normas sobre su registro, uso y manejo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el país está llamado a ser protagonista en el aprovechamiento de los drones, nuevo vehículo tecnológico adoptado con la 4ta Revolución Industrial, con la que a mediano y largo plazo se proyecta impactar el pilar de infraestructura de manera positiva, al lograr una mayor cobertura, alcance y mejora de tiempos y costos, de todos sus usuarios, lo que incrementara las calificaciones en el subíndice de ambientes aptos, y si paralelamente se trabaja en la mejora de los pilares de instituciones y de adopción de TIC indispensables para los UAV (vehículos aéreos no tripulados o drones), en estas condiciones se crearan las condiciones que permitan incrementar la productividad, base para seguir avanzando en el ranking del ICG.

REFERENCIAS

- Aghion, P., & P. Howitt (1992). A model of growth through creative destruction, *Econometric*, 60(2).
- Amazon Prime Air. (2015). Determining Safe Access with a Best-Equipped, Best-Served Model for Small Unmanned Aircraft Systems. National Aeronautics and Space Administration, NASA Recuperado el 02 de junio de 2022 del <http://utm.arc.nasa.gov/documents.shtml>
- Ballou, R. H. (2004). *Logística administración de la cadena de suministro*, 5ta ed. México DF: Pearson Educación.
- Banco de la República. (2022). *Política Monetaria: La estrategia de inflación objetivo en Colombia*. Recuperado el 12 de julio de 2022 de <https://www.banrep.gov.co/es/politica-monetaria>
- Barro, R. (1990), Government spending in a simple model of economic growth. *Journal of Political Economy*, 98(5), Chicago, The University of Chicago Press.
- Bonilla, E. (2012). *La importancia de la productividad como componente de la competitividad*. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/732/1/41584611-2012-2-EF.pdf>
- Camarero, A., & González, N. (2007). *Logística y transporte de contenedores*. Madrid: Fundación Agustín de Betancourt. Ministerio de Fomento.
- Chan Kim, W., & Mauborgne, R. (2005). *La estrategia del océano azul*. Grupo Editorial Norma.
- DJI Enterprise. (2021). 13 Maneras en que los drones cambiaron la forma de trabajar en el 2021. Recuperado el 6 de julio de 2022 de <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/drones-comerciales-transforman-industrias>.
- El Mundo Enciclopedia. (2014). Características. Segunda revolución industrial. Recuperado el 10 de junio de 2022 de <https://www.caracteristicas.co/segunda-revolucion-industrial/>
- Electroners. (2022). Los drones aportan nuevas soluciones a la Industria 4.0. Recuperado el 18 de Junio de 2022 de <https://electroners.com/los-drones-aportan-nuevas-soluciones-a-la-industria-4-0/>

- Ferraz, J., Kupfer, D., & Haguenaer, L. (1996). *Made in Brazil: desafíos competitivos para a indústria*. Río de Janeiro: Campus.
- Forbes. (2021). Colombia tiene su primer flota de drones para entrega de paquetes. Recuperado el 13 de julio de 2022 de <https://forbes.co/2021/07/24/empresas/entrega-de-paquetes-con-drones-en-colombia/>
- Garay, L. (1998). *La industria de América Latina ante la globalización económica*, tomo I. Colombia: Estructura Industrial e Internacionalización 1967-1996 DNP, Colciencias.
- González, A., & Gisbert, V. (2017). *Uso de drones en la distribución urbana*. Recuperado el 01 de junio de 2022 de <file:///C:/Users/Estacion/Downloads/Dialnet-UsoDeDronesEnLaDistribucionUrbana-6300071.pdf>
- González, J. M. (2017). *Cuarta revolución industrial, empleo y estado de bienestar*. Recuperado de https://www.boe.es/biblioteca_juridica/anuarios_derecho/abrir_pdf.php?id=ANU-M-2018-10008900113
- González, N. (2015). *Nuevas cadenas de transporte de mercancías generadas por las infraestructuras logísticas de intercambio modal*. Obtenido el 01 de junio de 2022 de <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/2430/2088>
- Grossman, G., & Helpman, E. (1991). Quality ladders and product cycles. *Quarterly Journal of Economics*, 106(2).
- Hernández, Fernández, & Baptista. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill, 6ª edición. Disponible en <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Krugman, P. (1997). *El internacionalismo moderno: La economía internacional y las mentiras de la competitividad*. Barcelona: Crítica. Recuperado el 15 de febrero de 2021 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062528>
- Lincoln Institute. (2019). *La revolución de los drones*. Recuperado el 07 de junio del 2022 de <https://www.lincolnst.edu/es/publications/articles/la-revolucion-los-drones>
- Lombana, J., & Gutiérrez, S. (2009). Marco analítico de la competitividad Fundamentos para el estudio de la competitividad regional. *Pensamiento & Gestión*, 26, 7. Recuperado el 15 de mayo de 2020 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64612291002>
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1).
- Mecalux News. (2020). Inventario con Drones: ¿El Futuro del Control de Stock? Recuperado el 13 de julio de 2022 de <https://www.mecalux.com.co/blog/inventario-con-drones>
- Montagut, E. (2016). *Las otras revoluciones industriales en Europa*. Recuperado el 16 de junio de 2022 de <https://www.eduardomontagut.es/mis-articulos/historia/itemlist/tag/revoluci%C3%B3n%20industrial.html>

- Nanot, R. (2021). *Retos de la logística en Colombia*. Disponible en <https://www.internacionalmente.com/retos-de-la-logistica-en-colombia/>
- OCDE (2020). *Panorama de las administraciones públicas en América Latina. Transparencia presupuestaria*. Recuperado el 12 de julio de 2022 de <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/20602af1-es/index.html?itemId=/content/component/20602af1-es>
- Panceron, A. (2020). *Drones en la gestión de almacenes e inventarios: pasado, presente y futuro*. Recuperado el 6 de julio de 2022 de <https://www.revistalogistec.com/scm/almacenamiento-2/2610-drones-en-la-gestion->
- Portafolio (2021). *Las reglas de juego para el uso de drones en Colombia*. Recuperado el 6 de julio de 2022 de <https://www.portafolio.co/economia/gobierno/las-reglas-de-juego-para-el-uso-de-drones-en-colombia-555265>
- Porter, M. E. (1980). Estrategia competitiva. En M, Porter (ed.). *Ser Competitivo. Nuevas aportaciones y conclusiones*. Bilbao: Ediciones Deusto.
- Porter, M. E. (1999). *La ventaja competitiva de las naciones*. México, D.F.: CECSA.
- Rifin, J. (2011). *La tercera revolución industrial*. Recuperado el 12 de junio de 2022 de <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.mx/pdf/bmdc/v50n150/2448-4873-bmdc-50-150-1457.pdf>
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5).
- Romer, P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5).
- Schwab, K. (2020). La Cuarta Revolución Industrial. *Futuro Hoy*, 1(1), 6-10. Recuperado el 31 de mayo de 2022 de <https://doi.org/10.52749/fh.v1i1.1>
- Sociedad Antioqueña de Ingeniería (2022). *La infraestructura en Colombia 2022: Avances importantes y grandes retos*. Recuperado el 13 de julio de 2022 de <https://sai.org.co/la-infraestructura-en-colombia-2022-avances-importantes-y-grandes-retos/>
- Universidad Internacional de Valencia. (2018). *¿Qué es un dron y cómo funciona?* Recuperado el 22 de junio de 2022 de <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/que-es-un-dron-y-como-funciona>
- World Economic Forum. (2010). *The Global Competitiveness Report 2010–2011*. Ginebra: World Economic Forum. Recuperado el 17 de marzo de 2021 de <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2010/12/pdf/fd1210s.pdf>
- World Economic Forum. (2016). *Global Competitiveness Report 2014-2015 - Reports*. Recuperado el 07 de marzo de 2022 de <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015/>
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. Ginebra: World Economic Forum. Recuperado el 02 de abril de 2021 de <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth>

Zonológica. (2021). *Drones: cada vez mas protagonistas en los procesos logísticos*. Recuperado el 12 de julio de 2022 de <https://zonalogistica.com/drones-cada-vez-mas-protagonistas-en-los-procesos-logisticos/>

DISEÑO DE LA PILA DE COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSION DEL BUQUE DE APOYO LOGISTICO Y CABOTAJE LIVIANO (BALC-L)

Área temática: logística militar

Carlos Fuentes*
Pedro Hernández**
José María Riola, PhD***

Resumen

Este trabajo se realizó con el fin de diseñar una propulsión accionada con pilas de combustible de hidrógeno para el Buque de Apoyo Logístico y Cabotaje Liviano (BALC-L). Este buque, que se ha diseñado en colaboración entre el astillero de la corporación COTECMAR y ENAP, tendrá la misión de acceder al interior fluvial colombiano ante situaciones de catástrofes y emergencias. El futuro parece que designará al hidrógeno como la fuente de combustible por excelencia para nuestros ríos, porque no produce contaminación y ningún astillero local ha desarrollado investigaciones para la obtención de una propulsión innovadora como la del hidrógeno. A medida que se fue indagando acerca de esta propulsión surgieron nuevas incógnitas como el de la maquinaria auxiliar que podría necesitarse para que funcionara adecuadamente, por lo cual se procedió a realizar los cálculos pertinentes para el sistema de propulsión y posteriormente plantearse la maquinaria auxiliar requerida para el funcionamiento del sistema de propulsión accionado con pila de hidrogeno. Este artículo presenta un acercamiento a la tecnología de las pilas de combustible desde la perspectiva de los diseñadores navales y el caso práctico de su aplicación a este buque. La conclusión más relevante del estudio ha sido el demostrar que con los cálculos efectuados es posible posible diseñar un primer buquede propulsión de hidrógeno en el país.

Palabras clave: Hidrógeno, pila de combustible, propulsión, diseño, buques.

Abstract

This work was carried out in order to design a propulsion powered by hydrogen fuel cells for the Light Logistic Support and Cabotage Vessel (BALC-L). This vessel, which has been designed in collaboration between the shipyard of the COTECMAR corporation and the ENAP, will have the mission of accessing the Colombian fluvial hinterland in the event of disasters and emergencies. The future seems to designate hydrogen as the fuel source par excellence for our rivers, because it does not produce pollution, and no local shipyard has developed research for obtaining an innovative propulsionsuch as hydrogen. As the research on this propulsion system was carried out, new unknowns arose,such as the auxiliary machinery that might be needed for it to work properly, so we proceeded to make the relevant calculations for the propulsion system, and then to consider the auxiliary machinery required for the operation of the propulsion system powered by hydrogen fuel cell. This paper presents an approach to fuel cell technology from the perspective of naval designers and the practical case of its application to this vessel. The most relevant conclusion of the study has been to demonstrate that with the calculations carried out it is possible to design the first hydrogen propulsion vessel in the country.

Keywords: Hydrogen, fuel cell, propulsion, design, vessels.

* Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: carlosfg1910@gmail.com

** Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: pedro.d.hernandez@outlook.com

*** Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: Chema.riola@rga-psi.es

1. INTRODUCCIÓN

Dada la importancia del combustible en la logística de los buques, y particularmente en los buques de la ARC, este trabajo se realizó con el fin de diseñar una propulsión accionada con pilas de combustible de hidrógeno para el buque de apoyo logístico y cabotaje liviano BALC-L (Riola, 2022) como complemento a su propulsión estándar diésel, para que al acceder a zonas medioambientalmente críticas el buque pueda tener al menos 6 horas a su velocidad máxima sin producir gases de efecto invernadero (GEI). Este buque de ayuda humanitaria deberá ser un ejemplo de respeto al medioambiente, y en especial al saber que antes de 2030, la Organización Marítima Internacional (OMI) en su capítulo sobre la eficiencia energética en el anexo VI de MARPOL establece unas duras restricciones de cara a la descarbonización que necesita el planeta.

Para el desarrollo de dicho proyecto fue necesaria la investigación del hidrógeno como una fuente de combustible y si este ya era utilizado en los buques de nuestro país. Esto permitió conocer que en Colombia este sector era algo inexplorado (Energías Estratégicas, 2020) y que ningún astillero local ha desarrollado productos para la obtención de una propulsión innovadora como la del hidrógeno, aunque ya se está trabajando con prototipos de pilas en alguna Universidad (Riola, 2021; Rojas, 2012). A medida que se fue indagando acerca de esta propulsión surgieron nuevas incógnitas como el de la maquinaria auxiliar necesaria para obtener el funcionamiento adecuado, de manera que se realizaron los cálculos para el sistema de propulsión y, luego, se planteó la maquinaria auxiliar que se requiere para el sistema de propulsión accionado con pila de hidrogeno. El desarrollo de este trabajo brindará las pautas iniciales que debe tener un buque que desee tener esta propulsión, lo que posiblemente va a llevar a una evolución de los sistemas de propulsión tradicionales de combustión interna, además que va a generar grandes avances tecnológicos en el país.



Figura 1. Render del buque BALC-L. Fuente: Cotecmar.

La primera fase de esta investigación se dedicó a la recopilación de las capacidades que tiene el sector astillero del país en cuanto investigación, desarrollo, diseño y construcción del sistema de propulsión accionado con pilas de hidrógeno en las embarcaciones (GNH2, 2022) que hacen parte del proceso de manufactura del astillero. Se realizó también el análisis de las necesidades de potencia y rendimiento

que establezca el buque BALC-C para la planta propulsora (ARC, 2021; Ramírez et al., 2022). En la segunda fase se realizaron los cálculos para estimar los datos necesarios de potencia, suministro del hidrógeno, autonomía del sistema, etc. El resultado de estos procesos permitió la selección adecuada de cada uno de los componentes que hace parte del sistema de propulsión y los cálculos para los sistemas auxiliares de la unidad, entre los cuales están los intercambiadores de calor, sistema de achique, contraincendios, etc. Con los valores obtenidos se diseñó el sistema de propulsión accionado con pilas de hidrógeno y representó en un plano del cuarto de máquinas mediante el programa AutoCAD.

2. RESULTADOS

Teniendo como punto de partida las características básicas del buque BALC-C:

- L (Eslora total) = 49 m
- B (Manga máxima) = 8 m
- T (Calado de diseño) = 1,20 m
- C_B (Coeficiente de bloque) = 0,812
- C_M (Coeficiente maestra) = 0,970
- Δ (Desplazamiento) = 680 Ton

En la tabla 1 se presentan los valores que permitieron el desarrollo del sistema con la potencia efectiva (EHP) requerida para una velocidad establecida para este buque.

Tabla 1. Potencia efectiva requerida

Velocidad (Kt)	Tiempo operación (h)	Potencia (KW)
4	6	47
7		246,12
8		388,81

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la potencia al freno (BHP) se establece un sistema de ecuaciones con base en el concepto de rendimiento establecido por la Universidad Naval de Estados Unidos (USNA, 2022). En la ecuación el valor de potencia efectiva (EHP) está dado por cada valor de la tabla 1.

$$\eta_{engranaje} = \frac{SHP}{BHP} \approx 98\% - 99\% \quad (1)$$

$$\eta_{engranaje} = \frac{SHP}{BHP} \quad (2)$$

$$SHP = (\eta_{engranaje})BHP \quad (3)$$

$$\eta_{propulsivo} = \frac{EHP}{SHP} \quad (4)$$

$$\eta_{propulsivo} = \frac{EHP}{(\eta_{engranaje})BHP} \quad (5)$$

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_{engranaje} \cdot \eta_{propulsivo}} \quad (6)$$

$$\eta_{propulsivo} = 55\% \quad \eta_{engranaje} = 98\%$$

$$BHP = \frac{47 \text{ KW}}{0,55 \times 0,98} \quad (7)$$

$$BHP = 87,19851577 \text{ KW} \quad (8)$$

La tabla 2 agrupa los resultados obtenidos de BHP para cada rango de velocidad. Los rendimientos menos favorables para el cálculo de potencia al freno dado en la ecuación anterior con un rendimiento propulsivo estimado de 0,55 y un rendimiento de la transmisión estimado de 0,98.

Tabla 2. Valores de potencia al freno

Velocidad (Kt)	BHP (kw)
4	87,20
7	456,62
8	721,35

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se establece una potencia al freno de 800 KW, valor que se tendrá en cuenta para la selección de los dos propulsores con los que contará la unidad, se toman dos propulsores para garantizarla fiabilidad de la unidad, lo cual permite que el buque continúe su operación con un solo propulsor. En la figura 2 se muestra el propulsor seleccionado: el Motor INGTEAM INDAR IM.



Figura 2. Motor Indar serie IM. Fuente: INDAR.

Características del motor propulsor:

- Potencia: 440 KW
- Voltaje: 440 V
- Corriente: 1000 A
- Frecuencia: 60 Hz

- Aislamiento térmico: tipo H
- Incremento de temperatura: clase B (130°C)
- Temperatura de refrigeración máxima: -20 °C hasta 40°C
- Temperatura de operación: 65°C

Para establecer el diámetro mínimo del eje de transmisión a la hélice, se utilizó la ecuación suministrada por las reglas de clasificación para buques de acero NR467-Julio del 2022 parte C, capítulo 1, sección 7, numeral 2.2.3 de la sociedad de clasificación Bureau Veritas con el que se obtuvieron valor de $D = 87,58$ mm.

$$D = 100 \cdot K \cdot \sqrt[n]{\frac{P}{R_m + 160}} \cdot \frac{560}{R_m + 160} \quad (9)$$

3. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE

Para el tipo de celda de combustible a utilizar se seleccionó una pila de combustible tipo PEM, la cual tiene un rango de potencia de 0 a 250 KW y su principal uso es la alimentación de sistemas de transporte, para posteriormente realizar los cálculos para obtener la pila (stack) con la cual se va a alimentar cada motor propulsor (Barreras, 2012). Así, el número de celdas a montar y el área activa de electrolito serán de:

$$V_{total} = V_{celda} \cdot N_{celda} \quad (10)$$

$$N_{celda} = \frac{V_{total}}{V_{celda}} = \frac{440V}{0,50V} = 880 \text{ celdas}$$

$$A_{electrolito} = \frac{I_{total}}{j \text{ densidad de corriente}} = 2500 \text{ cm}^2 \quad (11)$$

Los rangos establecidos para la operación fueron celdas de 200 a 250 V y un área de electrolito 50 a 600 cm². Por corrección y correlación con los valores necesarios de número de celdas y el área del electrolito se recalcula la pila stack:

$$V_{total} = V_{celda} \cdot N_{celda} = 110 \text{ v} \quad (12)$$

Por lo que se requieren 4 pilas stack conectadas en serie para obtener un voltaje 440 v. Con la fórmula (11) se obtiene una $I_{total} = 250$ A, por lo que el diseño queda en 4 pilas stack conectadas en paralelo para obtener una corriente 1000 A. Entonces, para energizar cada propulsor son necesarias 16 pilas de 220 celdas, con un área de 625 cm², conectadas en serie-paralelo para obtener un voltaje de 440 v y 1000 A.

Par el cálculo de la cantidad de hidrogeno requerido se debe establecer la potencia que debe entregar cada stack de baterías, la cual está dada por la potencia del motor propulsor, debiéndose determinar el tiempo de operación del stack en horas y el rendimiento de la pila PEM, requiriendo cada propulsor 149 Kg para su operación con una autonomía de 6 horas.

$$\text{Cantidad de Hidrogeno (Kg)} = \frac{P(kW) \cdot T(h) \cdot 3600s}{\eta (\%) \cdot LHV \left(\frac{kJ}{kg} \right)} = 149 \text{ kg} \quad (13)$$

Para el almacenamiento del hidrógeno se utilizarán tanques tipo 4, fabricados comercialmente con un forro interno de polietileno de alta densidad que evita la difusión del hidrogeno y reforzado mediante fibras de carbono para efectuar el recubrimiento del mismo, estos materiales presentan una reducción en el peso y permiten el almacenamiento del hidrogeno a un rango de presión de 300 a 700 bares y a una temperatura de 15°C, estos tanques comercialmente tienen dimensiones, establecidas como 515mm de diámetro y 2,6 m de largo, ver figura 3.

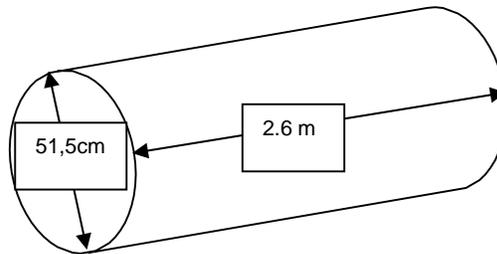


Figura 3. Dimensiones tanque. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el hidrógeno será almacenado a una presión de 700 bares y una temperatura de 15°C se determina que la densidad del hidrogeno es 40 g/L, datos con los que se establecerá la cantidad de masa de hidrogeno almacenada por cada tanque.

$$\rho = \frac{m}{v} = 40 \frac{kg}{m^3} (0.54 m^3) = 21.6 kg \approx 20kg \quad (14)$$

Así, para el almacenamiento de los 149 Kg, se requieren 8 tanques para la alimentación de cada propulsor, para este almacenamiento se requeriría un compartimento a bordo de 1,56 m x 1,56m x 3 m. Teniendo en cuenta que para la reacción del hidrogeno, a la celda de la pila PEM se le debe suministrar oxígeno, y el diseño de este sistema de propulsión contempla que la pila de hidrogeno tendrá alimentación por aire, se debe a establecer un sistema de suministro de oxígeno. Para conocer el sistema extra de almacenamiento de oxígeno se determinó el caudal de aire necesario para la operación en base al índice de consumo específico de oxígeno, el cual define la cantidad de moles por segundo necesarias para la producción de un amperio.

$$m_{o_{2\text{estequiometrica}}} = ICEO_2 \cdot I \cdot n_{cel} \left(\frac{1}{5} \frac{kg}{000g} \right)$$

Que para su aplicación se tomaron los valores de $I = 250 A$ que es la corriente que produce un stack de pila de hidrógeno tipo PEM, con un número de 220 celdas.

$$m_{o_{2\text{estequiometrico}}} = (8.291 \times 10^{-5}) \frac{gO_2}{S \cdot A} \times 250A \times 220 \text{ celdas} \cdot \frac{1kg}{1000g} = 0.00456 \frac{kg}{s} \quad (16)$$

Este valor corresponde a la masa estequiométrica por unidad de tiempo que requiere un stack de pila de hidrógeno tipo PEM, y se determina la cantidad de masa que reacciona con el hidrogeno por medio de la ecuación (17) (Vázquez, 2020).

$$m_{\text{aire.oxidacion}} = \frac{m_{o_{2\text{estequiometrico}}}}{(1-0,77)} = 0.0198 \text{ kg/s} \quad (17)$$

El valor obtenido es el flujo másico que requiere un stack de pila de hidrógeno tipo PEM, para obtener el caudal necesario de aire para la alimentación de los 16 stack de pila tipo PEM, se tomó temperatura promedio del aire entre la zona Pacífico y Caribe de 25°C para obtener la densidad del aire 1.205 kg/m³.

$$Caudal = \frac{\text{caudal maisco}}{\text{densidad}} = 59.23 \frac{m^3}{h} \text{ stack} \quad (18)$$

$$Q_T = 947.73 \frac{m^3}{h} \text{ stack de 16 baterias} \quad (19)$$

Teniendo el caudal necesario de alimentación se calcula el diámetro que debe tener el ducto del extractor para cumplir con este requerimiento. Para esto se asume una velocidad de aire de 4 m/s la cual es la velocidad menos favorable en la zona Pacífico y Caribe, siendo esta el área de operaciones prevista del buque, considerando un diámetro de 42 cm.

$$Area = \frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}} = 0.0658 \text{ m}^2 \quad (20)$$

Según la normativa de Bureau veritas NR547, capítulo 5, artículo 5.2.11 para buques con sistema de propulsión con celda de hidrogeno, se debe usar un motor anti chispas. La presión de suministro del hidrogeno a la celda es seleccionado tomando como referencia las gráficas de ganancia de potencia y voltaje obtenidas (ver figura 4).

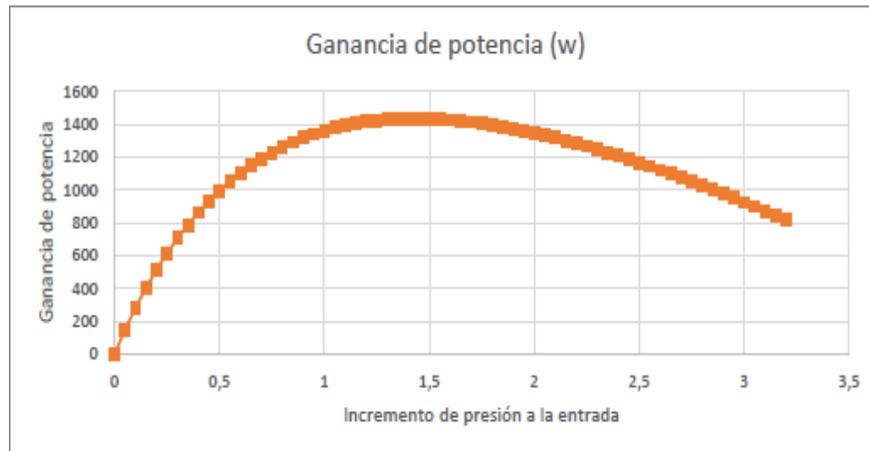


Figura 4. Ganancia de potencia. Fuente: Ramos (2018).

Teniendo en cuenta la figura 4, se selecciona una presión de suministro de 1,6 Bar y se calcula el flujo másico de hidrógeno necesario para obtener los parámetros de operación del stack de pila de hidrogeno tipo PEM con la siguiente ecuación (Dicks, 2003).

$$m_{H_2} = \frac{M_{H_2} \cdot P_e}{2 \cdot V_c \cdot F} = 0.00057 \frac{kg}{s} \quad (21)$$

- M_{H_2} = Masa molar H_2 (2,02 g/mol)
- P_e = Potencia eléctrica de la pila
- V_c = Tensión real de la celda
- F = Constante de Faraday $96.485 \frac{C}{mol}$

Para determinar el caudal del hidrógeno se usa la densidad del hidrógeno de $\rho_{H_2} = 0.0899 \frac{kg}{m^3}$.

$$caudal = \frac{\dot{m}_{H_2}}{\rho_{H_2}} = 0.00245 \text{ m}^3/\text{s} \quad (22)$$

Según la normativa de Bureau Veritas NR547, capítulo 5, artículos 5.2.3 y 5.2.6, para buques con sistema de propulsión con celda de hidrógeno se debe contar con dos extractores que proporcionen el 100 % de redundancia ante la pérdida de un ventilador que permitan la extracción del gas en caso de una ruptura

del sistema. Se realiza el cálculo del ventilador estimando que el diámetro de la tubería de alta presión es de ½ pulgada tubería usada en gran parte de los sistemas de alta presión a bordo del buque, con un resultado de 0.0001266 m².

Para el sistema de refrigeración líquida que requiere el banco de baterías se debe establecer primero la cantidad de calor que genera cada stack de pila de hidrogeno tipo PEM y para esto se usa la ecuación (Kabza, 2015), siendo la potencia eléctrica (P_e) de la celda y la tensión de operación (V_c).

$$Q_{Tref} = Pe \cdot \left(\frac{1.25}{V_c} - 1 \right) W \quad (23)$$

Para establecer la potencia de la celda eléctrica se toman los valores de diseño de cada stack: $I = 250 A$ y $V = 110 v$.

$$Pe = I \cdot V = 250A \cdot 110V = 27.500 W \quad (24)$$

Se aplican los valores obtenidos en la ecuación de calor producida, teniendo en cuenta que la potencia y el voltaje de operación de la celda $V_c = 0,5 v$, se obtiene el calor producido en cada stack.

$$Q_{Tref} = 27500W \cdot \left(\frac{1.25}{0.5V} - 1 \right) W = 41250 W \quad (25)$$

Dado que el stack de pila de hidrógeno tipo PEM tiene como fluido de oxidación el aire, se tiene en cuenta el calor disipado por el flujo de aire de alimentación de la pila mediante la ecuación (26) (Kabza, 2015).

$$Q_{ain} = r \cdot \dot{m}_{aire \cdot pila} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad W = 398.12 w \quad (26)$$

Donde:

- $\dot{m}_{aire \cdot pila}$ = flujo de entrada del aire a la pila
- C_p = calor específico del aire $1004 \frac{J}{kg \cdot K}$
- $\Delta T = T_{as} - T_{ae}$, temperaturas de salida y entrada de las pilas = $14^\circ C$ y $54^\circ C$
- r = eficiencia de intercambio = 0,5

Teniendo en cuenta el sistema de refrigeración seleccionado, se establece el flujo de calor que debe disipar la diferencia entre el calor producido por el stack y el calor disipado por la alimentación de fluido oxidante y se calcula el flujo másico de refrigeración por agua.

$$\dot{m}_{wref} = \frac{Q_{wref}}{r \cdot C_p \cdot \Delta T} = 0.49 \frac{kg}{s} \quad (27)$$

Donde:

- $Q_{wref} = Q_{Tref} - Q_{ain} =$ Flujo de aire de refrigeración
- $r =$ eficiencia de intercambio = 0.5
- $\Delta T = T_{wo} - T_{wi}$, temperaturas de agua salida = 54°C y entrada 14°C
- $C_p =$ calor específico del agua $4180 \frac{J}{kg \cdot K}$

Teniendo en cuenta el anterior sistema de ecuaciones, se dimensiona el intercambiador de calor para el banco de baterías de 16 stack distribuidas en un intercambiador de calor por cada 4 stacks. Como resumen del trabajo se incorpora la tabla 3 con los principales datos obtenidos.

Tabla 3. Parámetros intercambiador de calor

		Calor producido por la celda de hidrógeno Q_{Tref}
Potencia de la celda	440 v	165.000 w
Tensión real de la celda	250 A	
		Calor disipado por refrigeración de la alimentación de aire Q_{ain}
Flujo de entrada de aire	0,0793	1.592,48 kg/s
Calor específico	1004	
Diferencia temperatura	40°	
Eficiencia intercambio	0,5	
		Caudal de refrigeración Q_{wref}
Flujo calor refrigeración	163407,51	163.407 w
Eficiencia intercambio	0,5	
Diferencia temperatura	40°	
Calor específico	4.180	

Fuente: elaboración propia.

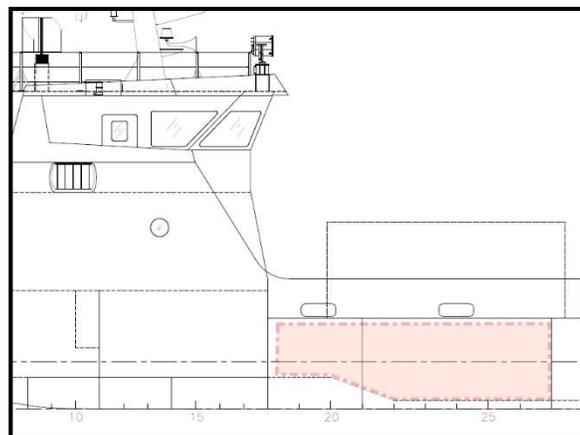


Figura 5. Localización del sistema de generación de H2 abordo. Fuente: Cotecmar.

4. CONCLUSIONES

- Se completó el diseño del sistema de propulsión basado en pilas de hidrógeno, se establecieron los parámetros requeridos para los equipos que hacen parte del sistema de propulsión. Asimismo, se realizó el cálculo de los elementos necesarios de los sistemas auxiliares requeridos para la operación del sistema de propulsión basado en celdas de combustible como lo son los sistemas de alimentación del fluido de óxido, el sistema de alimentación del combustible (hidrogeno) y las condiciones de operación para el intercambiador de calor.
- Se estimó que la potencia requerida para el propulsor es de BHP= 800 KW. Para conseguir ese requisito se seleccionaron dos motores eléctricos INGETEAM INDAR IM de 440 KW que operan a 440 V y 1.000 A. Para el motor eléctrico no se seleccionó caja reductora, se seleccionó un regulador de tensión para controlar la velocidad de giro del propulsor.
- Se seleccionó una celda de combustible tipo PEM con configuración en stack. Cada stack tendrá 220 celdas que producirá un voltaje de 110 V y una corriente de 250 A. Para la alimentación de cada propulsor serán necesarias 16 pilas stack conectada en serie paralelo para obtener un voltaje de 440V y 1000 A.
- Para la operación de cada banco de baterías de 16 stack se necesitarán 149 kg de hidrogeno almacenados en 8 tanques de almacenamiento de hidrogeno de calificación tipo 4. Los cuales serán ubicados en un compartimiento de 1,56 m x 1,56m x 3 m. destinado para el almacenamiento de estos tanques en distribución de panal.
- Para el sistema de fluido de oxidante de aire se requerirán dos ventiladores anti chispa para cada banco de baterías de 16 stack que tengan un caudal de 947,73 m³/h con un diámetro de 42 cm. Este sistema requerirá de un compresor para cada 8 stack que eleve la presión de alimentación del fluido a 0,6 bar con un caudal 473 metro cúbicos por hora. Para el sistema de suministro de hidrogeno se tendrá una válvula de regulación de presión para garantizar que la presión de alimentación de la celda sea a 1,6 bar con un caudal de 0,00245 metros cúbicos por hora. Para el sistema de refrigeración del banco de baterías se requiere de un intercambiador de calor por cada 4 stacks para un total de 4 intercambiadores de calor para disipar 163.407 watts con un flujo másico de agua de refrigeración de 1,96 kg/s.

REFERENCIAS

- ARC. (2021). *Plan de Desarrollo Naval 2042*, 2ª edición. Bogotá: Colombia.
- Barreras, F. (2012). Hidrógeno. Pilas de combustible de tipo PEM. Recuperado el 6 de julio de 2022 de <http://www.energia2012.es/sites/default/files/Hidr%C3%B3geno.%20Pilas%20de%20combustible%20de%20tipo%20PEM.pdf>
- BV. (2022). Reglas de clasificación para buques de acero NR467-Julio del 2022 parte C, capítulo 1, sección 7, numeral 2.2.3. Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, París, Francia.
- CNH2. (2022). Centro Nacional de Hidrógeno. Recuperado el 28 de junio de 2022 de <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- Dicks, L. J. (2003). *Fuel Cells Systems Explained*. Chichester, UK. Second edition: Wiley & Sons.
- Energía Estratégicas. (2020). *Las oportunidades y los retos que plantea el Plan Energético Nacional al 2050 para Colombia*. Recuperado el 9 de julio de 2022, de

<https://www.energiaestrategica.com/las-oportunidades-y-los-retos-que-plantea-el-plan-energetico-nacional-al-2050-para-colombia/>

- Kabza, A. (2015). *Fuel Cell Formulary*. Recuperado el 16 de julio de 2022 de <http://www.pemfc.de>
- Ramírez, D., Vásquez, O., & Riola, J.M. (2022). MICRADS'22 - The 2022 Multidisciplinary International Conference of Research Applied to Defense and Security, Barranquilla, Colombia.
- Riola, J.M. (2021). La Sabana lidera proyecto de implementación de un modelo energético basado en hidrógeno en Colombia. Universidad de La Sabana. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.unisabana.edu.co>
- Riola, J.M., Vergara, F.I., & Pardo, Y.M. (2022). *La movilidad del futuro buque de transporte BALC-L para ayuda humanitaria*. XXXVI Congreso Nacional de Ingeniería. Ibagué, Tolima, Colombia.
- Rojas, L.M. (2012). Pilas de combustible y su desarrollo. Bogotá: Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 1 de julio de 2022 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262012000100014
- USNA (2021). Recuperado el 6 de julio de 2022 de https://www.usna.edu/NAOE/_files/documents/Courses/EN400/02.07a%20Ch7%20HW%20Solutions.pdf
- Vázquez, A. P. (2020). Diseño del sistema de refrigeración de una pila de combustible de tipo PEM de 1 kW. Recuperado el 16 de julio de 2022 de <https://zagan.unizar.es/record/96486/files/TAZ-TFG-2020-3424.pdf?version=1>

EL SABER SER REFERIDO A LOS ADMINISTRADORES DE LAS CADENAS DE SUMINISTROS

Área temática: docencia, extensión e investigación

Ing. Federico Mendizabal*

Resumen

La competitividad empresarial y la presión que ejerce la sociedad sobre las empresas en cuestiones éticas, sociales y ambientales, son crecientes. Por lo tanto, ya no es suficiente que los administradores de Cadenas de Suministros (CDS) posea los conocimientos y las habilidades necesarias (saber y saber hacer) para desarrollar su actividad. Ahora es indispensable que en su formación académica se incluya el saber ser. En este trabajo desarrollamos una ecuación que no sólo permite ver cómo se relacionan entre sí el saber, el saber hacer y el saber ser en la actividad profesional de los administradores de CDS, sino que además, permite evaluar la importancia del saber ser en dicha interrelación y, más allá, sirve de ayuda para generar la inclusión del saber ser en futuros planes de estudio referidos a la formación de Administradores de CDS.

Palabras clave:

Formación, competencias, saber, saber hacer.

Abstract

Business competitiveness and the pressure exerted by society on companies in ethical, social and environmental issues are growing. Therefore, it is no longer enough for Supply Chain Management (SCM) professionals to have the necessary knowledge and skills (to know and know-how) to carry out their activity. It is now essential that their academic training includes knowing how to be. In this paper we develop an equation that not only allows us to see how knowing, know-how to do and know-how to be are related to each other in the activity of SCM professionals, but also allows us to evaluate the importance of knowing how to be in said interrelation and, furthermore, it helps to generate the inclusion of the knowledge of being in future curricula for the training of SCM professionals.

Keywords:

Training, skills, to know, know-how.

* Universidad de Morón, Argentina. E-mail: mendizabalf@yahoo.com.ar

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El problema planteado

Nos preguntamos ¿cómo se interrelacionan los conceptos que incluye el saber, el saber hacer y el saber ser en los Administradores de las Cadenas de Suministros (CDS)? Y ¿en qué medida puede influir ese saber ser, sobre el saber y el saber hacer requerido en las CDS?

1.2. Relevancia del tema

La sociedad ya no solo exige a las empresas productos y servicios que los satisfagan, también les exigen que trabajen en forma activa a favor de la sociedad, el medio ambiente y la ética. Por lo tanto, no es suficiente que los administradores de CDS que trabajen en el mundo empresario sólo cuenten con los conocimientos y las habilidades necesarias (saber y saber hacer) para ejercer su profesión. También deben tener la capacidad de desempeñarse efectivamente en el trabajo (saber ser). Por eso, es necesario incluir conceptos humanistas en la formación de los administradores de CDS, para que sean sensibles a las necesidades de la sociedad, y aumenten su capacidad cognitiva, o dicho en forma coloquial: “Que los administradores de CDS no sean máquinas y/o simios con escopetas laser”.

1.3. La hipótesis

Es posible desarrollar una ecuación que permita visualizar cómo se interrelacionan el saber, el saber hacer y el saber ser en la formación de los administradores de CDS, y que además permita evaluar la influencia del saber ser sobre el saber y el saber hacer en las CDS.

1.4. El marco teórico

El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina (CONFEDI) hace hincapié en los tres saberes (saber, saber hacer y saber ser), y en su Libro Rojo promueve el aprendizaje centrado en el estudiante y señala en sus directrices para la actualización de los nuevos planes de estudio de las carreras de Ingeniería de la República Argentina:

La enseñanza basada en la simple transferencia de conocimientos perdió espacio en la actualidad. Hoy la sociedad demanda egresados que sean capaces de ejercer su profesión en la compleja realidad que nos rodea, y para ello necesitan no solo saber hacer sino también saber ser:

- El Saber ser es imprescindible en la formación por competencias en ingeniería junto con el Saber y el Saber hacer.
- El Saber conocer: se refiere a conceptos, hechos o datos, teorías, principios.
- El Saber hacer: se refiere a procedimientos (cognitivos, cognitivo-motrices, algorítmicos, heurísticos) - técnicas – métodos
- El Saber Ser: refiere a valores – actitudes – normas. (CONFEDI, s.f.)

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), organismo dependiente de las Naciones Unidas, a través de su Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento en la Formación Profesional, elaboró el informe de la Secretary's Commission on Achieving Necessary Skills (SCANS), el cual hace referencia a competencias definiendo habilidades, aptitudes y cualidades personales (OIT, s.f.).

Las competencias básicas son desglosadas en habilidades básicas (escritura, redacción, aritmética y matemáticas, expresión y capacidad de escuchar) y en aptitudes analíticas (pensar creativamente, tomar decisiones, solucionar problemas, procesar y organizar elementos visuales y otro tipo de información, saber aprender y razonar). Respeto a las cualidades personales, hace referencia a la responsabilidad, autoestima, sociabilidad, gestión personal, integridad y honestidad. Finalmente, respecto a las competencias transversales, hace referencia a gestión de recursos (tiempo, dinero, materiales y distribución, personal); relaciones interpersonales (trabajo en equipo, enseñar a otros, servicio a clientes, desplegar liderazgo, negociar y trabajar con personas diversas; gestión de información (buscar y evaluar información, organizar y mantener sistemas de información, interpretar y comunicar, usar computadores), comprensión sistémica (comprender interrelaciones complejas, entender sistemas, monitorear y corregir desempeño, mejorar o diseñar sistemas); dominio tecnológico (seleccionar tecnologías, aplicar tecnologías en la tarea, dar mantenimiento y reparar equipos).

Victor Küppers (1970, Países Bajos, Lic. en Administración y Dirección de Empresas y docente de la Universidad Internacional de Cataluña y de la Universidad de Barcelona) interrelaciona los conocimientos y las habilidades de una persona con su actitud, a través de la fórmula: $V = (C+H) \times A$. Donde el Valor (V) es la suma de Conocimientos (C) y Habilidades (H) multiplicado por la Actitud (A). Así pues, mientras los Conocimientos y las Habilidades de la persona suman Valor, la Actitud multiplica la suma de ambos (Küppers, s.f.).

2. DESARROLLO

Consideramos que es muy importante que el CONFEDI incluya el saber, el saber hacer y el saber ser en la formación por competencias de los ingenieros y que, por lo tanto, en forma análoga, también incluya esos tres saberes en la formación de los Administradores de CDS, y los reagrupe a través de un nuevo enfoque.

2.1. Las actividades

El administrador de CDS debe aplicar sus conocimientos y habilidades (su saber y saber hacer) a través de diferentes actividades, que podemos clasificar como actividades duras y actividades blandas, según estén relacionen con cosas o con personas. Por lo tanto, para abordar las actividades duras, el administrador de CDS requerirá de conocimientos y habilidades (saber y saber hacer) que le permitan hacer y/o usar, herramientas, tecnologías, energía, información, etc. En cambio, para abordar las actividades blandas (o sea las relaciones interpersonales que el administrador de CDS debe desarrollar dentro del ámbito laboral), deberá contar con conocimientos y habilidades (saber y saber hacer), tales

como liderazgo, trabajo en equipo, motivación, resolución de conflictos, gestión del cambio, etc. Resumiendo, podemos decir que todos los conocimientos y las habilidades que están relacionadas con técnicas, las incluimos dentro del saber y saber hacer, independientemente que se traten de actividades duras o actividades blandas).

2.2. Lo bueno o lo malo de los saberes

Hasta aquí vale la siguiente reflexión: las actividades duras y las actividades blandas pueden ser consideradas más o menos efectivas, eficientes, etc., pero no pueden considerarse por sí mismas como buenas o malas para la sociedad y/o el medio ambiente.

Lo bueno o lo malo que haga el hombre al encarar actividades (sean duras o blandas) no depende del saber o el saber hacer, sino del saber ser (o sea, de la actitud con que enfrente dicha actividad y de cuál es la verdadera intención que impulsa esa actitud). Por ejemplo, lo bueno o lo malo de usar un cuchillo no radica en ese objeto, sino en para qué lo utilizamos y con qué intención lo hacemos, dado que puede ser para facilitar actividades de la vida o para descargar el odio asesinando.

Por tal motivo, decimos que lo positivo (o negativo) que haga el administrador de CDS al aplicar en sus actividades su saber y su saber hacer aprendido, dependen del saber ser. Por lo tanto, consideramos el saber ser como un factor que potencia lo que hace el administrador de CDS cuando interviene tanto en las actividades duras como en las actividades blandas. Además, consideramos que el saber ser está conformado por dos componentes: la actitud y el fundamento de esa actitud.

Si hacemos una analogía del saber ser con un iceberg, la actitud sería la punta del iceberg: aquello que emerge a la superficie, lo que perciben los demás. Del mismo modo, la parte del iceberg que subyace dentro del agua, (que no es visible directamente para los demás, pero es lo que realmente sustenta lo que emerge del agua) es lo que hemos dado en llamar fundamento de la actitud o intencionalidad y personalidad, en adelante simplemente factor F. El factor F es algo muy personal, dado que es íntimo y elegido libremente por cada persona, involucra el sentido que cada uno le da a su vida, sus valores, su misión en este mundo, su vocación, su sentido ético, el saber encontrar su felicidad de sí mismo (y no ser esclavo ni de las cosas ni de nadie).

En otras palabras, el factor F está relacionado con el convencimiento de los seres humanos (tanto personal como profesional), en un caminar que conviene ser realizado amando al prójimo como a uno mismo. Resulta que si no me amo, me auto destruyo y/o afecto al medio pero si no amo al prójimo, no serán satisfactorias mis relaciones interpersonales. Respecto a esto debemos tener en cuenta que amar implica poner y ponerse límites cuando corresponda, o sea a los demás y a uno mismo.

3. CONCLUSIONES

3.1. La ecuación

Con base en lo expresado arriba, desarrollamos una ecuación que nos permite visualizar cuánto influye el saber ser en el saber y en el saber ser (cuando formamos los administradores de CDS). Por lo tanto, definimos la “Profesionalidad de un administrador de CDS” (P) como:

$$P = (\text{Saber} + \text{Saber Hacer}) \times (\text{Saber Ser})$$

Si desglosamos esa ecuación obtenemos:

$$P = (\text{conocimientos} + \text{habilidades}) \times (\text{actitud}) \times (\text{el valor absoluto de F}) \times R$$

3.2. Las características de la ecuación

Coincidimos con Küppers (s.f.) en que los conocimientos y las habilidades se suman (normalmente toman valores positivos, salvo la rara posibilidad que el administrador de CDS haya adquirido conocimientos y/o habilidades erróneas), y también en que la actitud no suma, sino multiplica al saber y al saber hacer). Esto en razón a que consideramos que el saber ser es un factor común que afecta al saber y al saber hacer, no sólo en el ejercicio profesional, sino también en el aprendizaje. Una actitud negativa, por pequeña que sea, implica un boicot y, por lo tanto, estamos ante un hecho profesional repudiable. Por eso, la ecuación lo reflejará asignándole como resultado una profesionalidad negativa. Además, si la actitud fuese positiva, pero insuficiente, su valor estaría comprendido entre 0 y 1. Por lo tanto, se decrementa el valor que genera la suma de los conocimientos y las habilidades.

Sin embargo, como vemos, no es suficiente incluir solo la actitud dentro del saber ser como lo hace la fórmula de Küppers, dado que, por un lado, debemos tener en cuenta que los manipuladores, los estafadores, etc., muchas veces muestran actitudes positivas a los demás, pero están sustentados por la intención de hacer daño. Por otro lado, podemos estar en presencia de un administrador de CDS con grandes valores personales, pero los mismos se ven decrementados si su actitud es deficiente.

Por lo tanto, la ecuación que proponemos cuenta con dos elementos más con respecto a la fórmula de Küppers (s.f.). Uno es el valor absoluto de F: $|F|$, donde F engloba a todos los factores que sustentan la actitud del administrador de CDS. El otro es el factor R el que señala el signo de la profesionalidad (positiva o negativa). Le asignamos a R el valor (+1) si todos los elementos que componen F son positivos. En cambio, le asignamos a R el valor (-1) si algún elemento que compone F es negativo. El motivo de utilizar este a7rtilugio se debe a que los elementos que conforman F se multiplican entre sí, y si entre ellos hubiese una cantidad de factores par negativos (2, 4, 6, 8, 10), daría un no deseado factor F positivo.

3.3. Los elementos que conforman F

El factor F está conformado por varios factores.

1. Factor autenticidad (FA)

2. Factor confianza (FCZ)
3. Factor autogestión (FG)
4. Factor exigencias de la sociedad (FES)
5. Factor carácter (FC)
6. Factor salud (FS)
7. Factor humanización del trabajo (FHT)
8. Factor empatía y motivación (FEM)
9. Factor Valores (FV)
10. Factor Ego (FE)
11. Factor resolución de problemas (FRP)

La manera en que se correlacionan dichos factores es la siguiente:

$$F = (FA) \times (FCZ) \times (FG) \times (FES) \times (FC) \times (FS) \times (FHT) \times (FEM) \times (FV) \times (FE) \times (FRP)$$

A continuación se expone el significado asignado a cada uno de los factores que componen F.

Factor autenticidad (FA). Ser auténtico es ser uno mismo en un mundo que intenta cosificarnos constantemente y/o ideologizarnos y/o condicionar nuestro libre pensar en forma autoritaria. Pero queda claro que autenticidad no implica ser caprichoso y/o rebelde sin causa. La autenticidad consiste en saber quién somos, cuál es nuestro potencial, qué es lo que defendemos y mostrarlo. Es obrar de acuerdo con lo que pensamos.

Factor confianza (FCZ). La confianza es la base de toda relación tanto personal como laboral. El administrador de CDS debe tener confianza en sí mismo, tener confianza en los demás y ser confiable para los demás.

Factor autogestión (FG). Es difícil que una persona pueda aprender y/o gestionar en forma eficiente un proyecto (o una empresa) si no sabe gestionarse a sí mismo. O sea, si no tiene una sana disciplina y/o no se hace cargo de sus actos.

Factor exigencias de la sociedad (FES). Las exigencias de la sociedad a las empresas, respecto a la proactividad a favor de lo social y el respeto al medio ambiente son cada vez más crecientes. Muchas de esas presiones son válidas y ejercidas a través de denuncias en las redes sociales, y sus efectos condenatorios llegan a ser mayores que los que imponen las legislaciones de los países donde interactúan.

Para encausar esta tendencia dentro de un camino virtuoso –y no a presiones caprichosas y/o antojadizas se ha redactado la norma ISO 26:000 Responsabilidad Social (ISO, s.f.)–. La misma está referida a la responsabilidad social empresarial. En forma análoga coexisten las denominadas Empresasistema B, a cuyas empresas adheridas se les mide el impacto social y ambiental. Asimismo, estas empresas se comprometen de forma personal, institucional y legal a tomar decisiones, considerando las consecuencias de sus acciones en la comunidad y el medioambiente a corto, mediano y largo plazo.

Para poder cumplir con todas esas exigencias en forma adecuada (fácil, armónica, coherente y de modo sustentable), es necesario que los administradores de CDS estén formados en el saber ser, dado que si el administrador de CDS alinea lo que él piensa con lo que él siente y con lo que se le demanda, logra más y mejores soluciones para sí, para la empresa y para la sociedad.

Factor salud (FS). La salud es clave para un buen desempeño y rendimiento personal y profesional. Sigue vigente la frase del escritor romano Décimo Junio Juvenal (siglos I y II d.C.) “Debemos orar por una mente sana en un cuerpo sano” (Sátiras de Juvenal, 2007). Ampliando estos conceptos, la médica psiquiatra española Marian Rojas Estapé señala la necesidad de una sana alimentación, buen dormir, practicar ejercicio físico, saber escuchar la voz interior, el saber manejarme con las personas del entorno. Además, agrega: “el ser humano no está diseñado para vivir en el sistema nervioso simpático constantemente. Un poco, ayuda a la eficiencia, pero si lo mantengo en el tiempo corro el gran riesgo de enfermarme. Debemos pasar del sistema simpático de la alerta, al sistema nervioso parasimpático de la meditación, de la relajación de la conexión con uno mismo, con los demás con el sentido de mi vida; y con ello recupero el sistema inmunológico.” (Rojas-Estapé, s.f.).

Rojas Estapé también señala que “debemos saber cómo reacciona nuestro organismo y nuestra mente ante el estrés... y si somos impulsivos, obsesivos, perfeccionistas, inseguro, dependiente de la opinión de los demás... nos volvemos más vulnerables bajo situación de estrés.” (Rojas-Estapé, s.f.).

Además, debemos tener en cuenta que una mala relación con los colaboradores incrementa los conflictos interpersonales y laborales. Para evitar estos problemas, y no deteriorar la salud y/o caer en la dependencia de psicofármacos, es necesario formar al administrador de CDS en el saber ser, para que pueda discernir y operar mejor los problemas personales y laborales que le acontecen a diario en este mundo cambiante, caótico y competitivo.

Factor carácter (FC). El ejercicio profesional exige a los administradores de CDS utilizar excelentes percepciones, razonamientos y toma de decisiones. También deben tener coraje, fuerza de voluntad, paciencia. Debe asumir y cumplir sus compromisos y ser coherente. Deben saber acumular y administrar poder. Todos estos factores están influidos y condicionados por el estado de ánimo.

Tanto en los estudios universitarios como en el ejercicio profesional, encontramos que muchas personas no se atreven a hacer cosas, simplemente porque les parecen difíciles. Sin embargo, no se da cuenta que la mayoría de las veces son difíciles porque no se atreven a encararlas, debido a miedos injustificados (conscientes y/o inconscientes, internos y/o externos). Esto conlleva a pensar que no contamos con todos los elementos necesarios para realizar lo que debemos hacer y/o no damos lugar a nuestra creatividad para suplir los elementos faltantes.

El saber ser genera un círculo virtuoso: incrementa la confianza en uno mismo, el alcanzar logros, tener humor, compartir alegrías y gratitudes. Esto realimenta las motivaciones presentes y futuros, extensivos para sus colaboradores.

El amor y el odio pueden ser fuente de grandes estímulos para afrontar desafíos y/o peligros. Sin embargo, el odio, no solamente oscurece la mente y perjudica la salud de quien odia, sino que además suele generar escaladas de conflictos que ocasionan daños mayores a los presentados originalmente. El amor, en cambio, aclara la mente y ayuda a solucionar conflictos en forma positiva y duradera.

Como el saber ser implica amar al prójimo como a uno mismo, permite encarar y solucionar mejor los problemas, sin olvidar que amar también implica saber poner límites cuando y como corresponden. Debemos tener en cuenta el refrán que dice: “en una empresa la mitad de los problemas son técnicos y hay que resolverlos técnicamente y la otra mitad son humanos y también hay que resolverlos con técnicas y actitudes adecuadas” o sea, incluyendo al saber ser.

Factor humanización del trabajo (FHT). Las empresas tienen cada vez más problemas de eficiencia y de productividad y, además, su personal padece de pérdida de motivación y creatividad, por no aplicar las conductas interpersonales adecuadas, tanto dentro de la empresa como también con los clientes y los proveedores. Esto termina afectando la rentabilidad de esas empresas. Por otro lado, encontramos que las empresas requieren tecnologías (que se basan en ciencias racionales) y emplean máquinas que tienen un funcionamiento puramente racional. Sin embargo, los seres humanos, aunque trabajen en medios tecnológicos y apliquen razonamientos en ellos, también tienen emociones y sentimientos, y sus acciones generan emociones y sentimientos en los demás.

En general, hasta la década de 1960 el principal objetivo de las empresas era la rentabilidad. Pero a partir de allí instituciones relacionadas con el estudio del trabajo como por ejemplo R.E.F.A. (Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung.- Instituto Alemán de Estudio del Trabajo, a la que están adheridas las principales empresas alemanas) establecieron que el objetivo de una empresa privada debería incluir la humanización del trabajo. Por la misma época, las empresas japonesas adoptaron esa misma orientación. El razonamiento es simple: una empresa sin rentabilidad y/o sin humanización del trabajo, tarde o temprano se queda sin fondos (capital de trabajo) para operar y/o las tensiones interpersonales la convierte en “una olla a presión”. Por lo tanto, es muy posible que sucumba en el mediano plazo por implosión y/o por pérdida de competitividad en esos casos.

Asimismo, cabe destacar que el desarrollo de equipos que hacen mapeos cerebrales a partir de las reacciones que generan los estímulos externos en el cerebro, permitieron a las neurociencias determinar que los seres humanos “no somos seres racionales con emociones” –como se creía hasta no hace mucho–, sino que “somos seres emocionales con capacidad de razonar”. Por lo tanto, un administrador de CDS no puede ser tratado (ni él tratar a los demás), sólo como un ser racional.

Sin embargo todavía hay directivos que consideran a su personal como un recurso y/o un capital más de la empresa y/o pretenden que ellos “cuelguen sus emociones en la puerta de la empresa antes de entrar”. Pero esto implica cosificar a las personas y, por lo tanto, negar dignidad humana. Al respecto consideramos que para referirse a los integrantes de una empresa lo más adecuado es llamarlos “personal de la empresa” o “colaboradores” (como propone la mencionada R.E.F.A.).

Por último, es importante destacar que, en general, en una empresa industrial los costos de personal suelen ser menores al 20 % de los costos totales de esa empresa, porcentaje que puede ser objeto de mala interpretación. Por ejemplo, muchos directivos, como consecuencia de aplicar la regla de Pareto (80/20) referida a los costos, se enfocan en lo *hard* (las máquinas, materiales, productos, etc.) y dejande considerar que son las personas (que aunque generan un costo minoritario) tienen un efecto multiplicador en la generación de utilidades, y esto depende de cómo se trate y motive al personal.

No hay que olvidarse que las tecnologías no se desarrollan, ni se optimizan, ni operan por sí solas, sino a través de las personas y estas se potencian en forma favorable si se las motiva y si se genera un clima laboral que propicie la creatividad. La alta productividad que generan los círculos de calidad desarrollados por las empresas japoneses se basan en estos conceptos humanistas. Resumiendo, podemos decir que la humanización del trabajo genera un mejor clima laboral, se potencia con el saber ser y redundan en importantes beneficios para la empresa y sus integrantes.

Factor empatía y motivación (FEM). La mayoría de los administradores de CDS cada vez más tienen la oportunidad de conocer y comunicarse en forma directa (y tener empatía) con los demás integrantes de la empresa. El management moderno (p. ej., el liderazgo situacional y el IKIGAI) inducen a no tratar a todos los colaboradores por igual, sino en función de la personalidad, aptitud y actitud de cada uno de ellos. Se procura capacitar al personal para que hagan lo que aman, que sepan hacer bien los productos y/o servicios que necesite el mundo y todo a través de tareas motivantes por las que les pueda pagar bien. Además, no se debe evaluar a los administradores de CDS solamente por sus acciones sobre las cosas y la tecnología de una empresa, sino también por sus actitudes sobre las personas con las que interactúan, pues de ello depende que estos se motiven (o desmotiven) y por lo tanto, el incremento (o decremento) de la productividad y la rentabilidad de esa empresa. En suma, la empatía y las motivaciones incrementan la rentabilidad de la empresa y se potencian con el saber ser.

Factor valores (FV). El saber ser se funda en valores, en principios éticos, en saber administrar las emociones (propias y ajenas), en no dejarse llevar por lo pasional. En ser sincero, respetuoso y honesto, tener espíritu solidario y altruista. Priorizar la justicia. Respetar las leyes.

Factor ego (FE). El administrador de CDS debe tomar conciencia no sólo de su ubicación en el tiempo y en el espacio, sino también de sus fortalezas y debilidades. El administrador de CDS no debe creerse más ni menos que nadie, pero debe ser respetuoso con todos, y tratar de superarse día a día. Debe tratar de ser el mejor en su tarea, pero no creérselo. Si el administrador de CDS sobrevalora (o subvalora) lo que realmente es, atenta contra el trabajo en equipo, la creatividad compartida, la toma de decisiones y e incrementa los conflictos.

Factor resolución de problemas (FRP). Es normal que diariamente surjan conflictos en una empresa de índole interno y/o externo. El administrador de CDS no debe ignorar ni esconder los conflictos de los que se tiene que hacer cargo, sino que debe asumirlos y resolverlos del modo adecuado procurando, en lo posible, a través de negociaciones ganar-ganar. Debemos tener en cuenta que el saber ser facilita el

detectar intereses y buscar opciones de mutuo beneficio como lo señalan Ury y Fisher de la escuela de negociación de Harvard (Ury y Fisher, 2001).

3.4. Cómo comprobar el incremento de la profesionalidad de administrador de CDS a través del saber ser

Una vez definidos los factores que componen el factor F, podemos ver que la ponderación de un factor respecto a los otros puede ser subjetiva. Pero, aun así, podemos ver la importancia del saber ser en la profesionalidad de un administrador de CDS mediante dos ejemplos:

En el primer ejemplo asumiremos el caso hipotético en que cada uno de esos factores que componen F generan una mejora de apenas el 1 %. Al calcular la fórmula tendríamos: $F = (1,01)^{11} \times 1 = 1,1157$. Lo que significa que la profesionalidad de ese administrador de CDS se incrementaría un 11,6 % a través del saber ser.

El segundo ejemplo, se refiere a otro caso hipotético donde el aporte de cada uno de esos factores a la actitud de ese administrador de CDS fuese, en promedio, de un 3 %. Reemplazando la fórmula encontramos que $F = (1,03)^{11} \times 1 = 1,3842$. Esto implica que la profesionalidad de ese administrador de CDS se incrementaría un 38,4 %.

Por lo tanto, vemos que aunque difiera el valor asignado a cada factor y/o difiera la ponderación que le asignásemos a cada factor dentro del total, y/o que esos valores fuesen pequeños, vemos que, en conjunto, conforman un factor nada despreciable de F.

Con todo lo expuesto, quedó demostrada la hipótesis de este trabajo: “Es posible desarrollar una ecuación que permita visualizar cómo se interrelacionan el saber, el saber hacer y el saber ser en la formación de los administradores de CDS y que además permita evaluar la influencia del saber ser sobre el saber y el saber hacer.”

Pero encontramos algo adicional: esa ecuación aporta una visión innovadora sobre el saber ser referida a la formación de administradores de CDS y por tal motivo, podría servir de base para analizar cómo incluir el saber ser en los planes de estudio de las carreras relacionadas con esa actividad.

REFERENCIAS

CONFEDI (s.f.). Enfoque por competencias. 1 de junio de 2018, en su 63° Asamblea de Rosario Captado el 1/04/2022 de <https://confedi.org.ar/destacados/enfoque-porcompetencias/>

Organización Internacional del Trabajo (OIT) (s.f.). Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento en la Formación Profesional. Consultado el 13 de junio de 2022 en <https://www.oitcinterfor.org/p%C3%A1gina/libro/definiciones-algunos-expertos->

Küppers, V. (s.f.) Actitud TEDxAndorraVella. Consultado el 13 de junio de 2022 en https://www.youtube.com/watch?v=nWecIwtN2ho&ab_channel=TEDxTalks -

International Organization for Standardization - ISO (s.f.). ISO 26000:2010. Responsabilidad Social
https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso_26000_project_overviews.pdf

Sátiras de Juvenal (2007). Madrid: Ediciones Cátedra.

Rojas-Estapé, M. (s.f.). El cerebro, nuestro mejor aliado contra el estrés. Disertación patrocinada por BBVA y Diario el País de España. Consultado el 14 de julio de 2022 en <https://youtu.be/0noAwrWY78U>

Ury W., & Fisher Patton R. (2001). *Si de acuerdo*. Editorial Norma.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE COMPRAS DE BIENES Y SERVICIOS EN LOS PROYECTOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE COTECMAR EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS

Área temática: logística de aprovisionamiento

Jorge Eduardo Grosso Castro*
Susan Nathalia Ruiz Benavides**

Resumen

Este documento presenta un análisis del comportamiento histórico de compras en los proyectos en la línea de negocios de reparación y mantenimiento en la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (COTECMAR), en la búsqueda de aspectos que reduzcan la brecha de incertidumbre en las compras, a través de medidas estratégicas que faciliten la planeación de compras. El modelo de investigación está basado en el análisis del histórico de compras por medio de la clasificación de los grupos y productos adquiridos en el periodo de 2015 a 2020 teniendo en cuenta la clasificación ABC-XYZ, la matriz de Kraljic y los niveles de criticidad de los productos. Teniendo en cuenta que el mercado de la línea de negocio de reparación y mantenimiento presenta alta incertidumbre y variabilidad, se requiere una adecuada planeación para mejorar la competitividad de los servicios prestados frente a los astilleros regionales, como muestra de la efectividad de las capacidades desarrolladas por la industria astillera colombiana.

Palabras clave:

Análisis, comportamiento histórico, incertidumbre, compras, astilleros, reparación, mantenimiento.

Abstract

This document presents an analysis of the historical behavior of purchases in projects in the repair and maintenance business line at Corporation of Science and Technology for the Development of the Naval, Maritime and Fluvial Industry (COTECMAR), in the search for aspects that reduce the uncertainty gap in purchases. The research model is based on the analysis of the purchasing history through the classification of the groups and products acquired in the period from 2015 to 2020 taking into account the ABC-XYZ classification, the Kraljic matrix and the criticality levels of the products. Considering that the market for the repair and maintenance business line presents high uncertainty and variability, adequate planning is required to improve the competitiveness of the services provided vis-à-vis regional shipyards, as a demonstration of the effectiveness of the capabilities developed by the Colombian shipbuilding industry.

Keywords:

Analysis, historical behavior, uncertainty, purchases, shipyards, repair, maintenance.

* Teniente de Corbeta, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”.

** Teniente de Corbeta, Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla. Email: susan.natalia@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (COTECMAR), siguiendo su misión y visión, y en perfeccionamiento de su plan estratégico, en los últimos años ha implementado estrategias para el fortalecimiento de la atención y satisfacción de su principal cliente, la Armada Nacional, además de la reactivación de los clientes particulares, con la finalidad de estrechar aún más las relaciones con estos y, a su vez, lograr posicionarse de una mejor manera ante sus clientes futuros (Arcieri, 2014).

La gestión de inventarios se considera uno de los aspectos logísticos más complejos ya que las grandes inversiones realizada en los inventarios y la necesidad de controlar el capital de inventario asociado a materia prima, a producto en proceso y a producto terminado, se percibe como un área potencial para contribuir en el mejoramiento de toda la cadena de suministro (Axsäter, 2000). Una problemática común en los inventarios es la existencia de excedentes y faltantes, más conocido como desbalanceo de inventarios, “Siempre tenemos demasiado de lo que no se vende o se consume y muchos agotados de lo que sí se vende o se consume” (Vidal, 2006). Los inventarios se hacen necesarios por las fluctuaciones aleatorias de la demanda, por los tiempos de reposición (*lead times*) y por el desfase que se genera entre la demanda de los consumidores finales y la producción o suministro de los productos solicitados (Cogollo et al., 2011).

En el presente proyecto se analizó el comportamiento histórico de las compras de mantenimiento y reparación de COTECMAR en los últimos cinco años, teniendo en cuenta los citado por (Sallenave, 2002) en donde afirma que La administración de inventarios es una de las actividades logísticas en donde se encuentran más posibilidades de reducir costos para las empresas, mediante una mejor gestión de los materiales almacenados, con el fin de aumentar los niveles de cumplimiento de los pedidos de clientes internos y externos

2. METODOLOGÍA

Se utilizó el método histórico-comparativo, que Bernal (2010) define como el “procedimiento de investigación y esclarecimiento de los fenómenos culturales que consiste en establecer la semejanza de esos fenómenos, infiriendo una conclusión acerca de su parentesco genético, es decir, de su origen común”. Se realizó la recopilación de la información asociada a las compras de los proyectos de reparación y mantenimiento de COTECMAR. Esta información es tratada con el fin de eliminar posibles ruidos en los datos y contar con estadísticas más limpias. Asimismo, se organizó la información por los diferentes grupos de compras y se graficaron los resultados obtenidos. Posteriormente se realizó el análisis de posible correlación aplicando el diagrama de Pareto y el análisis ABC/XYZ, para conocer qué artículos generan mayor rentabilidad a la empresa, la variación que los mismo tienen en un período determinado y con ello tomar mejores decisiones en cuanto al abastecimiento de cada uno, lo cual permitirá optimizar los inventarios (Chackelson, 2010).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez adquirida la información se realizó la selección y depuración de datos que estaban inconclusos por una inadecuada digitalización de datos y de artículos que no son primordiales en los procesos de mantenimiento y reparación tales como viáticos, gastos de restaurante, catering, alojamiento, entre otros. Para obtener los resultados se utilizó técnicas estadísticas tales como inferencias, diagramas, correlaciones de variables, entre otras, que permitieron consolidar y graficar la información con miras a facilitar el análisis.

En primera instancia, se concentró la información por grupos de compras de acuerdo con la tabla 1, realizando la sumatoria por grupo e integrando el número de unidades desde 2015 hasta 2020. Se identificó la participación que representa cada grupo entre el total de unidades compradas. Ver figura 1.

Tabla 1. Compras por grupos. Análisis y clasificación ABC XYZ

GRUPOS DE COMPRAS	TOTAL GENERAL	PARTICIPACION TOTAL	PORCENTAJE ACUMULATIVO	CLASIFICACION ABC	PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	COEF. VARIACION	CLASIFICACION XYZ	ABC_XYZ
GC0100	608.046	22,378%	22,378%	A	8.445	13.332	1,58	Z	AZ
GC0900	470.416	17,313%	39,691%	A	6.534	4.877	0,75	Y	AY
GC1600	326.740	12,025%	51,716%	A	4.538	11.649	2,57	Z	AZ
GC0700	321.632	11,837%	63,553%	A	4.467	5.169	1,16	Z	AZ
GC0800	280.568	10,326%	73,878%	A	3.897	5.889	1,51	Z	AZ
GC1600	192.737	7,093%	80,972%	B	2.677	3.332	1,24	Z	BZ
GC3100	137.968	5,078%	86,049%	B	1.916	3.676	1,92	Z	BZ
GC2000	102.543	3,774%	89,823%	B	1.424	4.494	3,16	Z	BZ
GC2400	63.807	2,348%	92,172%	B	886	2.037	2,30	Z	BZ
GC0400	36.339	1,337%	93,509%	B	505	2.391	4,74	Z	BZ
GC0300	33.968	1,250%	94,759%	B	472	580	1,23	Z	BZ
GC2800	31.541	1,161%	95,920%	C	438	537	1,23	Z	CZ
GC1900	22.947	0,845%	96,764%	C	319	430	1,35	Z	CZ
GC1800	19.516	0,718%	97,483%	C	271	185	0,68	Y	CY
GC2100	15.735	0,579%	98,062%	C	219	440	2,01	Z	CZ
GC0200	12.695	0,467%	98,529%	C	176	556	3,15	Z	CZ
GC0600	12.561	0,462%	98,991%	C	174	200	1,15	Z	CZ
GC0500	11.089	0,408%	99,399%	C	154	168	1,09	Z	CZ
GC1000	4.851	0,179%	99,578%	C	67	99	1,47	Z	CZ
GC1700	3.480	0,128%	99,706%	C	48	71	1,48	Z	CZ
GC1300	2.188	0,081%	99,786%	C	30	98	3,24	Z	CZ
GC1500	1.671	0,061%	99,848%	C	23	36	1,53	Z	CZ
GC3000	1.383	0,051%	99,899%	C	19	20	1,05	Z	CZ
GC1400	1.312	0,048%	99,947%	C	18	53	2,91	Z	CZ
GC1100	848	0,031%	99,978%	C	12	30	2,57	Z	CZ
GC2900	411	0,015%	99,993%	C	6	10	1,79	Z	CZ
GC3300	94	0,003%	99,997%	C	1	2	1,85	Z	CZ
GC3200	53	0,002%	99,999%	C	1	3	4,04	Z	CZ
GC2700	32	0,001%	100,000%	C	0	4	8,49	Z	CZ
TOTAL	2.717.170	100,000%							

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

Conociendo la participación que representa cada grupo, se analiza por medio de la clasificación ABC para identificar los grupos de productos con mayor volumen de pedido, generando una segmentación

de la demanda, lo cual se evidencia mediante el Principio de Pareto (figura 2) donde aproximadamente el 20 % de los grupos representan el 80 % del total de compras para los años 2015 a 2020.

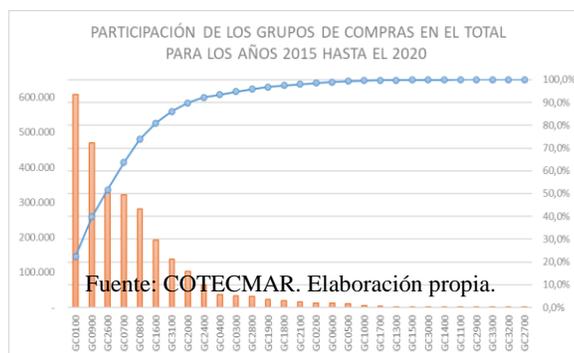


Figura 1. Participación de los grupos de compras

CLASIFICACIÓN ABC

Por medio de la clasificación ABC (tabla 2), se presenta una distribución de los grupos en tres secciones.

Tabla 2. Clasificación ABC por total de grupo y participación de las compras

CLASIFICACIÓN	NÚMERO DE GRUPOS	PORCENTAJE DE CLASIFICACIÓN	PARTICIPACIÓN TOTAL DE COMPRAS
A	5	17%	74%
B	6	21%	21%
C	18	62%	5%
TOTAL	29	100%	100%

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

Grupos tipo A

Tiene cinco grupos GC0100, GC0900, GC2600, GC0700, GC0800, los cuales corresponden al 17 % del total de grupos y cuentan con una participación en el total de las compras de 74 %.

Grupos tipo B:

Tiene seis grupos GC1600, GC3100, GC2000, GC2400, GC0400 y GC0300 los cuales corresponden al 21 % del total de grupos y cuentan con una participación en el total de las compras de 21 %.

Grupos tipo C

Tiene 18 grupos GC1600, GC3100, GC2000, GC2400, GC0400 y GC0300 los cuales corresponden al 62 % del total de grupos y cuentan con una participación en el total de las compras de 5 %.



Figura 2. Clasificación ABC por porcentaje de grupos de compras. Fuente: elaboración propia.

CLASIFICACIÓN XYZ

La clasificación XYZ se utiliza para percibir, de manera aproximada, la volatilidad de la demanda. Se calcula el Coeficiente de variación ($CV = \text{Desviación} / \text{Promedio} = \sigma / \mu = \sigma / d$) donde se ubican según los siguientes criterios:

X: $CV \leq 0,5$ (ítems con demanda uniforme)

Y: $0,5 < CV \leq 1$ (ítems con mediana variación)

Z: $CV > 1$ (ítems con alta variabilidad)

De acuerdo con la tabla 1, la mayoría de grupos estudiados se encuentran en el rango Z donde el coeficiente de variación es superior a 1, con excepción de los grupos GC0900 y GC1800 que pertenecen al conjunto Y.

ANÁLISIS ABC – XYZ

Se realizó una matriz con las clasificaciones ABC y XYZ con la intención de analizar el volumen de las demandas conjuntamente con la variabilidad de cada grupo, ver tabla 3.

Tabla 3. Volumen de demanda por cada clasificación

CLASE	A	B	C
X	Alto volumen de las ventas, demanda continua, baja variabilidad	Volumen de ventas medio, demanda continua, baja variabilidad	Volumen de ventas bajo, demanda continua, baja variabilidad
Y	Alto volumen de las ventas, demanda intermitente, variabilidad media	Volumen de ventas medio, demanda intermitente, variabilidad media	Volumen de ventas bajo, demanda intermitente, variabilidad media
Z	Alto volumen de las ventas, demanda muy inestable, alta variabilidad	Volumen de ventas medio, demanda muy inestable, alta variabilidad	Volumen de ventas bajo, demanda muy inestable, alta variabilidad

Fuente: elaboración propia a partir de Krzyżaniak (2007) y (Kaczorowska, 2019) citados en Żabińska (2020).

ANÁLISIS ABCXYZ POR GRUPOS

Teniendo en cuenta la clasificación ABC se enfoca el análisis hacia los grupos categorizados como tipo AZ GC0100, GC2600, GC0700, GC0800, (compras con un alto volumen de compras y demanda muy inestable y variabilidad alta) y AY GC0900 (alto volumen de compras demanda intermitente con variabilidad media), con la finalidad de centrar la investigación hacia los grupos de Mayor interés. La tabla 4 muestra la cantidad unidades compradas mensualmente del grupo GC0100 (Abrasivos) y en la figura 3 se presenta el respectivo polígono de frecuencia.

Tabla 4. Compras mensuales del grupo GC0100 Abrasivos

GC0100	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	2.340	3.635	201	3.229	4.456	713	6.552	2.755	1.162	4.701	2.013	1.229
2016	13.504	9.504	1.906	407	330	49.720	376	966	1.877	12.208	10.029	975
2017	12.538	10.138	76.153	27.334	829	12.858	2.687	3.136	1.154	1.993	16.690	17.120
2018	906	32.535	3.592	851	1.001	1.308	931	826	565	1.569	1.305	659
2019	2.164	16.838	1.022	18.102	2.014	1.261	14.451	4.518	56.674	17.842	2.461	3.216
2020	1.692	14.520	2.019	1.406	1.762	1.252	23.239	19.866	7.708	12.130	4.791	13.632
PROMEDIO MENSUAL	5.524	14.528	14.149	8.555	1.732	11.185	8.039	5.345	11.523	8.407	6.215	6.139

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

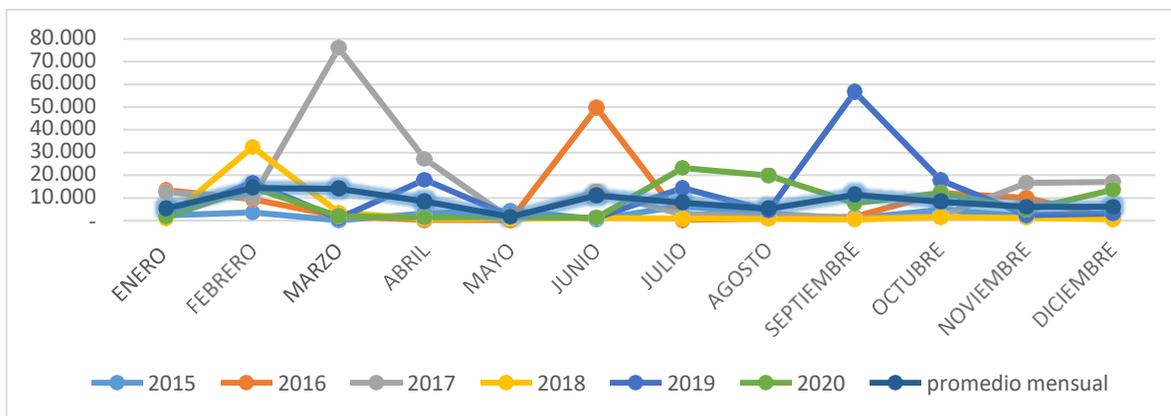


Figura 3. Polígono de frecuencia de las compras de Grupo GC0100 Abrasivos . Fuente: COTECMAR, autores.

Con respecto al grupo de compra GC0100, en la figura 3 se evidencian tres picos que superan las 40.000 unidades compradas el primero en junio en 2016, seguido por marzo de 2017 y septiembre de 2019, lo que genera un coeficiente de variación más elevado. También se observa que mayo es el mes con menor promedio de compras (1.732) y una variabilidad uniforme. Además, en los meses de febrero

se evidencia un crecimiento anual en las compras con una varianza media, con excepción del año 2018 en el cual se muestra un pico.

En la tabla 5 se presentan las unidades compradas mensualmente del grupo GC0900 (tornillos, tuercas y arandelas). Y en la figura 4 se presenta el respectivo el polígono de frecuencia.

Tabla 5. Compras del grupo GC0900 Tornillos, Tuercas y Arandelas

GC0900	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	1.412	25.850	13.712	7.704	4.591	2.570	13.951	10.118	12.867	7.523	5.377	6.173
2016	892	10.776	9.516	2.086	2.149	23.120	9.087	5.764	1.429	684	316	2.199
2017	338	5.150	2.762	2.138	5.397	2.858	3.220	5.933	6.455	6.174	3.544	1.745
2018	11.871	2.039	3.528	2.982	3.087	1.806	3.860	3.603	13.250	3.542	8.218	5.075
2019	15.243	4.502	8.139	9.836	5.458	8.311	4.518	10.085	7.740	7.472	8.457	1.227
2020	15.243	4.502	8.139	9.836	5.458	8.311	4.518	10.085	7.740	7.472	8.457	1.227
PROMEDIO MENSUAL	7.500	8.803	7.633	5.764	4.357	7.829	6.526	7.598	8.247	5.478	5.728	2.941

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

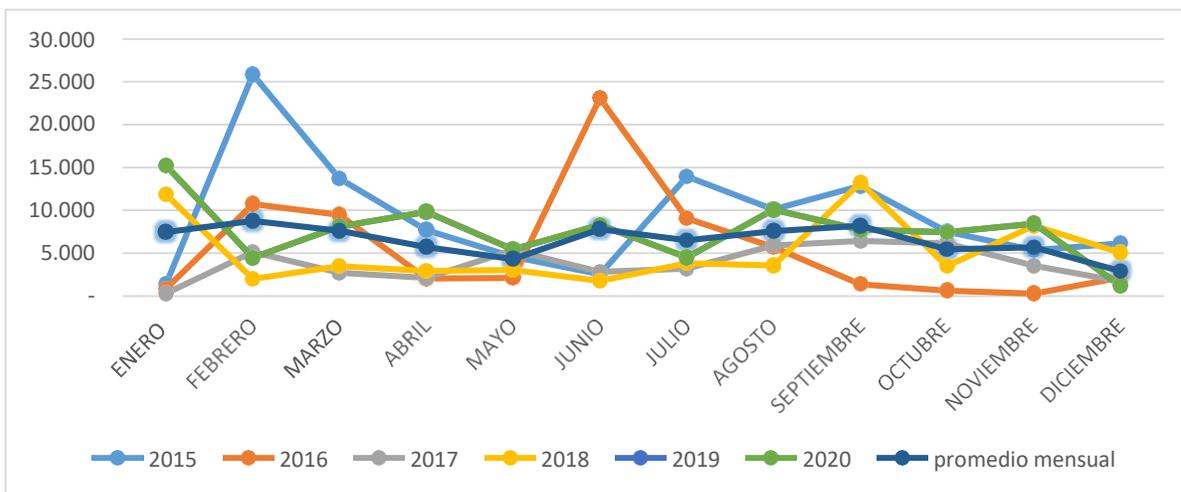


Figura 4. Polígono de frecuencia. Compras de artículos del Grupo GC0900. Fuente: COTECMAR, autores.

Para el grupo GC0900 (tornillos, tuercas y arandelas) se puede observar, en la figura 4, que mantiene un volumen de compras alto con una variabilidad media, aunque se resaltan dos picos que sobrepasan las 20.000 unidades compradas, el primero en febrero de 2015 y el segundo en junio de 2016. Para el mes de octubre se evidencia una desviación menor con relación al promedio.

En la tabla 6 se presentan las unidades compradas mensualmente del grupo GC2600 (artículos de soldadura y gases industriales). Y figura 5 corresponde al polígono de frecuencia de este mismo grupo.

Tabla 6. Compras del grupo GC2600 Artículos de soldadura y gases industriales

GC2600	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	49.676	27.029	1.059	986	1.031	906	2.075	596	2.186	1.598	1.154	590
2016	73.623	112	2.210	201	2.438	33	3.390	176	580	300	349	1.192
2017	36.960	1.248	1.732	4.993	763	2.246	5.374	4.874	354	46	862	546
2018	316	19.336	3.733	4.654	277	185	26	164	2.846	827	231	111
2019	8.928	206	198	840	1.917	4.925	442	2.153	1.228	1.822	294	1.193
2020	3.872	20.698	1.671	1.349	281	357	2.832	1.346	821	1.930	263	984
PROMEDIO MENSUAL	28.896	11.438	1.767	2.171	1.118	1.442	2.356	1.551	1.336	1.087	525	769

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

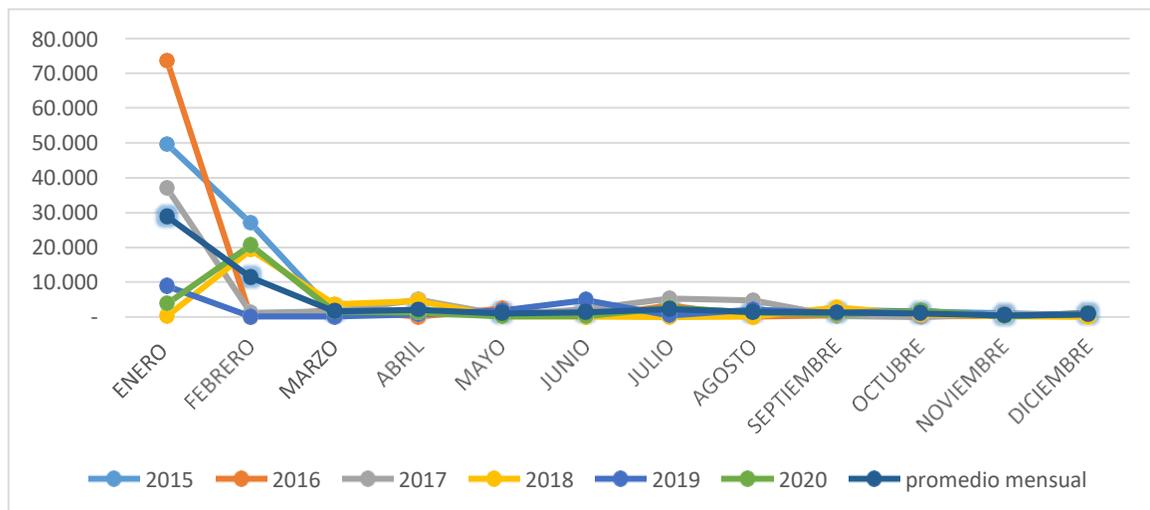


Figura 5. Polígono de frecuencia. Compras de artículos del Grupo GC2600. Fuente: COTECMAR, autores.

Con respecto al grupo GC2600 de artículos de soldadura y gases industriales, la figura 5 muestra un alto volumen de compra con una alta variabilidad y una demanda inestable. También resalta un comportamiento de compras de alto volumen para los meses de enero y febrero acentuado con mayor relevancia en los años 2015, 2016 y 2017 sobrepasando las 30.000 unidades compradas.

La tabla 7 contiene las unidades compradas mensualmente de elementos electrónicos o grupo GC0700. En la figura 6 se presenta el respectivo polígono de frecuencia.

Tabla 7. Compras del grupo GC0700 Elementos Electrónicos

GC0700	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	895	12.952	3.604	7.495	4.737	9.019	28.547	5.819	11.790	5.182	2.706	2.655
2016	722	575	734	16.687	2.819	650	353	1.548	1.754	211	415	254
2017	733	1.029	1.906	10.454	10.469	2.348	1.560	6.187	2.864	3.882	499	922
2018	3.249	3.581	4.304	2.273	678	198	557	376	1.791	2.734	5.886	1.634
2019	3.911	1.856	602	1.332	10.183	18.974	3.426	8.059	1.470	5.690	597	3.574
2020	17.542	3.177	1.445	2.848	2.051	8.219	7.610	8.898	10.632	3.555	1.777	1.968
PROMEDIO MENSUAL	4.509	3.862	2.099	6.848	5.156	6.568	7.009	5.148	5.050	3.542	1.980	1.835

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

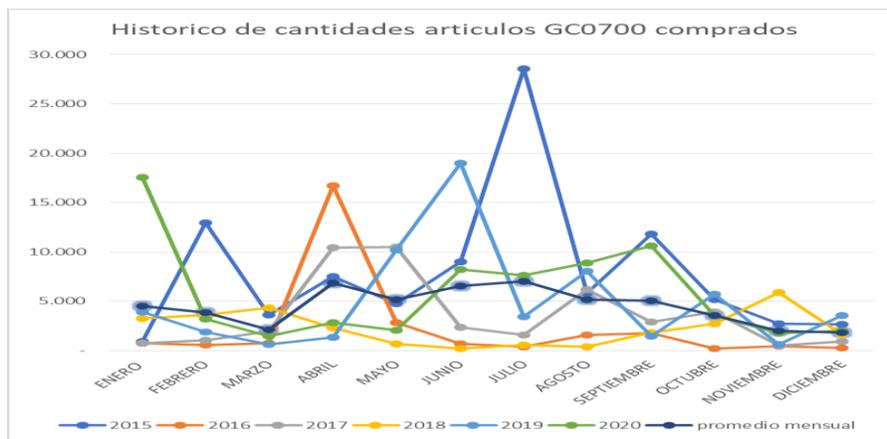


Figura 6. Polígono de Frecuencia. Compras de artículos del Grupo GC0700. Fuente: COTECMAR, autores.

En el grupo GC0700 se observa un alto volumen de compra, alta variabilidad y una demanda inestable. Es para resaltar un pico que supera las 25.000 unidades para el mes de julio de 2015, y en el mes de diciembre de los cinco años se observa la manera en la que disminuye la variabilidad y el volumen de compra no supera las 5.000 unidades.

La tabla 8 contiene las unidades compradas mensualmente del grupo GC0800 que corresponde a Láminas y Ánodo. Y en la figura 7 se presenta el respectivo el polígono de frecuencia.

Tabla 8. Compras del grupo GC800 Láminas y Ánodos

GC0800	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	90	607	222	4.174	245	4.999	14.905	234	6.304	6.880	11.995	95
2016	27	61	8.164	44	23	10.331	65	69	932	2.191	393	12.313
2017	6.478	5.242	16.375	26.782	123	17.603	13.009	44	9	148	1.981	39
2018	128	33	154	3.863	830	5.583	10	695	64	-	776	30
2019	79	254	76	5.848	1.019	266	5.343	21.058	5.390	158	94	74
2020	10.909	426	10.068	1.645	4.650	1.699	6.221	17.845	910	978	142	66
PROMEDIO MENSUAL	2.952	1.104	5.843	7.059	1.148	6.746	6.592	6.657	2.268	1.726	2.563	2.103

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

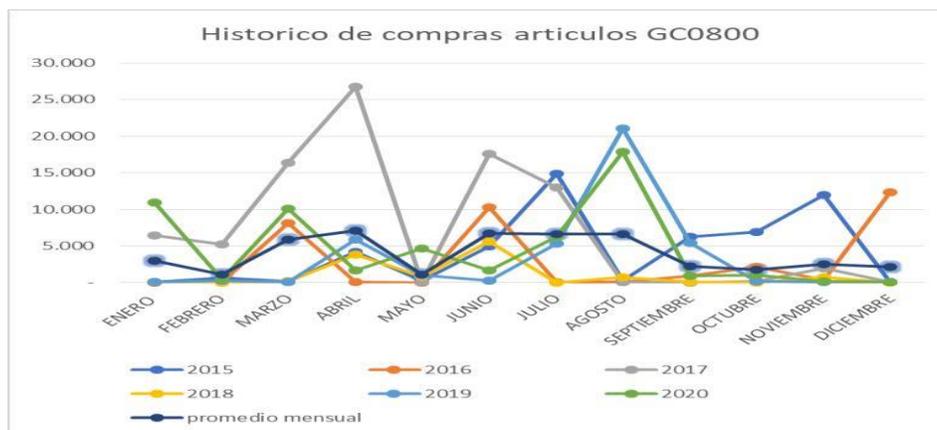


Figura 7. Polígono de Frecuencia. Compras artículos del Grupo GC0800. Fuente: COTECMAR, autores.

En el grupo de compras GC0800 de Láminas y Ánodos se observa un alto volumen de compra, alta variabilidad y una demanda inestable (figura 7). Es de resaltar dos picos que sobrepasan las 20.000 unidades de compra, el primero el mes de abril de 2017 y el segundo en agosto de 2019. Además, el mes con menor nivel de compra y la variabilidad más uniforme es mayo para los años analizados.

MATERIALES MÁS REPRESENTATIVOS

Teniendo en cuenta la clasificación ABC aplicada en los grupos de compras, se identificaron los materiales más representativos de cada uno de los grupos, con el fin de identificar los materiales de mayor interés para los proyectos de reparación y mantenimiento de COTECMAR.

Tabla 9. Matriz de Kraljic de los materiales más representativos por grupos y clasificación del nivel de criticidad

CÓDIGO	PRODUCTO	IMPACTO FINANCIERO	RIESGO DE SUMINISTRO	KRAJILC	CRITICIDAD
120000400	GRANALLA ABRASIVA MINERAL DE ESCORIA	BAJO	BAJO	RUTINARIO O TÁCTICO	ESENCIAL
110000139	LAMINA A/N ASTMA-131 1/4" 8X20' 740.01KG	ALTO	ALTO	ESTRATÉGICO	VITAL
130000072	OXIGENO LIQUIDO	ALTO	ALTO	ESTRATÉGICO	VITAL
120000806	TORNILLO DRYWAL PHILLIPS DIN7505 #8 X 2"	BAJO	BAJO	RUTINARIO O TÁCTICO	ESENCIAL
120001104	ABRAZADERA PLÁSTICA NEGRA 14"	BAJO	BAJO	RUTINARIO O TÁCTICO	ESENCIAL

Fuente: elaboración propia.

Grupo GC0100 Abrasivos - material 120000400 Granalla abrasiva mineral de escoria

En la figura 8 se aprecia el comportamiento de las compras mensualmente de Granalla Abrasiva Mineral de Escoria en los últimos cinco años. Por su parte, la tabla 10 muestra las cantidades (unidades) de compra mensual de estos artículos.

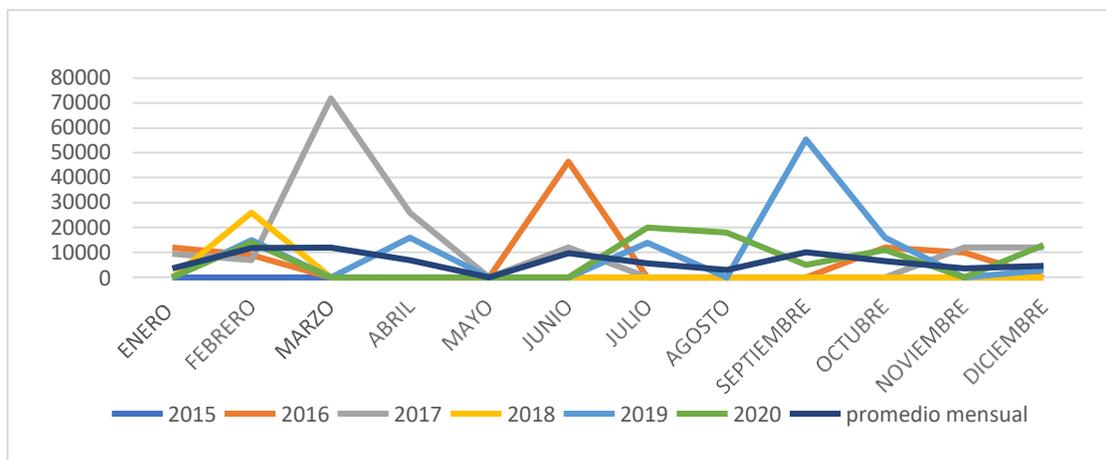


Figura 8. Polígono de Frecuencia. Compras del material 120000400 Granalla Abrasiva Mineral de Escoria.
Fuente: COTECMAR, autores.

Tabla 10. Compra de Artículos 120000400 Granalla Abrasiva Mineral de Escoria

120000400	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	12000	9000	0	0	0	46500	0	0	0	12000	10000	0
2017	9500	7000	72000	26000	0	12000	0	0	0	0	12000	12000
2018	0	26000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	0	15000	0	16000	0	0	14000	0	55500	16000	0	3000
2020	0	14000	0	0	0	0	20000	18000	5000	11000	0	13000
PROMEDIO MENSUAL	3.583	11.833	12.000	7.000	-	9.750	5.667	3.000	10.083	6.500	3.667	4.667

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

En la figura 8 se observan tres picos de compras del material 120000400 Granalla Abrasiva Mineral de Escoria, los cuales superan las cuarenta mil unidades, el primero sucede en junio de 2016, el segundo en marzo de 2017 y el último en septiembre de 2019. Además, según la matriz de Kraljic el material Granalla Abrasiva Mineral de Escoria se clasifica como un producto rutinario o táctico, adicionalmente tiene una criticidad de carácter esencial, generalmente, para los proyectos de mantenimiento y reparación y mantenimiento.

Grupo GC0800 Láminas y anodos – material 110000139 Lamina A/N ASTMA-131 1/4” 8X20’ 740.01KG

La figura 9 muestra el comportamiento de las cantidades compradas mensualmente de Lamina A/N ASTMA-131 1/4” 8X20’ 740.01KG en los últimos cinco años. Asimismo, en la talla 11 se presentan las respectivas cifras mensuales.

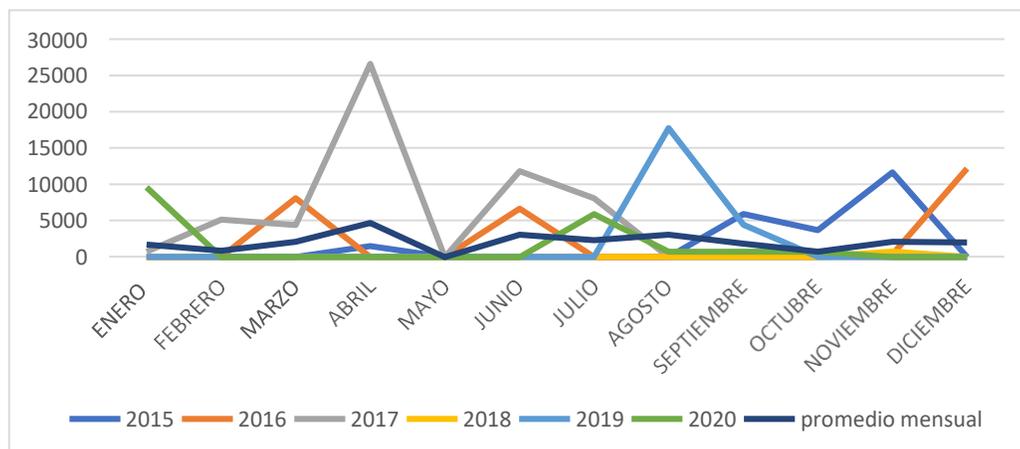


Figura 9. Polígono de Frecuencia. Compras del material 110000139 Lamina A/N ASTMA-131 1/4” 8X20’ 740.01KG. Fuente: COTECMAR, autores.

Tabla 11. Compras de artículos 110000139 Lamina A/N ASTMA-131 1/4” 8X20' 740.01KG

110000139	ENE	FEB	MAR	ABR	MY	JUN	JUL	AGO	SEP	OC	NOV	DIC
2015	0	0	0	1480,02	0	0	0	0	5920,08	3700	11662,9	0
2016	0	0	8140,11	0	0	6660,09	0	0	0	0	370,005	12210,1
2017	740,01	5180,07	4440,11	26644,36	0	11840,16	8140,11	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	740,01	0
2019	0	0	0	0	0	0	0	17761	4444	0	0	0
2020	9620	0	0	0	0	0	5938,86	741,93	749	749	0	0
PROM. MENSUAL	1.727	863	2.097	4.687	-	3.083	2.346	3.084	1.852	742	2.129	2.035

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

Los artículos 110000139 Lamina A/N ASTMA-131 1/4” 8X20' 740.01KG tienen un alto nivel de incertidumbre, sin embargo, en el segundo semestre de los últimos tres años ha tenido un considerable volumen de compras. De acuerdo con la matriz de Kraljic, podemos afirmar que este producto se encuentra clasificado como estratégico, y posee característica de criticidad de carácter vital dentro de los proyectos de mantenimiento y reparación.

Artículos de soldadura y gases industriales GC2600 – material 130000072 Oxígeno líquido

El comportamiento de las compras mensuales de los artículos de cód. 130000072 (Oxígeno Líquido) se muestra en la figura 10 y las cantidades detalladas se presentan en la tabla 12.

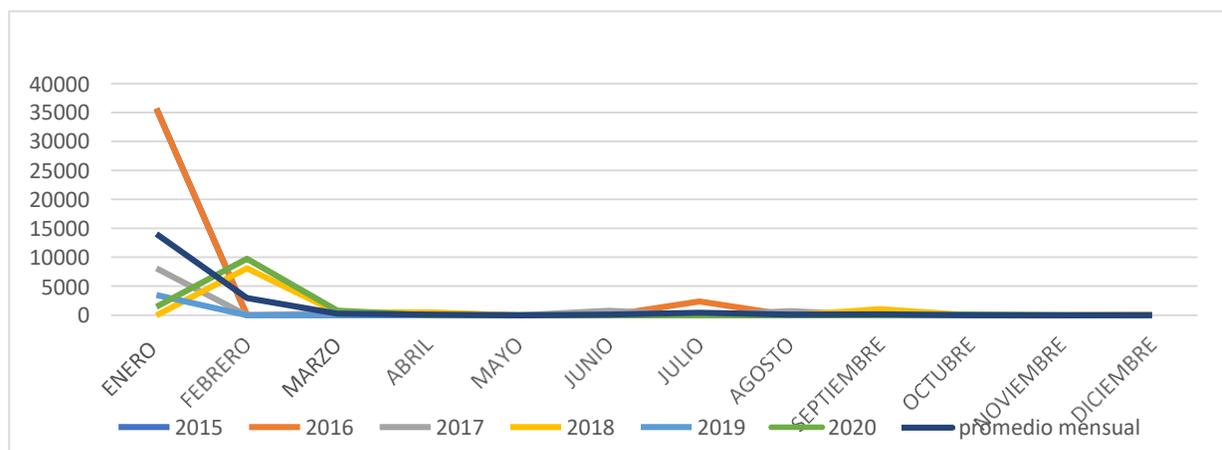


Figura 10. Polígono de Frecuencia. Compras del material 130000072 Oxígeno Líquido. Fuente: COTECMAR, autores.

Tabla 12. Compras Artículos 130000072 Oxígeno Líquido

130000072	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	35680	0	0	345	0	0	260	0	0	0	0	0
2016	35680	0	0	0	0	0	2405	0	0	0	0	0
2017	8100	0	404	0	0	800	0	714	0	0	0	0
2018	0	8100	520	520	0	0	0	0	1040	0	0	91
2019	3480	0	0	0	0	0	130	0	130	0	0	0
2020	1441	9749	780	0	0	0	0	0	0	130	0	0
PROMEDIO MENSUAL	35680	0	0	345	0	0	260	0	0	0	0	0

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia

El Oxígeno Líquido muestra mayores volúmenes de compra en los meses de enero y febrero (figura 10). Además, según la matriz de Krajlíc está clasificado como un material estratégico, y con una característica de criticidad de carácter vital dentro de los proyectos de mantenimiento y reparación.

GC900 Tornillos, tuercas y arandelas - material 120000806 Tornillo Drywall Phillips DIN7505 #8 X 2"

La figura 11 muestra el comportamiento de las compras de Tornillos Drywall Phillips Din7505 #8 X 2", y la tabla 13 contiene las unidades compradas mensualmente en los últimos cinco años.

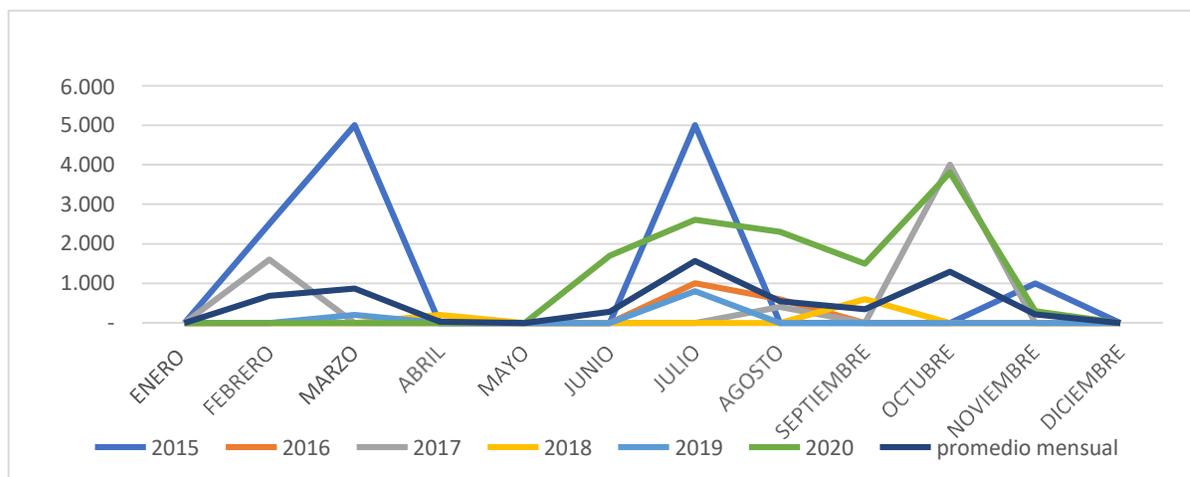


Figura 11. Polígono de Frecuencia. Compras del material 120000806 Tornillo Drywall Phillips Din7505 #8 X 2". Fuente: COTECMAR, autores.

Tabla 13. Compras Artículos Tornillo Drywall Phillips Din7505 #8 X 2”

120000806	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	0	2500	5000	0	0	0	5000	0	0	0	1000	0
2016	0	0	0	0	0	0	1000	600	0	0	0	0
2017	0	1600	0	0	0	0	0	400	0	4000	0	0
2018	0	0	0-	200	0	0	0	0	600	0	0	0
2019	0	0	200	0	0	0	800	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	1700	2609	2300	1500	3800	300	0
PROMEDIO MENSUAL	0	683	867	33	0	283	1568	550-	350	1300	217	0

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia

Este material, a través de figura 11 nos muestra que tiene un comportamiento enfocado en los segundos semestres de los años en estudio, y con unos picos en 2015 para los meses de marzo y julio, en 2020 presentó un crecimiento considerable en el segundo semestre. Además, según la matriz de Krajlíc este material se encuentra clasificado como rutinario o táctico, y posee un nivel de criticidad esencial dentro de los proyectos de mantenimiento y reparación.

Elementos electrónicos GC0700 - material 120001104 Abrazadera Plástica Negra 14”

La figura 12 exhibe el histórico de compras del material 120001104 Abrazadera Plástica Negra 14”, y la tabla 14 presenta las cifras de unidades compradas mensualmente en los últimos cinco años.

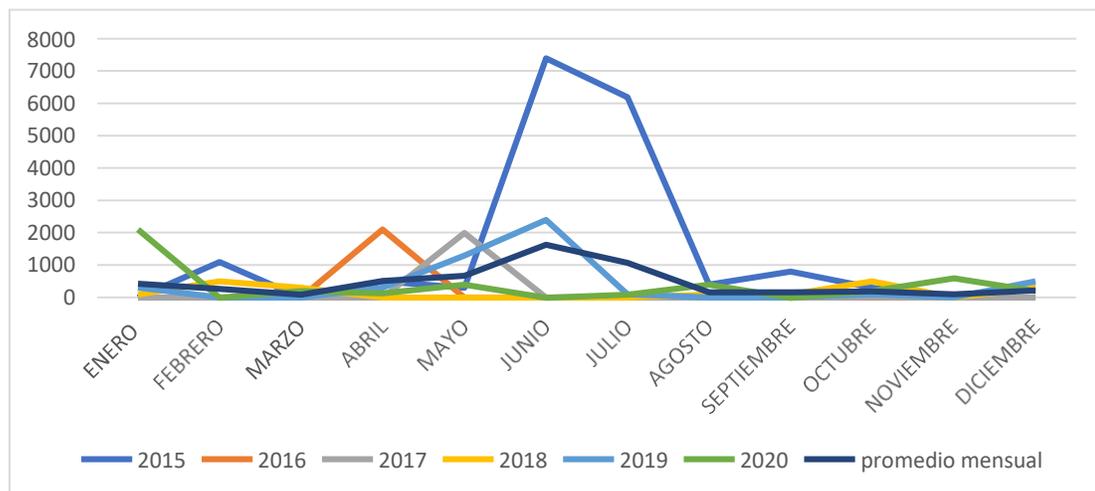


Figura 12. Polígono de Frecuencia. Compras del material 120001104 Abrazadera Plástica Negra 14”. Fuente: COTECMAR, autores.

Tabla 14. Compras Artículos Abrazadera Plástica Negra 14”

120001104	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	0	1100	0	500	300	7400	6200	400	800	0	1100	0
2016	0	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	2000	0	0	0	0	0	0	0
2018	100	500	300	0	0	0	0	100	100	100	500	300
2019	300	0	0	300	1300	2400	100	0	0	300	0	0
2020	2103	0	200	130	400	0	100	400	1	2103	0	200
PROMEDIO MENSUAL	417	267	83	505	667	1.633	1.067	150	150	417	267	83

Fuente: COTECMAR. Elaboración propia.

Las Abrazaderas Plásticas Negra 14” muestra compras constantes con bajos volúmenes distribuidos en la mayoría de meses, y un gran pico en junio de 2019. Además, está clasificado según la matriz de Kraljic como un material rutinario o táctico, y un nivel de criticidad denominado como esencial dentro de los proyectos de mantenimiento y reparación debido a la abundancia de oferta en el mercado.

4. CONCLUSIÓN

En este trabajo se realizó el análisis del comportamiento histórico de las compras de bienes y servicios de COTECMAR para los proyectos de reparación y mantenimiento planta Bocagrande en los años comprendidos entre 2015 y 2020. Se recopiló información por grupos de las compras, la cual fue suministrada por COTECMAR. Vale mencionar que alguna información estaba incompleta, lo que afecta la precisión de los resultados. Por lo anterior, se resalta la importancia del adecuado uso de los sistemas de información además la verificación de la capacitación del personal que lo maneja.

Además, utilizando la herramienta ABC/XYZ se logró evidenciar que el comportamiento de las compras se ciñe a la regla de Pareto, donde el 17 % de los grupos de compras tienen una participación del 74 % del total de la cantidad de unidades compradas, por lo tanto, señala con mayor relevancia la demanda de estos.

Por medio de la clasificación ABC/XYZ se ratificó que estas compras tienen un comportamiento alineado a un mercado de incertidumbre, dado que se pudo percibir de manera aproximada la volatilidad de la demanda por medio del coeficiente de variación, que el 93,1 % de los grupos están clasificados en el conjunto Z, indicando una alta variabilidad, y el 6,9 % en el conjunto Y, que representa una variabilidad media.

Con el análisis gráfico del comportamiento de las compras se identificó la importancia del conjunto A que contiene los grupos GC0100, GC0900, GC2600, GC0700, GC0800, concluyendo que existe una alta variabilidad, y no muestra una estacionalidad de la demanda acentuada de forma marcada, ni una correlación puntual y estable en los años estudiados. Sin embargo, es necesario realizar un seguimiento más detallado por productos que permita analizar cada caso de manera aislada y evaluar las características que lo afectan.

Se identificó el grupo GC0100 (Abrasivos) como el de mayor participación, aunque tiene una alta variabilidad, principalmente se caracteriza por las compras superiores a 10.000 unidades en el mes de febrero, por lo que se recomienda como mínimo realizar compras para este mes de acuerdo con el promedio 5.524 unidades. Para este mismo grupo, se observó que el mes de mayo tiene un nivel de compras bajo, con un promedio de 1.732 unidades; datos a tener en cuenta en la planeación de compras. Además, dado que este grupo presenta un alto volumen de compras se sugiere estudiar la viabilidad de generar alianzas con los proveedores que permitan la disponibilidad de los productos a un precio justo.

Una de las limitaciones que enfrentó la investigación fue la gran cantidad de productos, por lo que se realizó el análisis por grupos. Sin embargo, para la toma de decisiones sería valioso calcular los puntos de reorden, promedios de tiempos de los periodos medios de aprovisionamiento, los costos de almacenamiento stock de seguridad, entre otros, por cada producto que le permitirá tener mayor control en los inventarios. Dentro de los materiales más representativos se pueden destacar los más relevantes en cada grupo de acuerdo con la ley de Pareto así:

1. Grupo GC0100 Abrasivos - material 120000400 granalla abrasiva mineral de escoria
2. Grupo GC0800 Láminas y ánodos – material 110000139 lamina a/n astma-131 1/4” 8x20’ 740.01kg
3. Grupo GC2600 Artículos de soldadura y gases industriales – material 130000072 Oxígeno líquido
4. Grupo GC900 Tornillos, tuercas y arandelas - material 120000806 tornillo drywall phillips din7505 #8 x 2”
5. Grupo GC0700 Elementos electrónicos - material 120001104 abrazadera plástica negra 14”

De acuerdo con la matriz de Kraljic los grupos 1, 4 y 5 se clasifican como rutinarios o tácticos por los altos niveles de oferta en el mercado o la facilidad en sus aprovisionamientos y con un nivel de criticidad esencial. Por su parte, los materiales de los grupos 2 y 3 se clasifican como estratégicos por sus altos riesgos de aprovisionamiento y altos costos financieros, y con un nivel de criticidad vital por la importancia en los proyectos de mantenimiento y reparación.

REFERENCIAS

- Arcieri, J. (2014). Implementación de estrategias para fortalecer la atención y satisfacción del cliente Armada Nacional y reactivación de clientes particulares.
- Axsäter. (2000). *Inventory Control*. 2-5. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*, 3ª ed. Bogotá: Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Chackelson, C. (2010). Validación de un sistema experto para mejorar la gestión de inventarios mediante estudios de caso. *Revistas UM Investigaciones en ingeniería*.
- Cogollo, J., Otero, M., Hernández, J., Angulo, A., Salazar, C., & Zuluaga, J. (2011). Desarrollo de un modelo logístico que permita el incremento de la competitividad. En COTECMAR.
- Sallenave, J. P. (2002). *La Gerencia Integral ¡No le tema a la competencia, témale a la incompetencia!* Editorial Norma.

II FASE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EL PROGRAMA TECNOLOGÍA DE LOGÍSTICA MILITAR DE LA EMSUB

Área temática: docencia, extensión e investigación

Jennifer Yorlady Gómez González*

Juan Carlos López Henao**

Luz Amparo Vargas Sánchez***

Resumen

La integración de las TIC y la educación ha modificado los procesos de aprendizaje y las actividades académicas. Pasar de las aulas físicas a las virtuales ha estimulado el desarrollo de habilidades tecnológicas. La realidad aumentada es una herramienta que permite la integración de elementos virtuales, sobre una representación real que puede realizarse desde un dispositivo móvil, permitiendo integrar la tecnología con el diseño y la innovación, por eso se propone la implementación de una experiencia virtual como parte de la estrategia didáctica en los estudiantes de los pregrados de tecnología en logística Militar en la Escuela Militar de Suboficiales Inocencio Chínca (EMSUB). La innovación educativa facilita el aprendizaje a través de ejemplos reales y casuística usando la tecnología que se encarga también de promover una experiencia de aprendizaje agradable y significativa. En esta segunda fase del proyecto se identificó como esta estrategia puede agregarse al implementar también un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) que permita desarrollar distintas competencias y resultados de aprendizaje en los estudiantes y fortalecimiento en las de competencias en los docentes.

Palabras clave:

Realidad aumentada, aprendizaje, innovación, educación, experiencia de aprendizaje.

Abstract

The integration of ICT and education has modified learning processes and academic activities. Moving from physical to virtual classrooms has stimulated the development of technology skills. Augmented reality is a tool that allows the integration of virtual elements, on a real representation that can be done from a mobile device, allowing to integrate technology with design and innovation, for this reason the implementation of a virtual experience is proposed as part of the didactic strategy for the undergraduate students of technology in Military logistics at the Escuela Militar de Suboficiales Inocencio Chínca (EMSUB). Educational innovation facilitates learning through real examples and casuistry using technology that is also responsible for promoting a pleasant and meaningful learning experience. In this second phase of the project, it was identified how this strategy can be added by also implementing a Virtual Learning Object (VLO) that allows developing different competencies and learning outcomes in students and strengthening competencies in teachers.

Keywords:

Augmented reality, learning, innovation, education, learning experience

* Escuela Militar De Suboficiales Inocencio Chínca. E-mail: Jennifer.gomez.docente@emsub.edu.co

** SENA. E-mail: jclopezh@sena.edu.co

*** UNIMINUTO. E-mail: luz.vargas.s@uniminuto.edu

1. INTRODUCCIÓN

Con la integración de las TIC y la educación emergieron nuevas prácticas pedagógicas haciendo uso de las distintas mediaciones para realizar el proceso de enseñanza, lo que ha conllevado el desarrollo de habilidades tecnológicas y con estas, el desarrollo de actividades que generan interés en el proceso de estudio y la experiencia del estudiante. Las nuevas dinámicas del contexto educativo tecnológico hacen que el estudiante se adapte fácilmente a los cambios en las tendencias tecnológicas durante su proceso de estudio. De acuerdo con esto, se entra en una segunda fase del proyecto donde se propone la implementación de una experiencia virtual como parte de la estrategia didáctica, mejorando su experiencia pedagógica durante el desarrollo de la temática haciendo uso de la realidad aumentada.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) se refieren al conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como voz, datos, texto, video e imágenes (Ley 1341 de 2009 art. 6). Las TIC fueron creadas e incorporadas al proceso formativo con el fin de apoyar al docente en el logro de los resultados de aprendizaje y fortalecimiento del conocimiento y las competencias de los estudiantes. En la fase 1 de este proyecto se pretende implementar la realidad aumentada, y en la fase 2 se creará un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA), de manera que se entregan unas herramientas donde el estudiante y el docente pueden aprender o mejorar en su competencia profesional.

El Ministerio de Educación (MEN) a través del Programa Nacional de Innovación Educativa con el uso de TIC, inició en el año 2008 el desarrollo de la Ruta de Apropiación de TIC en el Desarrollo Profesional Docente que se actualizó hacia la Ruta de Innovación Educativa con uso de TIC (MEN, 2008). El producto final es el documento “Competencias TIC para el desarrollo profesional docente” (MEN, 2013), que consiste en una serie de acuerdos conceptuales y lineamientos para orientar los procesos formativos en el uso pedagógico de las TIC. La incorporación de nuevas tecnologías en el desarrollo de estrategias pedagógicas en los cursos virtuales de programas de educación superior, puede generar un impacto significativo en el proceso de aprendizaje del estudiante.

La Realidad Aumentada incluyéndola en una OVA, puede ser una tecnología que complementa la percepción e interacción de una experiencia virtual con el mundo real, que permiten al usuario vivir e identificar aspectos de un entorno real aumentado con información adicional generada por el ordenador. Esta tecnología está implementándose en nuevas áreas de aplicación como lo son: historia, financiera, museos, libros, reconstrucción del patrimonio histórico, el entrenamiento de operarios de procesos industriales, marketing, el mundo del diseño interiorista y guías de museos, entre otras.

La tecnología de la Realidad Aumentada se ha empezado a introducir en algunas disciplinas mejorando así la forma en la que se enseña y la didáctica que se usa. Sin embargo, el conocimiento y la aplicabilidad de esta tecnología en la docencia en el años 2022 es mínima; entre otros motivos, se debe a la propia naturaleza y estado de desarrollo de dicha tecnología, así como también a su escasa

presencia en los ámbitos cotidianos de la sociedad. El desarrollo de iniciativas en la utilización de esta tecnología en la educación y su divulgación contribuirán a su extensión en la comunidad docente (Basogain et al., 2007).

2. PREGUNTA PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿El uso de realidad aumentada fortalecería el proceso de enseñanza – aprendizaje; si este se implementa en una segunda fase junto a un objeto virtual de aprendizaje de la asignatura de Almacenamiento y distribución en el programa de Tecnología en Logística Militar?

Se propone implementar en una segunda fase, en un OVA, una estrategia didáctica de realidad aumentada para que el proceso de aprendizaje de la asignatura de almacenamiento y distribución militar, por medio de implementación de realidad aumentada, con el fin de generar interés en el aprendizaje y vivenciar una realidad virtual y pedagógica durante el desarrollo del programa académico que cursan los estudiantes de la EMSUB.

Con esta segunda fase se busca generar un impacto en los procesos académicos desde la innovación pedagógica a través de herramientas de última tendencia y así mejorar las estrategias y las prácticas didácticas pedagógicas para obtener mejores resultados de aprendizaje por parte de los estudiantes donde se puedan identificar con la realidad. Con esta vivencia de realidad aumentada el estudiante podrá evidenciar los procesos que se desarrollan en la logística de Almacenamiento y la distribución, desde su área disciplinar.

Esta propuesta busca que la Institución de Educación Superior EMSUB, pueda implementar innovación a través de las últimas tendencias en tecnología aplicándolas a la pedagogía, en sus programas académicos haciendo uso de esto para fortalecer características de un modelo virtual de una modalidad flexible, accesible, didáctica y dinámica.

En esta segunda fase se trata de brindar una experiencia diferente en las actividades de los estudiantes que toman esta asignatura. Se busca una mejora en la práctica académica, tanto para el instructor o docente como para el estudiante en asignaturas de uno de los programas académicos. Los proyectos etiquetados como realidad aumentada no han parado de crecer en los últimos años. Existen multitud de definiciones de la realidad aumentada y todas aportan algo interesante a la caracterización de este tipo de tecnología (Prendes Espinosa, 2015).

Tomando como punto de referencia la implementación de la realidad aumentada en el área de educación, y considerando que en la actualidad se abren cada vez más los caminos hacia una era donde la informática y las tecnologías se agrupan de manera vertiginosa con las prácticas educativas, se deben poner estas herramientas al servicio de los estudiantes para que puedan tener un aprendizaje apoyado en la tecnología, aumentado la calidad de su desempeño y logrando los resultados esperados; a la vez que se mejora el desarrollo de las estrategias del docente. Esta es la argumentación de la primera fase del proyecto.

La segunda fase consiste en realizar la implementación de la realidad aumentada, dentro del objeto de aprendizaje virtual, donde a través de un programa de software se intente moldear parte de una réplica de las actividades de la realidad de la asignatura de almacenamiento y distribución. Es allí donde el ejecutor construye conocimiento a partir del trabajo exploratorio que encuentra dentro del aula, en este caso la inferencia y el aprendizaje por descubrimiento. Estas realidades o simuladores se desarrollan en un entorno interactivo, que permiten al ejecutor modificar los parámetros temporalmente y ver cómo reaccionan las variables ante el cambio introducido.

En su primera fase, este software integra unos entornos vivenciales, para enseñar la parte logística del almacenamiento en las actividades que se desarrollan en el Ejército Nacional, desde la organización de tablas, equipos, el conocimiento de las áreas de almacenamiento y las operaciones de distribución, la logística y abastecimiento de productos. En la segunda fase, se desarrolla un OVA donde se incluye toda la realidad aumentada como estrategia didáctica.

En el Ova que se plantea en esta segunda fase junto con la realidad aumentada permite que el usuario perciba el entorno real “aumentado” con algunos objetos virtuales, es decir, creados por computadora; con el objetivo de favorecer el desarrollo de competencias disciplinares, facilitando a los estudiantes de la Tecnología en Logística Militar de la EMSUB, la apropiación de conocimientos disciplinares y su transferencia en diferentes campos del conocimiento para la resolución de problemas de manera heurística.

Esto, sin duda, actualizará los antiguos medios didácticos de enseñanza de las ciencias y permitirá incluir la innovación educativa.

Esta innovación educativa planteada debe ser aprovechable como un producto terminado, si no, que su misma preparación e implementación supone un trabajo exploratorio e investigativo de los fenómenos del mundo real para complementarlo con el mundo virtual, lo que es un gran aporte a la educación.

Del planteamiento anterior se debe tener en cuenta el enfoque que da el MEN a través del Viceministerio de Educación Superior en el Programa Nacional de Innovación Educativa con Uso de TIC - Programa estratégico para la competitividad (MEN, 2008), el cual proporciona una ruta de apropiación de TIC en el Desarrollo Profesional Docente acerca de las competencias esperadas para la apropiación de las TIC en la educación superior. Sin embargo, deja abierta la propuesta para el diseño de estándares específicos de modo que cada Institución de Educación Superior (IES) tenga la opción de hacer propuestas propias acordes a las características culturales que inciden claramente en la educación de cada región o que corresponden a metodologías foráneas. El carácter autónomo de la Educación Superior en Colombia da plena libertad a las IES para que definan libremente sus propuestas (Hernández et al., 2014). Por tal razón, este tipo de tecnología facilitará el proceso académico poniendo en evidencia la necesidad de aliarse con los procesos educativos, y de implementar la realidad aumentada como una herramienta TIC que permita mejorar las prácticas y estrategias pedagógicas de enseñanza hacia el estudiante, y a su vez mejorar su interés por el aprendizaje en la asignatura de

Almacenamiento y distribución, que hace parte del plan de estudios del tecnólogo en logística la Escuela Militar de suboficiales “Inocencio Chínca”.

En la primera fase se realizó una investigación de tipo mixta la cual dio los siguientes resultados.

Población a investigar:

- Estudiantes activos del programa de Tecnología en Logística Militar de la EMSUB
- Egresados de la EMSUB
- Población (N): 130
- Nivel de confianza: 95 %
- Margen de error: 5 %
- Muestra (n): 98

La investigación previa acerca de la implementación en realidad aumentada en curso del pregrado, se aplica a estudiantes activos que son personas entre los 17 a 22 años, quienes están cursando su carrera militar como Suboficiales, adicional cursan un programa de tecnología. De 99 personas, respondieron a la investigación 52 estudiantes que se encuentran en los diferentes semestres de la carrera tecnológica, quienes indican en cuanto a las preguntas realizadas lo siguiente: los estudiantes dicen que sí es necesario que los docentes mejoren el proceso de enseñanza, es de tener en cuenta que las clases que reciben son magistrales con algunos talleres de aula. Frente a esta misma observación, los egresados de la EMSUB (47 de quienes respondieron), en su mayoría respondieron que los docentes sí deben mejorar sus procesos de enseñanza.

En la pregunta abierta se define lo siguiente: los egresados –quienes ya finalizaron sus estudios– sugieren la importancia y la novedad que representa implementar estas mejoras tecnológicas para las nuevas generaciones que ingresan a la EMSUB. El hecho de ponerlo a prueba facilitará algunos procesos debido a la accesibilidad por las ventajas que da conocer esta herramienta, fortalecer el conocimiento de la disciplina de sus pregrados, como en la relación que estos tienen con la formación militar, para que se trabajen de forma mancomunada los ejemplos o los casos haciendo un uso adecuado de la tecnología, las asignaturas virtuales con estas herramientas.

Sin embargo, dentro de las respuestas también encontramos de las personas investigadas que no están de acuerdo con la implementación de estas herramientas debido a que muchas veces puede entorpecer sus procesos de aprendizaje, mientras que los estudiantes activos manifiestan que encuentran una gran motivación por aprender con el uso de herramientas novedosas que les ayuden a fomentar competencias en diferentes aspectos tecnológicos, la búsqueda de enseñanza futuristas, que les permitieran aprender desde el celular pero con algo distinto a un PDF, con una herramienta activa que desarrolle en ellos competencias de la disciplina y tecnologías, por tanto se identifica la búsqueda y la incógnita de temas como realidad aumentada en sus clases.

En la segunda fase, se realizará un grupo focal con los estudiantes y los egresados con el fin de obtener datos acerca de la implementación de un objeto virtual de aprendizaje con realidad aumentada.

3. CONCLUSIONES

- Para la segunda fase del proyecto se hace necesaria una propuesta en el uso de otra herramienta educativa como complemento al proceso de aprendizaje, dando alcance a que los estudiantes estén en una constante búsqueda del uso de instrumentos tecnológicos novedosos.
- Se identifica que, para la segunda fase, los graduados serán actores clave para la creación de esta nueva herramienta académica.
- La implementación de la realidad aumentada en un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) generara impacto y nuevas experiencias de aprendizaje en las actividades educativas.
- La implementación de nuevos recursos educativos que integren las últimas tendencias en el desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje (OVA) permitirá a los estudiantes el desarrollo de competencias, de manera que se obtengan los resultados de aprendizaje esperados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a los estudiantes de la Escuela Militar de suboficiales Inocencio Chincá del Ejército Nacional y al grupo de egresados de la Escuela Militar suboficiales Inocencio Chincá, que contribuyeron al proceso de investigación.

REFERENCIAS

- Area Moreira, M. (2008). La innovación pedagógica con TIC y el desarrollo de las competencias informacionales digitales. *Revista de Investigación en la Escuela*, 64, 5-17.
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. (2007). *Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente*. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU. Recuperado de <http://bit.ly/2hpZokY>
- Hernández, C., Gamboa, A., & Ayala, E. (2014). Competencias TIC para los docentes de educación superior. *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*, 12, 13.
- Prendes Espinosa, C. (2015). *Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas*. Pixel-Bit.
- Suárez, J., Maiz, F., & Pardo, M. M. (2010). Inteligencias múltiples: una innovación pedagógica para potenciar el proceso enseñanza aprendizaje. *Investigación y postgrado*, 25(1), 81-94.

DISEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTROS DE CICLO CERRADO CON EL TRINOMIO CALIDAD TOTAL - PRODUCTIVIDAD Y -E-BUSINESS PARA LA CREACIÓN DE VALOR EN UNA PLAZA DE MERCADO

Área temática: cadena de suministro

Yenith Cristina Ortiz González*

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo principal demostrar como el trinomio Calidad Total, Productividad y E-Business permite la creación de valor en la gestión de la cadena de suministros de ciclo cerrado en una plaza de mercado. Se encontró que el trinomio Calidad Total como estrategia de gestión integral de la organización, Productividad como indicadores de cumplimiento y E-Business como forma de mejorar el intercambio de bienes, servicios e información, lograron la creación de valor en la cadena de suministro, teniendo en cuenta las dimensiones de cliente interno, externo, productos y servicios y la tecnología. Los resultados incluyen un modelo para gestionar la Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado teniendo en cuenta la satisfacción del cliente y la eficiencia en productividad como ejes articuladores del concepto de Calidad Total.

Palabras clave:

Cadena de suministro de ciclo cerrado, calidad total, creación de valor, productividad y e-business

Abstract

The main objective of this research is to demonstrate how the Trinomial Total Quality, Productivity and E-Business, allows the creation of value in the management of the closed cycle supply chain in a market place. It was found that the Trinomial Total Quality as a comprehensive management strategy of the organization, Productivity as compliance indicators and E-Business as a way to improve the exchange of goods, services and information, achieved the creation of value in the supply chain, taking into account the dimensions of internal and external customer, products and services and technology. The results include a model for managing the Closed Cycle Supply Chain taking into account customer satisfaction, productivity efficiency as articulating axes of the Total Quality concept.

Keywords:

Closed cycle supply chain, total quality, value creation, productivity and e-business.

* Fundación Universitaria Monserrate UNIMONSERRATE. ORCID: 0000-0003-3601-6517
coordinacioninvestigacioneit@unimonserrate.edu.co – induscris@yahoo.es

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Cadena de suministro

Una cadena de suministro es el conjunto de actividades, instalaciones y medios de distribución necesarios para llevar a cabo el proceso de venta de un producto en su totalidad (Alkahtani & Kaid, 2018).

1.2 Cadena de suministros de ciclo cerrado

La Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado (CSCC) es la representación de un proceso integrado, que agrupa actividades de la cadena de suministro tradicional y de logística reversa en la búsqueda de una cadena de suministro bidireccional efectiva en costos y ambientalmente amigable. Al incorporar la logística reversa al proceso de negocios de la cadena de suministro tradicional, la CSCC, se busca cerrar el ciclo de la distribución inicial y el retorno de los productos y empaques; posteriormente, limitarla emisión de energía y generación de desperdicios que terminan contaminando el medioambiente; para finalmente, proveer un bajo costo en el suministro de productos y derivados al cliente. Esto para decir, que la Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado (CSCC) es la que integra la cadena de suministro tradicional y la de Logística inversa (Ritola et al., 2022).

El objetivo principal de la CSCC es la creación de un circuito cerrado que facilite la reincorporación constante de los materiales, productos y empaques en el proceso productivo (Ghahremani-Nahr et al., 2020). En este tipo de cadenas se ve la importancia de la redistribución de los productos y empaques recuperados en la creación de un ciclo cerrado de producción y abastecimiento (Sahebi et al., 2019). Se resalta que la CSCC hace lo mismo que la cadena de suministro tradicional (abierta), pero además, contribuye a la sustentabilidad y sostenibilidad de las futuras generaciones (Rafigh et al., 2021).

1.3 Calidad Total

La administración por Calidad Total ha sido considerada como una herramienta que va más allá de una documentación, o un simple estándar que, al principio, involucraba las características de un producto o servicio. Ahora, la Calidad ha globalizado su concepto hacia la inclusión de toda la organización, para lograr un objetivo común, la satisfacción del cliente. “Durante las décadas anteriores, la Gerencia de Calidad ha sido reconocida como un pilar para la competitividad y la rentabilidad a largo plazo” (Hasson, 2003). A lo largo del tiempo, la evolución del concepto de calidad ha sido notoria. A continuación, presentamos un breve recuento de los estudios que han contribuido a la consolidación de la perspectiva de la calidad dentro del área administrativa para empresas e industrias.

De acuerdo con Milosan (2014), el primer concepto de Administración por Calidad Total fue aportado por el norteamericano Edwards Deming en 1940, quien estableció así los principios del trabajo para el desarrollo en las industrias americanas:

- Enfoque en el mejoramiento continuo del proceso.
- Análisis y eliminación de factores no deseables en el proceso.

- Análisis del uso del producto por parte de los clientes para mejorarlo.
- Enfoque más allá del producto.

Estos cuatro puntos fueron tomados por las industrias japonesas, las cuales lideraron en los años 50 un resurgimiento de su actividad, con el compromiso de los gerentes en las estrategias orientadas hacia la calidad, enfoque en el manejo de recursos humanos, en el proceso y en la relación entre el cliente y el proveedor (Phan et al., 2011). Como resultado, Deming creó en total 14 puntos los cuales establecen los principios de mejoramiento continuo, además del uso de herramientas estadísticas como complemento a la resolución de problemas (Ebrahimi & Sadeghi, 2013).

Otros autores como Juran, Shewhart, Feigenbaum, Ishikawa y Crosby, orientaron la calidad en términos de planeación y procesos justo a tiempo, la carta de control, el concepto de control total de calidad, círculos de calidad para el mejoramiento continuo y la concepción de cero defectos, respectivamente (Ebrahimi & Sadeghi, 2013).

Años después, el concepto de Administración por Calidad Total tomó más impulso, bajo distintas opiniones en varias áreas. Hacia 1989, se mostraron algunos modelos de definición, por ejemplo, los modelos Oakland, SOHAL y de tres dimensiones. El Modelo Oakland, establecido en 1989, dirige su concepto de calidad como el compromiso de la organización desde el nivel más alto (en este caso, la gerencia) hasta el último nivel, para conocer las necesidades del cliente (Milosan, 2014) en donde la competitividad, eficiencia y flexibilidad deben ser aplicadas a toda la organización (Hasson, 2003).

El modelo SOHAL, también publicado en 1989, “sugiere que el mejoramiento de la calidad aparece del enfoque a los planes de acciones del control de calidad en varias operaciones durante el ciclo comercial” (Milosan, 2014). Sus elementos son:

- Enfoque al cliente.
- Construcción de una cultura y ambiente de calidad por parte de la administración.
- Uso de técnicas estadísticas y correlación de datos para la solución de problemas.
- Participación del personal desde la base hasta el punto máximo de la organización.
- Sistematización de resolución de problemas mediante el uso del ciclo PHVA.

El modelo diseñado por Price y Gaskill se basa en la unión de tres dimensiones, dirigidas a:

- Tamaño de productos y servicios, y el grado de satisfacción del cliente con respecto a estos.
- Relación de la satisfacción del cliente con la del personal de la organización.
- Tamaño del proceso y el grado de satisfacción del proveedor con el proceso interno, para el desarrollo de productos y servicios ofrecidos al cliente.

Por otro lado, los criterios de Baldrige han sido catalogados como uno de los puntos de partida, dentro de la evaluación e investigación de la Administración por calidad total y excelencia. Según esta

entidad, los seis criterios de valoración en una organización son liderazgo, planeación estratégica, enfoque al cliente y al mercado, análisis e información, enfoque en el recurso humano, dirección del proceso y resultados comerciales (Chong et al., 2009).

Sin importar los diferentes conceptos de la definición de calidad, es claro que, todos ellos se dirigen a un mismo punto: el mejoramiento de la organización a partir del cliente como eje central para el desarrollo de sus actividades. Aunque, para llegar al éxito es importante que el compromiso la administración, el mejoramiento continuo, la educación y el entrenamiento en calidad puedan disminuir dichas complicaciones (Al-Qudah, 2012), en la implementación de un sistema de gestión.

1.4 Productividad

De acuerdo con Rodríguez (1993), la productividad se define como la relación entre producción y recursos humanos, materiales y financieros, con el cual la organización puede dar cumplimiento a los objetivos establecidos, mejorar la calidad de productos o servicios, y generar ventajas económicas, ecológicas y sociales. Es decir, la productividad no debe entenderse como un concepto enfocado hacia la cantidad de productos o servicios, sino como la configuración de varios elementos para que dichos productos generen un valor adicional con impacto en las metas de la organización.

Para que exista un aumento en la productividad de una organización es indispensable tener en cuenta el conocimiento pleno del mercado, gestiones óptimas de innovación, infraestructura tecnológica y personal capacitado (Arraut Camargo, 2010). Como indican Forero et al. (2007), la relación entre calidad y productividad se basa en el incremento de ingresos y capital de trabajo:

- Incremento de ingresos: se tiene en cuenta el enfoque al cliente, y el diseño de productos que conlleve el aumento de ventas y de ganancias operacionales, al mismo tiempo, disminuye los reclamos por garantía.
- Capital de trabajo: al no tener reclamos por garantía se incurre en menos costos de operación, reflejándose en la disponibilidad de recursos, y en el inventario.

Adicionalmente, la innovación tanto en procesos y productos como a nivel organizacional, ha sido catalogada como uno de los elementos más importantes para el aumento de productividad de la organización, siempre y cuando las estrategias empresariales se alineen con las finalidades del sistema de gestión de calidad, con lo cual la organización podrá responder a las constantes presiones a las que se encuentra sometida por el mercado globalizado.

De forma particular, la adopción del sistema de gestión de calidad junto con el modelo TQM, según (Iyer et al., 2013) genera aumento en la tasa de variación de la productividad, debido a su alto aporte en el continuo aprendizaje de los miembros de la organización; por esta misma razón, el incremento en la productividad únicamente se puede ver reflejado a largo plazo, debido a que la aplicabilidad del modelo solo se puede llevar a cabo de manera eficaz luego del aprendizaje del mismo en la organización.

1.5 E- Business

Los aspectos relacionados con la información, el conocimiento y la nueva economía, en el contexto de la Sociedad del Conocimiento, se denominan el E-Business. El éxito de una empresa está basado en su capacidad para estructurar y sistematizar su capital intelectual más rápido que la competencia, siendo este el activo más valioso.

1.6 Cadena de valor y la creación de valor

El impacto de la calidad en la productividad de las organizaciones radica en el aumento de ingresos y del capital de trabajo al centralizar los procesos en los requerimientos del cliente y en el aumento de disponibilidad de recursos. Sin embargo, al incluir el concepto del E- Business como un nuevo modelo de gestión se podría crear una relación entre estas tres definiciones, como se observa en la figura 1.

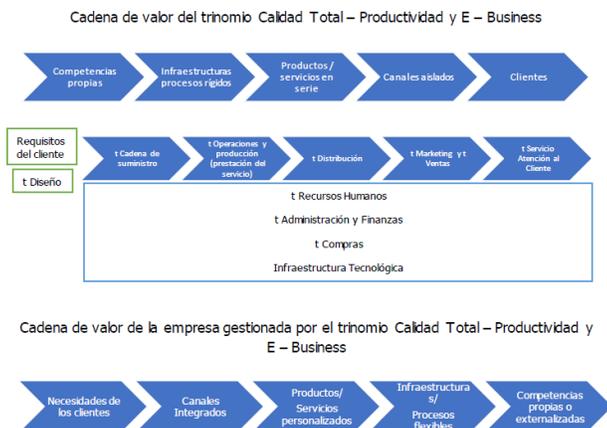


Figura 1. Cadena de valor tradicional vs. cadena de valor con el trinomio Calidad Total – Productividad y E– Business. Fuente: elaboración propia.

1.7 Relación Calidad Total, Productividad y E- Business

En la figura 2 se representa al trinomio Calidad Total, Productividad y E-Business, en función de la creación de valor.

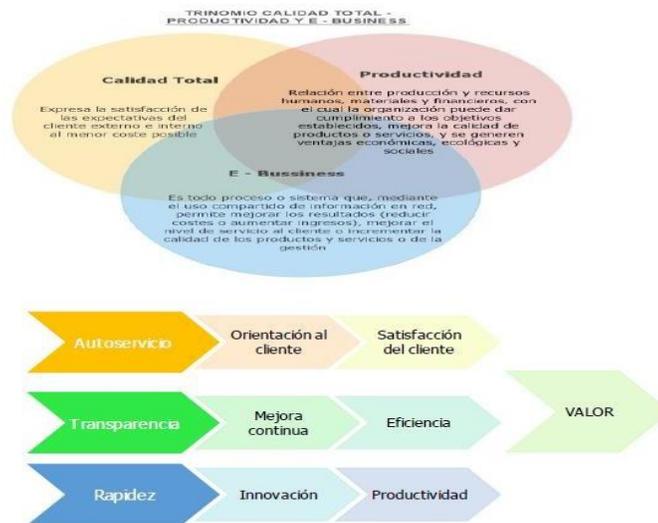


Figura 2. Relación conceptos Calidad Total, Productividad y E- Business. Fuente: elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

Es una investigación mixta debido a que se contempla un enfoque cuantitativo y cualitativo, estransversal y también será exploratoria y descriptiva. Correlacional – causal ya que intervienen diferentes variables (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Se desarrolla en dos fases. Fase 1: exploratoria y descriptiva, que comprende la recolección de la información para describir los procesos actuales y la participación de los diferentes actores. Fase 2: De estructuración, con la información de la fase 1 se estructura la red de valor de ciclo cerrado, para ello se utilizarán herramientas de logística integral.

3. RESULTADOS

Resultados fase 1. Por medio del diagnóstico se identificaron los eslabones procesos, productos y actores que constituyen la red de valor de ciclo cerrado de la plaza de mercado del municipio de Facatativá. Se clasificaron los actores y los procesos en seis eslabones de la cadena. Eslabón 1: logística de entrada y sus actores proveedores; eslabón 2: logística interna (operación) intervienen todos los actores de la plaza, es decir, los diferentes puestos de venta (venta de papa, abarrotos, verduraetc.); y eslabón 3: logística de salida transporte y distribución y sus actores clientes. Ver en la figura 3 la caracterización de los actores.



Figura 3. Caracterización de los actores. Fuente: elaboración propia.

- **Eslabón 1.** Logística de entrada. Como se muestra en las figuras 3 y 4, la producción agrícola del municipio de Facatativá se puede clasificar en dos tipos, los transitorios tales como papa R6, papa criolla, arveja maíz tecnificado, lechuga, zanahoria, cebada; y los permanentes: fresa monterrey, tomate de árbol amarillo, feijoa santa ana, durazno dorado, mora castilla, plantas aromáticas varias. Los Municipios proveedores son: Villeta, Vergara, Útica, Supatá, Sasaima, Quebrada Negra, San Francisco, Nocaima, Nimaima, La Peña, La Vega, Albán, Cachipay, Caparrapí, Anolaima, La Mesa, Guayabal, San Juan de Rioseco, Viani, Bitume.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MUNICIPIO DE FACATATIVÁ (Priorizada por los principales productos)			
	CULTIVOS	VARIEDAD	PRODUCCION TN/ANUAL
TRANSITORIOS	PAPA	R-12	10.930
	PAPA	SUPREMA	3.092
	PAPA CRIOLLA	YEMA DE HUEVO	3.384
	ARVEJA	SANTA ISABEL	3.041
	MAIZ TECNIFICADO	ICA V 508	1.328
	LECHUGA	BATAVIA	1.555
	ZANAHORIA	HIBRIDOS	1.269
	CEBADA	EXPLORER	569
PERMANENTES	FRESA	MONTERREY	16.058
	TOMATE DE ARBOL	AMARILLO	306
	FEIJOA	SANTA ANA	24
	DURAZNO	DORADO	66
	MORA	CASTILLA	10
	PLANTAS AROMATICAS	VIARIAS	11.50
			4.90

Figura 4. Caracterización de los principales productos. Fuente: elaboración propia.

- **Eslabón 2.** Logística interna. La plaza de mercado actual ocupa 11.977m² de los cuales son útiles 3.250m² un 27 % del área total.
- **Eslabón 3.** Logística de salida. La plaza de mercado está comercializando semanalmente 56 toneladas promedio de alimentos valorizados en 93 millones de pesos semanales, 396 millones mensuales (en época de pandemia).

- **Eslabón 4.** Logística de Transporte y Distribución. Se contratan camiones de municipios cercanos, las rutas no están prediseñadas.
- **Eslabón 5.** Logística Inversa. No se tiene un área de disposición final, ni se hace manejo de residuos, existe un alto volumen de desperdicios y pérdidas de alimentos.
- **Eslabón 6.** Financiero (costos). No se encontraron datos con respecto a este eslabón.

Resultados fase 2. En la figura 5 se presenta el modelo ciclo cerrado, el cual se diseñó por medio de una gráfica la posición de los actores y eslabones de la cadena. Proveedores- plaza- clientes (internos, externos).

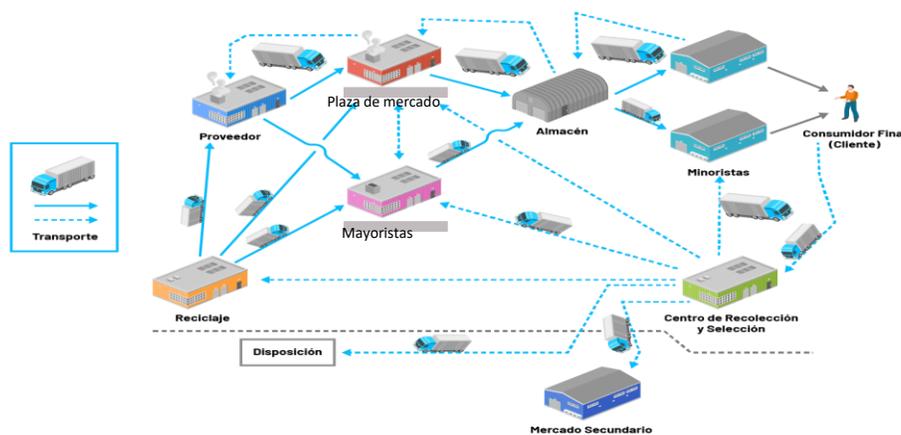


Figura 5. Caracterización de los principales productos. Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Por medio de una Cadena de Suministros de Ciclo Cerrado (CSCC) se puede lograr la implementación circuitos cortos de comercialización en los que los campesinos puedan vender sus productos sin ningún inconveniente, cumpliendo con todos los requisitos de bioseguridad.

- La caracterización de los actores permite ver con mayor claridad como cada eslabón de la cadena tradicional se alimenta del otro, hasta formar una sola cadena que disminuya costos de operación.
- Una CSCC permite generar herramientas que contribuyen a apoyar la toma de decisiones en procesos de desarrollo más sostenibles y responsables en pro de todos los actores.
- Cooperar con la Plaza de Mercado para que se proyecte como un centro de abastos para ayudar con la descongestión de la central de alimentos de Bogotá.
- La CSCC permite reconocer los actores y aportar a la sostenibilidad de los mismos.

Para futuras investigaciones proponemos implementar la Cadena de Suministros de Ciclo Cerrado (CSCC) por medio de un software.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNIMONSERRATE por apoyar la presente investigación.

REFERENCIAS

- Ahmad, M. F., Zamri, S. F., Hamid, N. A., Ahmad, A. N. A., Rahman, N. A. A., & Nawati, M. N. M. (2019). Comparative study of business excellence enablers between small and medium enterprises and multinational companies: A TQM survey result. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(1), 58–63.
- Ali, M. H., Zhan, Y., Alam, S. S., Tse, Y. K., & Tan, K. H. (2017). Food supply chain integrity: The need to go beyond certification. *Industrial Management and Data Systems*, 117(8), 1589–1611. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2016-0357>
- Alkahtani, M., & Kaid, H. (2018). Supplier selection in supply chain management: A review study. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 10(2), 107–130. <https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2018.098305>
- AL-QUDAH, K. (2012). The impact of total quality management on competitive advantage of pharmaceutical manufacturing companies in Jordan. *Perspectives of Innovations, Economics & Business*, 12(3), 59-75.
- Arraut Camargo, L. C. (2010). La gestión de calidad como innovación organizacional para la productividad en la empresa. *Revista EAN*, (69), 22-41.
- Chen, X., Chuluunsukh, A., Yun, Y., & Gen, M. (2017). Design of Closed-Loop Supply Chain Model with Efficient Operation Strategy. Proceedings of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management, 962. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59280-0_79
- Chong, S. T., Ooi, K. B., Chong, A. Y. L., & In Tan, B. (2009). TQM and competitive advantage: A review and research agenda. *International Journal of Business and Management*, 2(2), 193.
- Ebrahimi, M., & Sadeghi, M. (2013). Quality management and performance: An annotated review. *International Journal of Production Research*, 51(18), 5625-5643. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.793426>
- Forero, J. A., Arévalo, L. E., & Lozano, A. (2007). Impacto de la calidad en la rentabilidad. *Ingeniería*, 13(1), 42-50.
- Ghahremani-Nahr, J., Nozari, H., & Najafi, S. E. (2020). Design a green closed loop supply chain network by considering discount under uncertainty. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 7(3), 238–266. <https://doi.org/10.22105/JARIE.2020.251240.1198>
- Hasson, J. (2003). Total quality management. aspects of implementation and performance. investigations with a focus on small organizations. Available from Virtual Pro.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México DF: McGraw Hill.

- Milosan, I. (2014). Studies about the total quality management concept. *Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering*, 7(3), 43-46.
- Phan, A. C., Abdallah, A. B., & Matsui, Y. (2011). Quality management practices and competitive performance: Empirical evidence from Japanese manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 518-529.
<http://dx.doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.ijpe.2011.01.024>
- Rodríguez, C. (1999). *El Nuevo Escenario: la cultura de la calidad y productividad en las empresas*. México DF: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente ITESO.
- Ruiz, J., & López, C. (2004). *La gestión por calidad Total en la empresa moderna*. Mexico DF: Alfaomega grupo editor S.A. de C.V.
- Rafiqh, P., Akbari, A. A., Bidhandi, H. M., & Kashan, A. H. (2021). Sustainable closed-loop supply chain network under uncertainty: A response to the COVID-19 pandemic. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16077-6>
- Ritola, I., Krikke, H., & Caniëls, M. C. J. (2022). Learning-based dynamic capabilities in closed-loop supply chains: An expert study. *The International Journal of Logistics Management*, 33(5), 69–84. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2021-0044>
- Sahebi, I. G., Masoomi, B., Ghorbani, S., & Uslu, T. (2019). Scenario-based designing of closed-loop supply chain with uncertainty in returned products. *Decision Science Letters*, 8(4), 505–518. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2019.4.003>
- Valles Monge, L., & Máynez Guaderrama, A. (2015). Capacidades de absorción, innovación y respuesta: Su influencia en la agilidad de cadena de suministro. *Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 107–121.

LOGÍSTICA 5.0

Área temática: logística

Juan David Bobadilla*

Resumen

La pandemia del COVID-19 demostró, con sus efectos colaterales, que muchas de las organizaciones no se encontraban preparadas para cambiar de forma ágil y eficiente el flujo de sus cadenas de suministro, creando una ruptura en aproximadamente el 65 % de las líneas de suministro a nivel internacional. Tal hecho aceleró la evolución de los procesos en muchas de las organizaciones que se adaptaron de forma eficiente y eficaz para lograr soportar sus operaciones. Los métodos y prácticas que se generaron para sobrevivir ante la crisis se fueron perfeccionando para satisfacer la demanda de acuerdo con la tendencia de compra digital que registraba el 87 % de los mercados. Una realidad es que la tendencia de compra digital se sostiene y se fortalece con el tiempo, hecho que ha representado una baja en muchos sectores de la economía que aún se mantienen de forma física.

Palabras clave:

Cadena de suministros, digitalización, mercados o masivos.

Abstract

The COVID-19 pandemic demonstrated with its collateral effects that many organizations were not prepared to change the flow of their supply chains in an agile and efficient manner, creating a disruption in approximately 65% of supply lines internationally. This fact accelerated the evolution of the processes in many of the organizations that adapted efficiently and effectively to support their operations. The methods and practices that were generated to survive the crisis were perfected to meet the demand in accordance with the digital purchasing trend that 87% of the markets were registering. A reality today is that the digital purchasing trend is sustained and strengthened over time, a fact that has represented a decline in many sectors of the economy that are still physically maintained.

Keywords:

Supply chain, digitization, or mass markets.

* Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”. E-mail: Bobadillajuanda.95@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La logística ha evolucionado en los dos últimos años (post COVID-19), en la estructura de lo que se considera una cadena de suministros debido al nuevo perfil del consumidor, la flexibilidad y adaptación de sus líneas de suministro y los canales de acceso al cliente. Estos cambios generaron una brecha entre la forma de entregar la oferta por parte de las compañías y la “forma” en que el consumidor quiere acceder a la misma, en tal razón, se plantea mediante la incorporación de la cadena de demanda a la cadena de suministro tradicional mediante una metodología que permite llegar de forma masiva al consumidor y segmentarlo a través de un proceso de marketing digital para concretar la venta del producto o servicio, reduciendo los esfuerzos de venta mediante la incorporación de tecnologías de autor respuesta, generación de datos por interés de consumo y facilidad de pago en línea.

La incorporación del eslabón de cadena de demanda a la cadena de suministro permite la construcción de diferentes canales de acceso por parte del consumidor hacia la compañía, aumentando la visibilidad, posicionamiento de marca y logrando un cierre mucho más efectivo, por lo cual se propone una estrategia que impacte directamente en la incorporación de las herramientas tecnológicas que propone la logística 5.0 para hacer que los procesos se realicen administren a través de inteligencia artificial y big data.

2. MODELO DE NEGOCIO

Para incorporar las herramientas tecnológicas que propone la logística 5.0 hay un primer paso que deben dar las compañías, una revisión detallada de su modelo de negocio, la forma de acceso al cliente y la robustez de sus cadenas de suministro, enfocadas en tres pilares fundamentales. La segmentación del mercado al cual dirigen su oferta para llegar de forma clara y precisa al tipo de consumidor o cliente de interés, si bien es cierto que muchas compañías tienen portafolios amplios de productos o servicios para ofrecer al público, se requiere tomar un segmento del mercado con el cual se puedan estandarizar los procesos y generar la capacidad de respuesta de forma eficiente por parte de los stakeholders, con el fin de abrir nuevos caminos de llegada al cliente.

Cadena de suministros 5.0

La cadena de suministros 5.0 se conforma por tres principios fundamentales, debe ser resiliente, intercomunicada y medible. La resiliencia obedece al comportamiento de adaptabilidad que pueda tener frente a un cambio o ruptura en alguna de sus líneas, logrando reestablecer el flujo de los procesos para conseguir la satisfacción de la demanda, la intercomunicación es el pilar que permite el flujo correcto de los procesos y el retroceso de los mismos en caso de requerirse sin generar conflicto entre las partes, y para medir la gestión se requiere contar con una estructura digital en los procesos que permita evaluar y evidenciar en tiempo real las acciones de mejora a las que haya lugar y proyectar la demanda en determinado período de tiempo.

Cadena de demanda

La cadena de demanda se establece como el eslabón al final de la cadena de suministros que genera el flujo inicial de la misma. Se basa en la captación digital de clientes utilizando a favor la IA de las plataformas digitales y buscadores para atraer de forma masiva a los prospectos que demuestren interés en la estrategia inicial de publicidad. Esta fase se debe incorporar a una gestión o servicio del interesado para crearle deseo de compra sobre el producto o servicio, para lo cual se proponen herramientas de autor respuesta y bot's con un propósito claro y preciso, la persuasión del consumidor para acceder al producto, finalizando en una plataforma de fácil acceso de pago y con las condiciones de entrega del producto o servicio con base en la necesidad descrita del consumidor.

3. CONCLUSIONES

La automatización en el servicio permite maximizar el alcance de cierre en el lanzamiento de una campaña publicitaria, lo cual impacta positivamente en la capacidad de concretar ventas de una compañía.

Las compañías que digitalizan las cadenas de suministro tienen ventajas competitivas en su sector, ya que pueden medir sus procesos de captación de clientes, satisfacción e interacción con la compañía, generando un nivel más alto de retención y fidelización del cliente.

El consumo post pandemia se mantiene digital y su crecimiento es cada vez mayor, debido a la vertiente de la confianza en los procesos de compra en los portales. La incorporación a la tendencia de las grandes marcas, multinacionales y empresas con posicionamiento y buen nombre a lo largo de los años ha generado en el mercado un estímulo favorable para que la tendencia siga en crecimiento y los emprendedores se puedan beneficiar de la misma.

REFERENCIAS

Arco, J. A. (2021). *Logística 5.0*.

Walker, Jeff. (2019). *Launch*.

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LAS TECNOLOGÍAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO HUMANITARIA

Área temática: Logística humanitaria

Holman Ospina-Mateus*
 Jaime Acevedo-Chedid**
 Katherinne Salas-Navarro***
 Mauricio Argumedo-García****

Resumen

Este estudio presenta un análisis bibliométrico de la literatura científica relacionada con el potencial de las tecnologías dentro de las cadenas de suministro humanitarias. La información presentada en esta investigación se obtuvo con la base de datos Scopus. El estudio identificó 342 documentos después de aplicar filtros para detectar documentos duplicados y manuscritos no relacionados con el tema. Los artículos se analizaron con MS Excel y VOSviewer. La investigación ofrece una visión general del estado del arte que muestra una alta colaboración entre los autores Ramesh y Kabra, y las instituciones más relevantes fueron la Griffith Business School y la Delft University of Technology. Las revistas con más publicaciones son *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* y *Journal of Disaster Research*. Como resultado, se propone integrar la contribución significativa de tecnologías de vanguardia: Blockchain, Big-data, inteligencia artificial, impresión 3D, realidad virtual y aumentada, y redes sociales, especialmente en la fase de alivio de los desastres. Además, se logran identificar vacíos de conocimiento en investigaciones relacionadas a los desastres ocasionados por el hombre (guerras, desplazamiento forzado, terrorismo, etc.) y emergencias sanitarias (el más reciente COVID-19).

Palabras clave: cadena de suministro humanitaria, tecnologías digitales, logística humanitaria.

Abstract

This study presents a bibliometric analysis in research on technology in the humanitarian supply chain. The information presented in this research was obtained with Scopus database. The study identified 342 documents after applying filters to screen for duplicates and not related manuscripts with the topic. The articles were analyzed using MS Excel and VOSviewer. The research provides an overview of state of art showing a high collaboration between the authors Ramesh and Kabra, and the most relevant institutions were the Griffith Business School and the Delft University of Technology. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* and *Journal of Disaster Research* were the most productive journals. As a result, it proposes integrating the significant contributions of new technologies such as block-chain, big data, artificial intelligence, 3D printing, virtual and augmented reality, and social media relief phase following the disaster. In addition, knowledge gaps are identified in research related to man-made disasters (wars, forced displacement, terrorism, etc.) and health emergencies (the most recent COVID-19).

Keywords: Humanitarian supply chain, digital technologies, humanitarian logistics.

* Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia. E-mail: hospina@utb.edu.co

** Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia.

*** Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.

**** Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis bibliométrico es una técnica de investigación validada en múltiples campos como los negocios, nuevas tecnologías, elección pública o la infometría (Wagner et al., 2011). En este estudio, la bibliometría fue aplicada en el campo de las tecnologías en la cadena de suministro humanitaria, con el objetivo de conocer las publicaciones sobresalientes, contextualizar su evolución y los estudios que se llevan a cabo en la actualidad.

Por ejemplo, según las estadísticas disponibles, en promedio 60.000 personas mueren cada año como resultado de desastres naturales, que corresponden al 0,1 % de las muertes en todo el mundo (Hannah & Max, 2020). La cadena de suministro humanitaria participa en todas las actividades relacionadas con la preparación y gestión de los recursos necesarios (p. ej., material, información y financieros) durante alivios de desastres naturales. Los actores surgen de diversas organizaciones (organizaciones privadas, agencias y organizaciones no gubernamentales) que, a través de la colaboración y cooperación, juegan un papel crítico para asegurar el éxito de las operaciones de socorro (Abdi et al., 2013).

Es característico de este siglo la alta frecuencia e intensidad de fenómenos naturales como huracanes, sequías, inundaciones, tsunamis, etc., los cuales, de una u otra forma, se relacionan con el cambio climático. Asimismo, el planeta se ve inmerso en conflictos armados, guerras, terrorismo, etc., los cuales se han transformado como efecto de factores exógenos y endógenos. Encontrándose entonces, todos los continentes enfrentados a alguna de estas emergencias humanitarias, con millones de víctimas como resultado, quienes quedan a merced de socorro, convirtiéndose en asuntos de importancia internacional (Leiras et al., 2014). En este sentido, la logística humanitaria es un concepto moderno que tiene sus inicios en la necesidad de poder obtener los recursos adecuados en zonas que han sido afectadas por desastres naturales, o situaciones de orden público. Estos recursos deben permitirle a la población afectada que puedan prolongar, por un tiempo, los medios necesarios o útiles para su existencia y desarrollo, y asimismo, que estos recursos logren que la población afectada pueda tener una vida digna y segura.

Entendiendo los factores que existen hoy en día frente a los desastres y reconociendo la importancia de las tecnologías en las cadenas de suministros humanitarias, se determina la necesidad de realizar una investigación en la que se recopilen estudios y publicaciones acerca de la cadena suministros humanitaria enfocada en el potencial de las tecnologías, a través de un análisis bibliométrico, y de esta manera establecer cuáles son los autores, institutos, artículos, países, regiones e investigaciones futuras más importantes en el desarrollo de dicha temática.

2. METODO

El análisis de esta bibliometría se basa en la literatura registrada en la base de datos de Scopus (www.scopus.com). La razón por la que se elige esta base de datos se debe a que Scopus es la base de datos de citas y resumen más grande de literaturas con evaluación de pares, artículos científicos, libros y conferencias (Elsevier, 2019). Adicionalmente Scopus tiene la literatura y los datos científicos

completos que permiten resolver preguntas como: ¿Cuáles son las últimas áreas de investigación? ¿Quiénes son los principales expertos? ¿Está descubriendo toda la amplitud de la investigación de vanguardia? (Elsevier, 2019).

Para la primera etapa de la búsqueda los términos utilizados de manera primaria fueron “Humanitarian Supply Chain” y “Technologies” los cuales se ingresaron en la base de datos de Scopus para obtener una primera lista de trabajos. Con estos resultados se identificaron palabras claves de cada término como se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1. Lista de términos utilizados en la búsqueda de la literatura.

<i>Grupos</i>	<i>Búsqueda de términos</i>
Humanitarian Supply Chain	“Humanitarian Supply Chain”, “Humanitarian Supply Chain Management”, “Humanitarian Logistics”, “Humanitarian Logistic”, “Humanitarian Logistics Management”, “Humanitarian Inventory management”, “Humanitarian Relief logistics”, “Humanitarian Operations”, “HSCM”, “Emergency Operations”, “Disaster relief operations”, “Disaster operations”
Technologies	“Technologies”, “Technology”, “Disruptive Technologies”, “Disruptive Technology”, “Digital Technologies”, “Digital Technology”, “humanitarian aid networks”, “Digital”, “Technology Adoption”, “Technologies Adoption”

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se definió una nueva ecuación de búsqueda (i.e., Ecuación de Búsqueda). La estrategia combinó ambas categorías con el operador booleano “AND” y entre categorías con “OR”. La investigación permitió artículos científicos, libros, reportes, capítulos de libro y conferencias. El tiempo del año de la búsqueda se deja abierto y no se limita a un periodo específico. Cabe resaltar que, si la misma estrategia de búsqueda se realiza en una fecha diferente, es posible que los resultados difieran ligeramente. Estas diferencias se explican por la continua actualización de las bases de datos, también de manera retrospectiva, lo que puede generar cambios menores a lo largo del tiempo (Liu, Zhan et al. 2013). Finalmente, se realiza un refinamiento de publicaciones, identificando aquellos artículos que no tienen ninguna relación con la temática, tal cual se ilustra en la figura 1.

Con el ingreso de la ecuación referenciada en la tabla 2 se obtuvieron 569 publicaciones, las cuales se sometieron a varios criterios de exclusión para refinar la información. En el primer filtro de exclusión se identificaron todos los artículos duplicados, el resultado de este primer filtro fueron cinco artículos rechazados por duplicidad. Posteriormente se identificaron los artículos sin relación a la temática, el resultado de este segundo filtro fueron 222 artículos. El resultado del número de publicaciones como objeto de estudio de la presente bibliometría fueron 342 artículos publicadas entre 1983 y 2021. Todo el tipo de búsqueda arrojada fue incluida en el análisis sin ninguna excepción. En la figura 1 se sintetiza el proceso de búsqueda y refinamiento de la información relacionada con la temática descargada desde Scopus. De acuerdo con el tipo de documento, la mayoría son conference paper y conference

review (Conference=165); seguido de 146 artículos que investigan sobre la temática. Los otros tipos de documentos son libros y capítulos de libros.

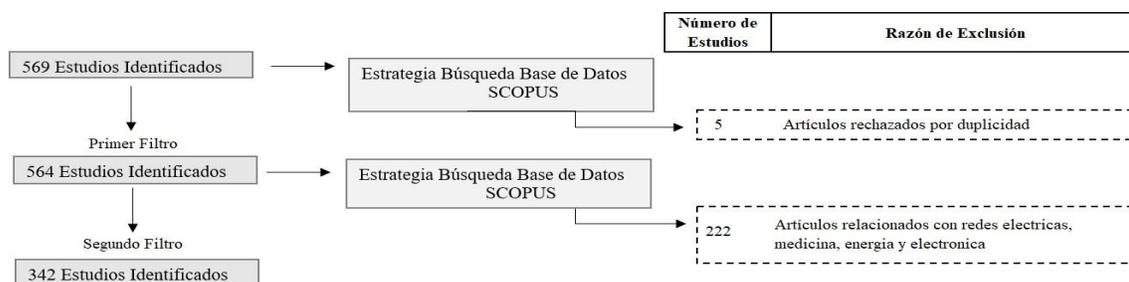


Figura 1. Proceso selección de artículos por inclusión. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resumen de la metodología

Unidad de análisis	Artículos, libros y conferencias relevantes que el contenido estuviera relacionado entre “Humanitarian Supply Chain” y Technologies
Tipo de análisis	Cualitativo y cuantitativo
Periodo de análisis	Sin limite
Base de datos	Scopus
Ecuación de Búsqueda	“Humanitarian Supply Chain” OR “Humanitarian Supply Chain Management” OR “Humanitarian Logistics” OR “Humanitarian Logistic” OR “Humanitarian Logistics Management” OR “Humanitarian Inventory management” OR “Humanitarian relief logistics” OR “Humanitarian Operations” OR “HSCM” OR “Emergency Operations” OR “disaster relief operations” OR “Disaster operations” AND “Technologies” OR “Technology” OR “Disruptive Technologies” OR “Disruptive Technology” OR “Digital Technologies” OR “Digital Technology” OR “humanitarian aid networks” OR “digital” OR “technology adoption” OR “technologies adoption”
Total de publicaciones evaluadas	342

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2 se describen las variables de la metodología utilizada: unidad de medida, tipo de análisis (cualitativo y cuantitativo), período de análisis (sin límite), base de datos (Scopus) y ecuación de búsqueda. Las publicaciones halladas en Scopus utilizando esta metodología contienen información que incluyen fecha de publicación, autores, afiliación, título, resumen, journal, palabras claves, entre otros aspectos claves que fueron administrados en Excel. Dentro del análisis de red se incluyó la aplicación del software VOSviewer (Van Eck & Waltman, 2010; van Eck, Waltman et al., 2010) utilizado para identificar las relaciones entre autores, países, co-citaciones y términos. Este análisis de la información permite identificar en un mapa la concurrencia y distancia-relación entre aspectos. La interpretación de los mapas se basa considerando los colores (Clúster), tamaños y las distancias de los términos que son evaluados.

3. RESULTADOS

Con este análisis bibliométrico se analizaron los siguientes aspectos: (1) producción científica y tendencias, (2) autores y sus operaciones, (3) journals de publicación, (4) distribución geográfica y distribución de instituciones en cooperación, (5) análisis de citas, (6) análisis en citas y co-citas (redes), (7) categorías temáticas y (8) análisis de términos.

3.1. Producción científica y tendencias

Como se observa en la figura 2, la primera publicación se realizó en 1983; hasta 2004 solo existían 27 publicaciones en la temática, es decir, 2.3 publicaciones promedio por año. El número de publicaciones comenzó a aumentar a partir de 2005, un año después del terremoto del Océano Índico que devastó las costas del sureste asiático a países como Indonesia, Sri Lanka, India, Tailandia y Malasia. En 2006 con la llegada del Huracán Katrina (2005) también se observa un leve crecimiento en el número de artículos publicados. Otro desastre natural generado en 2010 y 2011 (terremoto de Haití y tsunami de Japón) generaron el mismo efecto de crecimiento (“pico”) para el año 2012, con 22 publicaciones, el máximo número de publicaciones/año alcanzado hasta ese momento. Entre 2005 y 2012 es donde se genera el crecimiento exponencial en número de publicaciones de la temática. Se realizó un análisis de pronóstico con respecto a las tendencias de publicación en la temática con la herramienta de Excel y se determinó que las proyecciones llevan a la temática en los próximos 5 años a tener una tasa de publicación anual de 30 artículos. Lo que equivale a 491 publicaciones totales acumuladas en la historia de la temática hasta 2025.

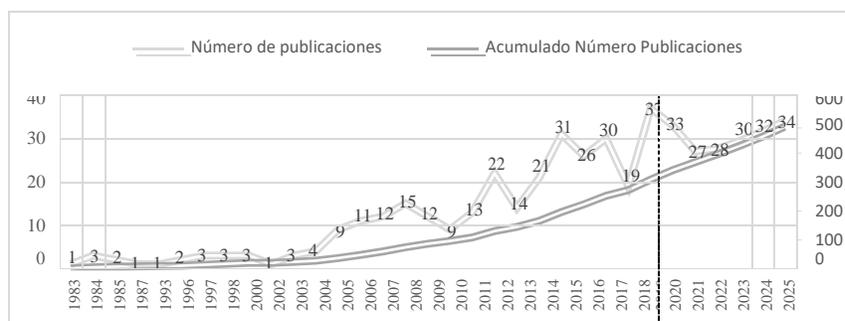


Figura 2. Número de publicaciones por año de la temática y pronóstico al año 2025. Fuente: Scopus (2020).

3.2 Autores y sus cooperaciones

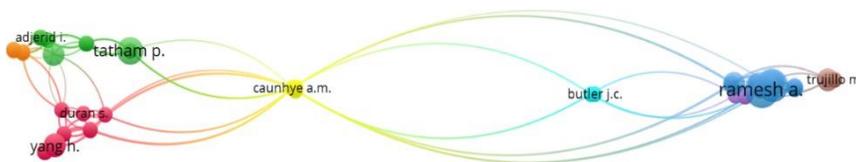
Las 342 publicaciones fueron escritas por un total de 1035 autores diferentes. Estos resultados evidencian la consistencia con los hallazgos en otras investigaciones (Liu, Zhan et al. 2012), donde un selecto grupo de autores productivo contribuyen de forma significativa sobre un tema específico. La tabla 3 muestra el Top-3 de los autores más productivos en publicaciones en la temática.

Tabla 3. Top-3 de los autores más productivos publicando en la temática.

No	Autor	País del autor	Número de publicaciones	Total citaciones	Promedio citación por publicación	Número de publicaciones como primer autor
1	Ramesh A.	India	6	99	16,5	0
2	Kabra G., Tatham P.	India/Australia	5	87/57	17,4/11,4	5/5
3	Amditis A., Cai G., Casoni M., Chang C.-L.	Grecia/ Estados Unidos/ Italia/Taiwán	2	89/94/110/11	44,5/47/55/5,5	0/0/0/1

Fuente: Scopus (2020).

La red de cooperación entre autores se obtuvo utilizando del software VOSviewer y el resultado se muestra en la figura 3. Las conexiones curvadas representan la cooperación entre los autores y las escalas de colores muestran los grupos de colaboración. Según este resultado podríamos decir que Caunhye es el autor que muestra mayor cooperación con el resto de los autores. Ramesh y Kabra muestran una cooperación fuerte, por la afinidad en las temáticas de investigación (Logística humanitaria, alivio de desastres, ubicación y asignación) y el país de afiliación (India). Tatham y Adjerid muestran una estrecha relación de cooperación, al igual que Yang y Duran.

**Figura 3.** Red de cooperación entre los autores de la temática. Fuente: VOSviewer (2020).

3.3. Revistas de publicación en la temática

Un total de 342 investigaciones fueron publicadas en 123 journals diferentes. El alto número indican el interés por la temática de revistas con un SJR-2019 y H-Index-2019 con la relevancia que se relaciona en la tabla 4. La Tabla 4 brinda información del top-5 de las revistas más activas que publican en la temática. Los Journals más importantes en el campo son: *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* con 15 publicaciones en el tema. Seguido de *Journal of Disaster Researchy Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering* con 6 publicaciones cada uno en la temática. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* fue una revista que se creó para publicar artículos relacionados con “Todos los aspectos de la logística humanitaria y la gestión de la cadena de suministro” lo que la catapultó como la revista más importante en el número de publicaciones de la temática. Recientemente (2020) fue la ganadora de los premios Emerald Literati Awards, como reconocimiento de las contribuciones al conocimiento científico.

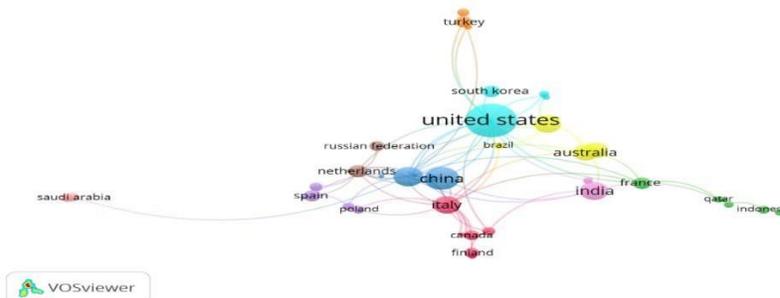
Tabla 4. Top-5 de los journal más activos en la temática

Nº	Artículo	Número de publicaciones	SJR	H index
1	Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management	15	0,894	21
2	Journal Of Disaster Research / Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering	6	0,332/ 0,215	15/162
3	Procedia Engineering	5	0,316	63
4	Geo Information for Disaster Management	2	0,655	35

Fuente: Scopus (2020).

3.4. Distribución geográfica

Las publicaciones en la temática son originarias de 51 países diferentes. Del total de países, 21 están localizadas en Europa, 20 en Asia, 5 en África, 5 en América y 1 en Oceanía. El país con mayores publicaciones en la temática es Estados Unidos, seguido por China, Alemania e India. Los países con desarrollo económico parecen contribuir a la inversión científica y académica. Si se relaciona los siete países más industrializados del mundo (G7: EE. UU., Japón, Italia, Alemania, Reino Unido, Canadá y Francia) están catalogados entre las primeras diez países más productivos en publicaciones sobre tecnologías de la cadena de suministro humanitaria. En la figura 4 se evidencia la red de cooperación (coautoría) entre países y regiones para las investigaciones. El análisis se desarrolló por medio de la herramienta VOSviewer.

**Figura 4.** Red de Cooperación entre países y territorios en la temática. Fuente: VOSviewer (2020).

3.5. Instituciones

248 instituciones de investigación participaron en 273 publicaciones. Del top de publicaciones los países más recurrentes son Australia, Países Bajos, Reino Unido, Italia, Alemania, India, Estados Unidos, los cuales se encuentran en el top 10 de los países con más publicaciones en la temática. La universidad Griffith Business School de Australia, con cinco publicaciones es la que más publicaciones ha realizado en la temática. La mayoría de las instituciones son Universidades, pero también se evidencia la presencia de centros de estudios como: National Science and Technology Center for Disaster Reduction, entre otros datos interesantes de instituciones participantes por países.

3.6. Análisis de citas

En total, las 342 publicaciones fueron utilizadas 4839 veces como referencias en otras publicaciones. El promedio de citación por publicación es 14,14. En la tabla 5 se relacionan las diez publicaciones más citadas a la fecha del estudio.

Tabla 5. Top-10 de las publicaciones con mayores citaciones en la temática

Nº	Título	Autor(s) (año)	País	Institución	Journal SJR(2019)- SNIP(2019)	Veces citado	Promedio citación anual	Tema principal
1	Automated Planning: Theory and Practice	Ghallab M., Nau D., Traverso P. (2004)	Francia	Instituto LAAS- CNRS, Toulouse	Book	1502	94	Planificación de tareas (robótica), Panificación Tecnológica para emergencias
2	Optimization models in emergency logistics: A literature review	Caunhye A.M., Nie X., Pokharel S. (2012)	Japón	Nanyang Technological University	Ciencias de la planificación socioeconómica (1.318-2.218)	445	56	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación-Asignación
3	Pre-positioning of emergency items for CARE international	Duran S., Gutierrez M., Keskinocak P. (2011)	Turquía	Middle East Technical University	Interfaces (0.609-0.619)	186	21	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación-Asignación
4	Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistic	Özdamar L., Ertem M.A. (2015)	Turquía	Yeditepe University	European Journal of Operations Research (0.618 -0.715)	180	36	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación-Asignación
5	Developing supply chains in disaster relief operations through cross-sector socially oriented collaborations: A theoretical model	Maon F., Lindgreen A., Vanhamme J. (2009)	Bélgica	Université catholique de Louvain	Supply chain management (1.676-2.158)	125	11	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación-Asignación
6	A decade of supply chain collaboration and directions for future research	Soosay C.A., Hyland P. (2015)	Australia	University of South Australia Business School	Supply Chain Management (1.676-2.158)	106	21	Colaboración en la cadena de suministro, gestión de transporte; inventario de

N°	Título	Autor(s) (año)	País	Institución	Journal SJR(2019)- SNIP(2019)	Veces citado	Promedio citación anual	Tema principal
								proveedor administrado
7	Speech-gesture driven multimodal interfaces for Crisis Management	Sharma R., Yeasin M., Krahnstoever N., Rauschert I., Cai G., Brewer I., MacEachren A., Sengupta K.(2003)	Estados Unidos	State College	Proceedings of the IEEE (2.329-5.334)	80	5	Interacción multimodal, interfaces de lenguaje natural, hablar en público
8	Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response	Mendonça D., Beroggi G.E.G., van Gent D., Wallace W.A. (2006)	Estados Unidos	Instituto de Tecnología de Nueva Jersey	Safety Science (1.241-2.589)	65	5	Manejo de crisis; servicio contra incendios
9	Improving humanitarian operations through technology- enabled collaboration	Ergun O., Gui L., Heier Stamm J.L., Keskinocak P., Swann J. (2014)	Estados Unidos	Georgia Institute of Technology	Producción y Gestión de Operaciones (2.843-1.950)	57	10	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación- Asignación
10	Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistic centre management	Yang H., Yang L., Yang S.-H. (2011)	Reino Unido	Loughborough University	Journal of Network and Computer Applications (1.389-3.154)	55	6	Logística humanitaria, ayuda en caso de desastre, ubicación- Asignación

Fuente: Scopus (2020).

3.7. Análisis citando y co-citando

De acuerdo con el contenido bibliográfico para el total de los artículos fueron usadas 8799 referencias, lo que equivale a un promedio de 26 referencias por artículo. En la figura 5 se muestra la red de relacionamiento entre co-citaciones, con el fin de cuantificar la relación o vínculo entre publicaciones. El análisis de co-citación podría ayudar a determinar la afinidad entre publicaciones, dado que se han citado juntas (Li & Hale, 2015).

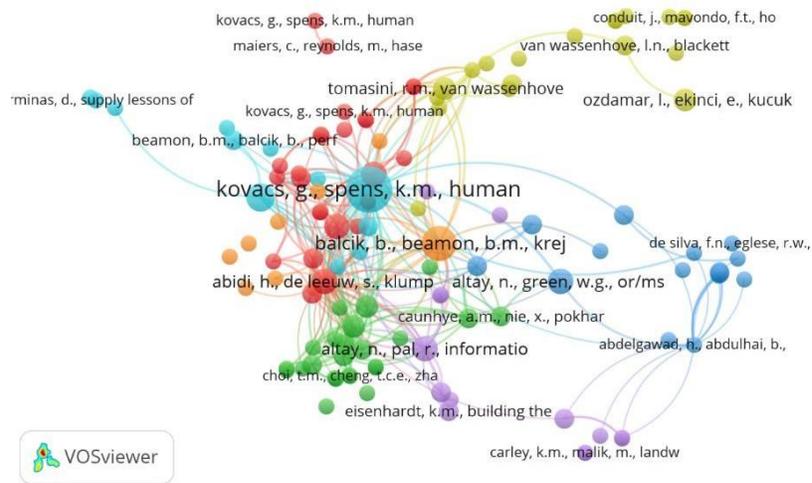


Figure 5. Análisis de co-citaciones más frecuentes en la temática. Fuente: Scopus (2020).

3.8. Sub-Temática

La categoría Ingeniería es el área que investiga mayormente sobre la temática con un 33,5 % de las publicaciones, seguido por la ciencia de la computación con 26,9%. Es importante resaltar que una publicación puede estar relacionada en más de una categoría temática. Los avances tecnológicos y el crecimiento de las sociedades hacen que el área de la ingeniería y ciencias computacionales tengan ventajas competitivas debido a la multifuncionalidad de su contenido, esto le abre las puertas para interactuar en cualquier ámbito pudiendo brindar el entendimiento del problema con la identificación de causas raíces (ingeniería) y la solución tecnológica (Ciencias computacionales) para finalmente encontrar la correlación de estas sub-temáticas para el objeto de estudio de la presente bibliometría.

3.9. Análisis de términos

Se seleccionaron 231 términos para incluir en la red, los cuales se presentan en la figura 6. La figura 6 destaca las palabras claves más utilizadas por los autores en sus publicaciones. Las tres palabras con mayor número de ocurrencias son Disaster, Humanitarian Logistics, Human. Esto ilustra la importancia de la logística en el contexto de la cadena de suministro humanitaria. De hecho, la logística representa alrededor del 80 % de operaciones de socorro en casos de desastre (Van Wassenhove, 2006). Todas las palabras que ocuparon las tres primeras posiciones pueden ilustrar los desafíos que enfrentan ahora organizaciones humanitarias. De hecho, no solo se espera que trabajen duro para asegurar la financiación de los donantes, pero también deben desarrollar modelos, marcos y estrategias tecnológicas que permitirán optimizar sus operaciones y recursos para llegar a todos aquellos con necesidades en varios campos de desastres en el mundo.

Humanitarian” extraídos de la base de datos Scopus. Este análisis se basa en una muestra de 342 artículos los cuales permitieron identificar las tendencias de investigación globales de la temática desde el año 1983 al 2020 con el pronóstico al 2025. La dinámica de la investigación sobre este tema en términos cronológicos está creciendo, con un aumento considerable en los últimos ocho años, especialmente en 2019 donde se presentó el mayor número de publicaciones. El área científica líder es la ingeniería. El *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* se considera como la revista más enfocada en la temática. La institución más importante que contribuye al campo por el número de documentos es Griffith Business School.

Algunos aspectos relevantes dentro del estudio bibliométrico:

- El tsunami en el Océano Índico (2004), el terremoto de Haití (2010), el tsunami de Japón (2011) y el huracán Katrina han aumentado la preocupación de los gobiernos, comunidades, instituciones y centros de investigación en materia de atención (logística humanitaria), prevención y mitigación de los desastres naturales.
- Los autores más influyentes con sus publicaciones en la temática son Ramesh A., Kabra G. Tatham P., de India y Australia respectivamente.
- Ramesh A., Kabra C., Tatham P., muestran una cooperación fuerte por las temáticas de investigación: logística humanitaria, alivio de desastres, ubicación y asignación gestión de la cadena de suministro, logística, investigación de gestión, impresoras 3D, piezas de repuesto, tecnología de fabricación.
- El año 2019 fue el de mayor cantidad de publicaciones en la temática con 37 artículos.
- El artículo más citado es el de Ghallab M., Nau D., Traverso P. (2004).
- Los Estados Unidos y China son los países y territorios dominantes en el desarrollo de las publicaciones.
- Las universidades líderes son Griffith Business School (Australia), Delft University of Technology (Países Bajos), Loughborough University (Reino Unido).
- Los primeros enfoques sobre tecnologías en la cadena de suministro corresponden a “comunicación”, “análisis del riesgo” y “gestión y administración de recursos”.
- La pandemia que afronta actualmente la población de todos los países del mundo (COVID) genera un campo de estudio muy importante por explorar y aportar al conocimiento en el desarrollo de las tecnologías para atender la emergencia.

Dado que este campo de estudio es un tema de alto interés para gobiernos, comunidades y organizaciones de ayuda humanitaria, esta situación plantea un importante reto para los investigadores de otros países con poca actividad investigativa en dicho campo. Adicionalmente, aunque ha habido varios intentos en los últimos años de integrar algún tipo de los sistemas de información en los modelos de logística humanitaria, el uso de la tecnología aún no es frecuente en la logística humanitaria. Considerando la contribución significativa de tecnologías de vanguardia como blockchain

(Baharmand, Viene 2019), big data (Dubey et al., 2019; Papadopoulos et al., 2017), inteligencia artificial (Sahebjamnia et al., 2017), impresión 3D y las redes sociales, aumentar el número de estudios de estas tecnologías aplicados a la logística humanitaria serían un aporte muy importante. Por ejemplo, los estudios futuros deben explorar cómo estas tecnologías podrían mejorar todas las fases del alivio del desastre. Más precisamente, explorar cómo las redes sociales (por ejemplo, Twitter, Facebook, Instagram), big data, impresión 3D, blockchain, inteligencia artificial, realidad virtual, robots y drones podrían usarse en toda la gestión de desastres. De hecho, las herramientas de redes sociales han sido exitosas utilizándolas en varias etapas de la cadena de suministro humanitaria (Landwehr et al., 2016; Bhuvana & Arul Ara 2019; Pourebrahim et al., 2019; Shan et al., 2019; Sarma et al., 2020; Wu & Cui, 2018; Zhang et al., 2019; Papadopoulos et al., 2017). Por ejemplo, Twitter se ha utilizado eficazmente para respaldar la planificación de desastres y alertas tempranas (Landwehr et al., 2016) y se han utilizado mapas de desastres de Facebook para estimar la demanda en operaciones de socorro de emergencia (Sarma et al., 2020). Otra oportunidad de investigación futura incluye la exploración de desafíos y beneficios clave relacionados con la integración de datos de redes sociales en varios sistemas de información a nivel local, los niveles de gobierno regional y nacional en las regiones afectadas para mejorar las actividades de HSC (Akter & Wamba 2019), así como los datos operativos e históricos o los llamados big data para mejorar procesos de toma de decisiones; el big data ha sido reconocido como un herramienta esencial para explicar la gestión de desastres para la sostenibilidad (Papadopoulos et al. 2017), y mejorar la confianza y el desempeño colaborativo entre las partes interesadas clave involucradas en operaciones de socorro en casos de desastre (Dubey et al., 2019).

Los estudios futuros también deberían explorar cómo el uso de drones para evaluar visualmente (Maghazei & Netland, 2018) las regiones afectadas por desastres, incluidas las áreas sin litoral, podrían mejorar la gestión sobre los desastres de operaciones de socorro, fomentar la entrega de ayudas y facilitar la búsqueda y el rescate. Además, las próximas investigaciones deberían investigar cómo se podría confiar en tecnologías como la impresión 3D para producir productos de socorro vitales, generar componentes para refugios y piezas que pueden utilizarse para reparar infraestructuras críticas (Rodríguez-Espíndola & Beltagui, 2018). De hecho, la literatura emergente sobre el uso de la impresión 3D en las fases de HSC han demostrado su capacidad para crear elementos de socorro, incluidos elementos para el acceso al agua saneamiento, salud, gestión de campamentos, refugio y nutrición (Savonen et al., 2018). Además, los investigadores deberían considerar explorar cómo podría mejorar el uso de robots para operaciones de socorro en casos de desastre (Chauhan et al., 2019).

El estudio también muestra que países desarrollados (Estados Unidos, China, Japón, Alemania) son los más relevantes en materia de investigación para la temática publicadas en la base de datos de Scopus. Las regiones más propensas a los desastres y de países menos desarrollados deberían aparecer en esta lista. En particular es notorio el rezago en países latinoamericanos y africanos, aunque esta situación también se presenta en buena parte de los países europeos y Asia. Las instituciones que evolucionan en tales circunstancias tendrán el privilegio de tener acceso a las áreas de desastre para seguir fortaleciendo su capacidad investigativa en el tema. Mayor colaboración con

instituciones locales podría mejorar la gestión para la implementación de estas tecnologías y debe considerarse en estudios futuros. Los estudios futuros deberían ampliar el alcance de este estudio y mejorar sus hallazgos al recopilar más datos de otras fuentes, incluidas otras bases de datos de renombre como: Business Source Premier, Science Citation Index, Social Science Citation y WoS.

También existe escasez de estudios en desastres de ocurrencia lenta, provocados por el hombre (guerras, desplazamiento forzado, terrorismo, etc.) y emergencias sanitarias (el más reciente COVID- 19). Desde el punto de vista de los factores situacionales, el estudio de la perspectiva ambiental presenta un rezago notorio en el campo de estudio.

REFERENCIAS

- Abdi, H., Klimpp, M., & De Leeuw, S. (2013). Measuring success in humanitarian supply chains. *International Journal of Business and Management Invention*, 2(8), 31–39.
- Baharmand, H., & Comes, T. (2019). Leveraging partnerships with logistics service providers in humanitarian supply chains by blockchain-based smart contracts. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 12–17.
- Bhuvana, N., & Arul Aram, I. (2019). Facebook and WhatsApp as disaster management tools during the Chennai (India) floods of 2015. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101135.
- Chauhan, C., Sharma, A., & Singh, A. (2019). An SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0310>
- Dubey, R., Altay, N. & Blome, C. (2019). Swift trust and commitment: The missing links for humanitarian supply chain coordination? *Annals of Operations Research*, 283(1), 159–77.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Roubaud, D., et al. (2019). Big data analytics and organizational culture as complements to swift trust and collaborative performance in the humanitarian supply chain. *International Journal of Production Economics*, 210, 120–136.
- Elsevier (2019). Available online at: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus> (last access, 8 March 2019).
- Hannah, R. & Max, R. (2020). Natural disasters. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/natural-disasters>.
- Landwehr, P. M., Wei, W., Kowalchuck, M., & Carley, K. M. (2016). Using tweets to support disaster planning, warning and response. *Safety Science*, 90, 33–47.
- Leiras, A., de Brito, I., Queiroz Peres, E., Rejane Bertazzo, T., & Yoshida Yoshizaki, H.T. (2014). Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 4(1), 95-130. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2012-0008>

- Li, J., & Hale, A. (2016). Output distributions and topic maps of safety related journals. *Safety Science*, 82, 236-244.
- Liu, X., F. B. Zhan, S. Hong, B. Niu and Y. Liu (2012). A bibliometric study of earthquake research: 1900–2010. *Scientometrics*, 92(3), 747-765.
- Liu, X., F. B. Zhan, S. Hong, B. Niu and Y. Liu (2013). Replies to comments on “a bibliometric study of earthquake research: 1900–2010”. *Scientometrics*, 96(3), 933-936.
- Maghazei, O., & Netland, T. H. (2018). Exploring the potential applications of drones in the petrochemical industry. In Proceedings of the 2018 Annual EurOMA Conference, Budapest, Hungary.
- Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, S. (2017). The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1108–1118.
- Pourebrahim, N., Sultana, S., Edwards, J., Gochanour, A., & Mohanty, S. (2019). Understanding communication dynamics on Twitter during natural disasters: A case study of Hurricane Sandy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101176.
- Rodríguez-Espíndola, O., & Beltagui, A. (2018). Can 3D Printing address operations challenges in Disaster Management? In Proceedings of the 2018 Annual EurOMA Conference, Budapest, Hungary.
- Sahebjamnia, N., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2017). A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains. *Decision Support Systems*, 95, 12–26.
- Sarma, D., Das, A., & Bera, U. K. (2020). Uncertain demand estimation with optimization of time and cost using Facebook disaster map in emergency relief operation. *Applied Soft Computing*, 87, 105992
- Savonen, B., Mahan, T., Curtis, M., Schreier, J., Gershenson, J., & Pearce, J. (2018). Development of a resilient 3-D printer for humanitarian crisis response. *Technologies*, 6(1), 30.
- Shan, S., Zhao, F., Wei, Y., & Liu, M. (2019). Disaster management 2.0: A real-time disaster damage assessment model based on mobile social media data—A case study of Weibo (Chinese Twitter). *Safety Science*, 115, 393–413.
- Van Eck, N. J. and L. Waltman (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2): 523-538.
- Van Eck, N. J., L. Waltman, R. Dekker and J. van den Berg (2010). A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 61(12): 2405-2416.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489.

- Wagner, C., Roessner, D., Bobb, K., Thompson Klein, J., Boyack, K., Keyton, J., Rafols, I., & Börner, K. (2011). Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research. *A review of the literature. Journal of Informetrics*, 5(1), 14-26.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.06.004>
- Wu, D., & Cui, Y. (2018). Disaster early warning and damage assessment analysis using social media data and geo-location information. *Decision Support Systems*, 111, 48–59

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD EDUCATIVA BAJO UN ENFOQUE SEIS SIGMA EN LOS PROGRAMAS DE INGENIERÍA EN COLOMBIA

Área temática: planeación y calidad

Rohemi Zuluaga-Ortiz*
Juan Lora-Jiménez**

Resumen

En esta investigación se utiliza el enfoque Seis Sigma como herramienta para la gestión educativa con el propósito de clasificar, evaluar y analizar el sistema educativo con dos aproximaciones: las universidades y los programas académicos. Esta investigación tiene en cuenta únicamente los resultados académicos de las evaluaciones estandarizadas nacionales en Colombia (SABER PRO). La metodología aplicada permitió un análisis cuantitativo, a través de la utilización de las dimensiones de calidad propuestas para este estudio (competencias académicas) y la relación con las métricas de la herramienta Seis Sigma. Los resultados muestran la pertinencia que existe de combinar y estructurar conceptos de calidad educativa con las métricas de Seis Sigma, permitiendo diseñar un estándar del desempeño de las universidades para el mejoramiento de la calidad del sistema educativo. Se concluye que la calidad del sector educativo presenta un desempeño aceptable, teniendo en cuenta su nivel sigma y su rendimiento (2,17 y 75 %).

Palabras clave:

Seis Sigma, educación superior, análisis de aprendizaje, mejoramiento continuo, calidad.

Abstract

In this research, the Six Sigma approach is used as a tool for educational management with the purpose of classifying, evaluating and analyzing the educational system with two approaches: universities and academic programs. This research takes into account only the academic results of the national standardized evaluations in Colombia (SABER PRO). The methodology applied allowed a quantitative analysis, through the use of the quality dimensions proposed for this study (academic competencies) and the relationship with the metrics of the Six Sigma tool. The results show the pertinence of combining and structuring concepts of educational quality with the metrics of Six Sigma, allowing the design of a performance standard of the universities for the improvement of the quality of the educational system. It is concluded that the quality of the educational system presents an acceptable performance, taking into account its sigma level and its performance (2.17 and 75 %).

Keywords:

Six Sigma, higher education, learning analytics, continuous improvement, quality.

* Facultad de Ingenierías, Universidad del Sinú. E-mail: rohemi.zuluaga@unisinu.edu.co.

** Facultad de Ingenierías, Escuela Naval "Almirante Padilla". E-mail: juancarloslj@hotmail.com.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la presión competitiva en las industrias de bienes y servicios obliga a buscar constantemente nuevas formas de mejorar su desempeño, ser competitivos y, por ende, sostenerse en el largo plazo (Cardiel-Ortega et al., 2017; Costa et al., 2020, 2021; Gastelum-Acosta et al., 2018). Esto desencadena varios requerimientos y retos para todas las organizaciones, por ejemplo, tener en su equipo de trabajo un personal capacitado que ayude al crecimiento de la empresa. En consecuencia, las Instituciones de Educación Superior (IES) no están exentas de estos requerimientos, ya que son las que proveen a los profesionales de las competencias y habilidades requeridas por las empresas (Costa et al., 2020; De La Hoz et al., 2021; Escorcia Guzmán et al., 2022).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de las IES debe enmarcarse en la formación de profesionales competentes que sean capaces de adaptarse a la volatilidad del entorno; de esta manera, estos profesionales ayudarán a la industria y a la sociedad en su desarrollo (Bourner et al., 2020; Moreno- Brid & Ruiz-Nápoles, 2010). Amador y Martínez (2010) afirman que la relación proveedor-cliente entre las IES y las organizaciones es de vital importancia, debido a la creación de una cultura de trabajo colaborativo denominada *win-win*. En consecuencia, una de las principales preocupaciones de las IES es cumplir con los estándares mínimos asociados a factores como la infraestructura, la proyección, la pertinencia y los recursos, que responden a las acreditaciones institucionales, las cuales son otorgadas por agencias independientes (Delahoz-Dominguez et al., 2020). Pero primero, las IES deben prepararse para ser evaluadas, para ello, deben contar con herramientas que sean útiles para la gestión educativa y poder cumplir con los objetivos planteados.

En esta investigación se utiliza el enfoque Seis Sigma como herramienta para la gestión educativa para clasificar, evaluar y analizar el sistema educativo con dos aproximaciones: las universidades y los programas académicos. Cabe destacar que esta investigación tiene en cuenta únicamente los resultados académicos de las evaluaciones estandarizadas nacionales en Colombia (SABER PRO).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Evaluación de la calidad en la industria del servicio

A lo largo de estos últimos años se han incorporado a la literatura nuevos conceptos y enfoques sobre la calidad de los servicios, además de la vasta existencia de comentarios sobre la interpretación, aportes y variantes de la calidad en los servicios, y lo importante que son hoy en día en los escenarios competitivos. Los servicios son un medio para entregar valor y beneficios a los clientes en un momento y lugar específico (Stanescu, 2015). Los servicios deben tener un enfoque y una función táctica en la gestión de la naturaleza del servicio, así como tener un alcance claro de la calidad del servicio, las expectativas del cliente y las particularidades de la calidad. Sin embargo, a la hora de evaluar la calidad del servicio, la percepción del cliente es la perspectiva ideal y más utilizada. El modelo de calidad del servicio (SERVQUAL) propuesto hace más de dos décadas sigue vigente y es una referencia importante para la evaluación de la calidad en diversos servicios (Chui et al., 2016).

La calidad del servicio en las organizaciones es la medida del grado en que el servicio prestado satisface las expectativas del cliente (Yousapronpaiboon, 2014). El éxito de la actividad empresarial dependerá de la calidad percibida en la prestación del servicio. Por lo tanto, la capacidad de una empresa u organización para estimar la calidad del servicio es un requisito previo para lograr un alto nivel de calidad en esa prestación de servicios (Hien, 2014; Lee & Kim, 2014).

2.2. Aplicación de la metodología Seis Sigma en la industria de servicios

Seis Sigma aplica la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC), que se ajusta perfectamente a la mejora efectiva de los procesos. Asimismo, impregnar la calidad en los productos debe hacerse desde la fase de diseño, es necesario un enfoque preventivo de diseño para SeisSigma (DFSS) De-sign for Six Sigma (Suresh et al., 2016). El objetivo principal de Seis Sigma es aumentar el nivel de sigma reduciendo los defectos por millón de oportunidades (DPMO) (Suman & Prajapati, 2018). Esta herramienta de calidad tiene como objetivo lograr lo más cercano a la perfección, se utiliza en muchas organizaciones y se basa en pruebas, análisis de insumos y procedimientos (Ishak et al., 2019). A lo largo de la implementación de Seis Sigma se utilizan herramientas estadísticas para la caracterización y estudio de los procesos (de ahí el nombre de la herramienta), ya que sigma es el símbolo de la desviación estándar, la cual indica cómo está la variabilidad del proceso, y el objetivo principal es reducirla para que el proceso esté en los límites establecidos por los requerimientos del cliente (Zambrano & Alá, 2014).

Ahora bien, la implementación de Seis Sigma permite la eliminación de todas las actividades que no agregan valor al proceso. Seis Sigma hace contribuciones significativas en las principales áreas de las organizaciones que influyen en los periodos de rendimiento a largo y medio plazo, como el diseño del proceso, el enfoque y la mejora del proceso, la amplia participación en la resolución de problemas, el intercambio de conocimientos, el establecimiento de objetivos, la selección de proveedores y la toma de decisiones basada en datos (Zare Mehrjerdi, 2011).

Seis Sigma es una poderosa metodología que, en última instancia, ayuda a reducir los costos debido a la prevención de defectos y a la mejora de los productos y procesos, lo que conduce a un aumento de la rentabilidad, donde la satisfacción del cliente y la competitividad están en el centro de atención de cualquier práctica de mejora de la calidad y la medición del rendimiento. Del mismo modo, la relación entre Seis Sigma y el servicio en algunas investigaciones se denomina Servicio Transaccional Six Sigma porque proporciona a las organizaciones un enfoque disciplinado para mejorar la eficiencia y la eficacia del servicio (Hsieh et al., 2012; Shokri, 2014; Surange, 2015).

2.3. Aplicación de la metodología Seis Sigma en la educación superior

La experiencia a evaluar se divide en dos áreas: la evaluación de la calidad en el proceso de enseñanza y aprendizaje, y la evaluación de la calidad teniendo en cuenta la experiencia del alumno. Esta última implica el desarrollo de instrumentos y mecanismos específicos de evaluación de la calidad del servicio para el entorno de las IES. La educación es una organización importante para dar un cambio a la

economía a través del conocimiento. El mercado de las IES ha hecho que sus estudiantes sean altamente considerados como clientes/consumidores. Además, en el sector de la educación, aunque no haya un producto de por medio, el servicio prestado repercutirá en la demarcación competitiva entre las instituciones en cuanto a su superioridad. La evaluación de la calidad del servicio en las IES puede proporcionar una importante contribución e insumos que serán de excelente ayuda para que la parte administrativa tome decisiones con el fin de mejorar aún más la calidad de su educación (Yousapronpaiboon, 2014).

Aunque, los conceptos de la herramienta Seis Sigma fueron construidos –en su mayoría– para las industrias manufactureras, están relacionados con el servicio educativo. El alcance que se le da a Seis Sigma en la educación se utiliza comúnmente en casos muy específicos de mejora o en conjunto con los Criterios Baldrige para la Excelencia en el Desempeño para facilitar la aplicación a las estructuras educacionales (LeMahieu et al., 2017).

Sin embargo, hay opiniones divididas en cuanto a la aplicación de Seis Sigma en el ámbito de la educación, por ejemplo, el desperdicio y el retrabajo en el entorno educativo difiere en términos de tangibilidad a cómo es en las industrias manufactureras, en las que este último tiene un impacto físicamente notable (Svensson et al., 2015).

3. METODOLOGÍA

Esta investigación es evaluativa y consta de cuatro etapas (véase la figura 1). La primera etapa es la de contextualización, en la que se busca establecer las unidades de estudio y determinar las dimensiones de la calidad. En la segunda etapa se aplican las métricas de evaluación a las universidades y a los programas académicos. La tercera etapa busca analizar las universidades y los programas académicos en función de los resultados de las métricas. Y finalmente, la cuarta etapa consiste en realizar un análisis de las unidades conformes y no conformes del estudio.

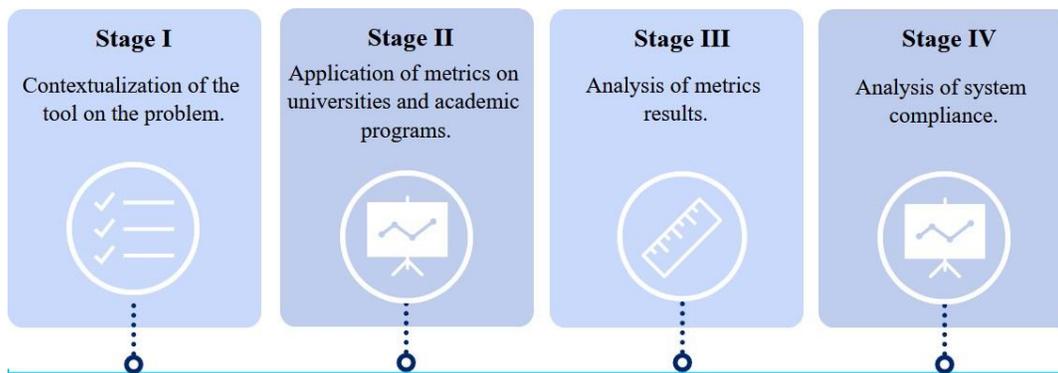


Figura 1. Metodología de la investigación

3.1. Población

La base de datos utilizada contiene 12.411 observaciones, cada una de las cuales representa un estudiante. Estas observaciones provienen de 135 universidades y ocho programas académicos (Ingeniería Industrial, Civil, Mecánica, Química, Electrónica, Eléctrica, Aeronáutica y Control). En esta investigación se resume la base de datos combinando universidades y programas académicos, quedando un total de 265 observaciones para analizar (programas académicos teniendo en cuenta la universidad). Cabe destacar que el análisis de la investigación tiene dos enfoques, el primero es un análisis por universidades (135 observaciones) y el segundo es por programas académicos (265 observaciones).

Tabla 1. Información de las variables del estudio

Variable	Nombre	Promedio
QR	Quantitative Reasoning	77,42
CR	Critical Reading	62,20
CS	Citizenship Skills	59,19
ENG	English	67,50
WC	Written Communication	53,70

Fuente: elaboración propia con información de Delahoz-Dominguez et al. (2020).

3.2. Competencias académicas

Las pruebas SABER PRO son diseñadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) y buscan medir la calidad de las universidades públicas y privadas, estén o no acreditadas. Las pruebas se aplican a los estudiantes que terminan su formación profesional, y constan de dos partes: la primera evalúa las competencias genéricas de todos los profesionales, la segunda evalúa las competencias específicas del programa académico al que pertenece un estudiante; en consecuencia, para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el módulo de competencias genéricas, que corresponden a las presentadas en la tabla 1.

3.1. Dimensiones de calidad

Para realizar el análisis por universidades y programas académicos se estableció que las dimensiones de calidad del servicio educativo corresponden a cada competencia evaluada en la prueba SABER PRO: Razonamiento Cuantitativo (RQ), Lectura Crítica (LCR), Competencias Ciudadanas (CC), Comunicación Escrita (CC) e Inglés (ENG). Por otro lado, la tabla 2 muestra los niveles conformes y no conformes asociados a las competencias académicas. Cabe señalar que para establecer los niveles de conformidad y no conformidad se utilizó la información contenida en la guía de orientación de las pruebas SABER PRO ofrecida por el ICFES (2020). Estos niveles corresponden al logro alcanzado por el estudiante en cada competencia, siendo el nivel más bajo el de aquellos estudiantes con los puntajes más bajos en los resultados de la evaluación, mientras que el nivel más alto corresponde a los estudiantes con los puntajes más altos en los resultados de la evaluación. Por otro lado, una

interpretación adicional de los niveles corresponde a la medición del desarrollo de las competencias académicas para la resolución de problemas.

Tabla 2. Información de la configuración de los niveles de las competencias

Competencias	Número de niveles	Niveles no conformes	Niveles conformes
QR	3	I, II	III
ENG	5	I, II, III	IV, V
CR	3	I, II	III
CS	5	I, II, III	IV, V
WC	8	I, II, III, IV, V	VI, VII, VIII

Fuente: elaboración propia.

Ahora, teniendo en cuenta la tabla 2, la proporción de observaciones conformes y no conformes de las universidades del estudio se presenta a nivel global como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la porción de unidades conformes y no conformes en las universidades del estudio

Universidades	Porción de productos conformes	
	Conformes (%)	No conforme (%)
Universidad de Los Andes	88,79	11,21
Universidad de La Sabana	78,31	21,69
Universidad Nacional Sede Medellín	82,67	17,33
Universidad del Norte	82,96	17,04
Corporación Universitaria Comfacauca	41,20	58,80
Universidad Autónoma de Manizales	55,87	44,13
Fundación Universitaria Los Libertadores	41,72	58,28
Universidad de La Guajira	34,80	65,20

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

Para alinear los conceptos de la metodología Seis Sigma con el objetivo de la investigación es necesario relacionar cada métrica del modelo con el grupo de estudio y el contexto educativo, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 4. Rendimiento en relación con el Nivel Sigma y el Rendimiento para las dimensiones a evaluar

Desempeño	Nivel Sigma	Rendimiento (%)
Deficiente	$Z < 2$	$Y < 69,1$
Aceptable	$2 \leq Z \leq 3$	$69,1 \leq Y \leq 93,3$
Bueno	$3 \leq Z \leq 4$	$93,3 \leq Y \leq 99,4$
Excelente	$Z > 4$	$Y \geq 99,4$

Fuente: adaptado de Delahoz-Dominguez et al. (2020).

La relación entre las métricas de Seis Sigma y el contexto educativo en la tabla 5 se realiza de la siguiente manera (Darmawan et al., 2020; Tenera & Pinto, 2014): el parámetro U es la población de estudio, para esta investigación son las universidades. El parámetro O corresponde a las oportunidades de error que se encuentran en las competencias evaluadas en la prueba SABER PRO y significa el número de veces que un observador (estudiante) puede fallar. El parámetro n son las observaciones no conformes. El parámetro Y es el rendimiento de la universidad que varía entre 0 y 1, teniendo en cuenta los valores de referencia establecidos en la tabla 5. Por último, defectos por millón de oportunidades (DPMO) es el número de defectos observados extrapolados a cada millón de oportunidades de defectos.

Tabla 5. Definición de las métricas en el contexto educativo

Métricas	Definición del estudio
U	Número total number de universidades evaluadas
O	Oportunidades de error
n	Total de resultados insatisfactorios (para cada competencia)
Y	Rendimiento de las universidades evaluadas
DPMO	Defectos por millón de oportunidades

Fuente: elaboración propia.

4.1. Análisis de resultados de Seis Sigma

Para la representación y aplicación de las métricas Seis Sigma se tomaron como ejemplo ocho universidades, bajo el criterio de que cuatro de ellas tienen los mejores desempeños en las pruebas SABER PRO y las otras cuatro son universidades con desempeños medios en estas pruebas. La tabla 6 muestra que la Dimensión de Calidad evaluada con mejor desempeño en promedio es el dominio del inglés donde el mayor rendimiento es de 99,79 % obtenido por la Universidad de Los Andes. Por otro lado, la Dimensión de Calidad con menor desempeño promedio es Lectura Crítica, donde el menor rendimiento es de 60,20 %, que corresponde a la Universidad de La Guajira.

Tabla 6. Relación del Nivel Sigma y las dimensiones de calidad evaluadas por universidades

Universidad	Métrica	Dimensiones de calidad evaluadas				
		QR	CR	CS	ENG	WC
Universidad de Los Andes	DPMO	31828,47	368018,87	192639,4	14860,3	316693,19
	YIELD	99,46%	93,86%	95,9%	99,79%	94,71%
	Z	4,43	3,06	3,46	4,48	3,11
Universidad de La Sabana	DPMO	223328,7	223328,7	172313,7	23046,3	77197,8
	YIELD	88,82%	88,82%	91,38%	98,84%	96,13%
	Z	2,73	2,73	2,85	3,81	3,27
Universidad de Nacional Sede Medellín	DPMO	15625	477087,73	339160,51	93370,42	486857,47
	YIELD	99,68%	90,44%	93,21%	97,90%	90,25%
	Z	4,73	2,85	3	3,54	2,80
Universidad del Norte	DPMO	195631,11	379779,95	333763,64	44227,22	321505,44
	YIELD	96,08%	90,02%	93,31%	99,11%	93,56%

	Z	3,26	2,79	2,40	4,87	3,08
Corporación Universitaria Comfacauca	DPMO	235294,12	1663348	196078,43	176470,59	164705,88
	YIELD	76,47%	66,73%	80,39%	82,35%	83,52%
	Z	2,22	1,93	2,35	2,42	2,47
Universidad Autónoma de Manizales	DPMO	138235,2	814705,88	629411,76	145098,03	377647,05
	YIELD	95,3%	72,8%	79,01%	95,16%	87,00%
	Z	3,66	2,10	2,31	3,63	2,65
Fundación Universitaria Los Libertadores	DPMO	868007,1	663348	1094315	670994,8	741295,2
	YIELD	78,29%	66,73%	78,11	86,58%	78,11
	Z	2,29	1,93	2,27	2,62	2,27
Universidad de La Guajira	DPMO	893752	1518120	751164,6	751054,6	407095
	YIELD	70,20%	60,28%	81,22%	74,96%	78,82%
	Z	2,03	1,80	2,40	2,18	2,78

Fuente: elaboración propia.

La tabla 7 muestra la proporción de conformidad de los resultados de los programas académicos de las universidades del estudio. La dimensión de calidad con mayor proporción de conformidad es inglés en todos los programas académicos, y el programa con mayor proporción de resultados conformes para esta dimensión es Ingeniería Química. Por otro lado, la dimensión de calidad con menor proporción de resultados conformes en los programas académicos es Comunicación Escrita, siendo Ingeniería Química el programa con mayor proporción de resultados conformes para esta dimensión e Ingeniería de Control el de menor proporción para esta dimensión.

Tabla 7. Proporción de cumplimiento de los resultados por programa académico

Programa académico	Porcentaje de cumplimiento de las competencias académicas evaluadas (%)				
	QR	CR	CS	ENG	WC
Ingeniería Industrial	84,73	67,72	73,76	87,91	69,47
Ingeniería Civil	90,58	76,47	78,52	86,17	62,94
Ingeniería Mecánica	89,76	73,22	72,04	88,58	62,2
Ingeniería Química	92,55	79,78	82,26	97,87	71,98
Industrial Electrónica	90,54	81,08	78,37	95,94	55,4
Industrial Eléctrica	91,66	81,66	83,33	96,66	76,66
Industrial de Control	72,09	44,18	44,18	69,76	32,55
Industrial Aeronáutica	100,00	63,63	72,72	90,90	45,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Dimensión de calidad evaluada por programa académico

Programa académico	Métrica	Dimensión de calidad evaluada				
		QR	CR	CS	ENG	WC
Ingeniería Industrial	DPMO	1122120,01	1869111,87	3384732,63	789371,82	721147,4
	YIELD	85,95%	76,38%	85,81%	90,01%	90,98%
	Z	2,93	1,78	2,31	3,13	2,88
Ingeniería civil	DPMO	264873,18	483218,27	265633,21	229794,36	290451,56
	YIELD	93,37%	84,94%	93,27%	94,25%	92,73%

Programa académico	Métrica	Dimensión de calidad evaluada				
		QR	CR	CS	ENG	WC
	Z	3,69	2,66	3,03	3,40	2,96
Ingeniería Mecánica	DPMO	659191,17	1310864,36	956860,22	540641,80	672267,10
	YIELD	89,01%	78,15%	94,12%	99,17%	94,08%
	Z	3,47	2,82	3,06	3,96	3,06
Ingeniería química	DPMO	100951,81	291231,46	176226,80	24722,03	77383,50
	YIELD	96,63%	90,28%	94,12%	99,17%	96,08%
	Z	3,47	2,82	3,06	3,96	3,06
Ingeniería electrónica	DPMO	260683,75	697115,38	437179,36	111111,11	486495,71
	YIELD	93,48%;	82,57%	87,81%	97,22%	87,83%
	Z	3,88	2,56	2,75	4,43	2,78
Ingeniería eléctrica	DPMO	54347,82	144409,93	72463,76	14492,75	100621,11
	YIELD	97,28%	92,75%	96,37%	99,27%	94,96%
	Z	4,05	3,01	3,97	4,34	3,14
Ingeniería de Control	DPMO	0	181818,18	90909,09	30303,03	109090,90
	YIELD	100%	81,81%	90,90%	96,96%	89,09%
	Z	5	2,40	2,83	3,37	2,73
Engineering Aeronáutica	DPMO	139534,88	279069,76	186046,51	100775,19	134883,7
	YIELD	86,04%	72,09%	81,39%	89,92%	86,51%
	Z	2,58	2,08	2,39	2,77	2,60

Fuente: elaboración propia.

En términos de Seis Sigma, la dimensión evaluada con mayor desempeño es la competencia de Inglés, en promedio para todos los programas académicos, siendo Ingeniería Química e Ingeniería Eléctrica los programas con mayor desempeño en esta dimensión y competencia, con Rendimiento= 99,17 % y Rendimiento= 99,27 % respectivamente. Por otro lado, la Dimensión de Calidad evaluada con el menor desempeño en promedio para todos los programas académicos es Lectura Crítica. Sin embargo, el programa con mayor desempeño en esta dimensión es Ingeniería Eléctrica con un Rendimiento = 92,75 % y el programa con menor desempeño para esta dimensión es Ingeniería Aeronáutica con un Rendimiento = 72,09 %.

4.2. Análisis de conformidad

En este apartado se analiza el sistema por nivel de conformidad. En consecuencia, la figura 2 muestra cada competencia asociada a su porcentaje de unidades conformes por nivel.

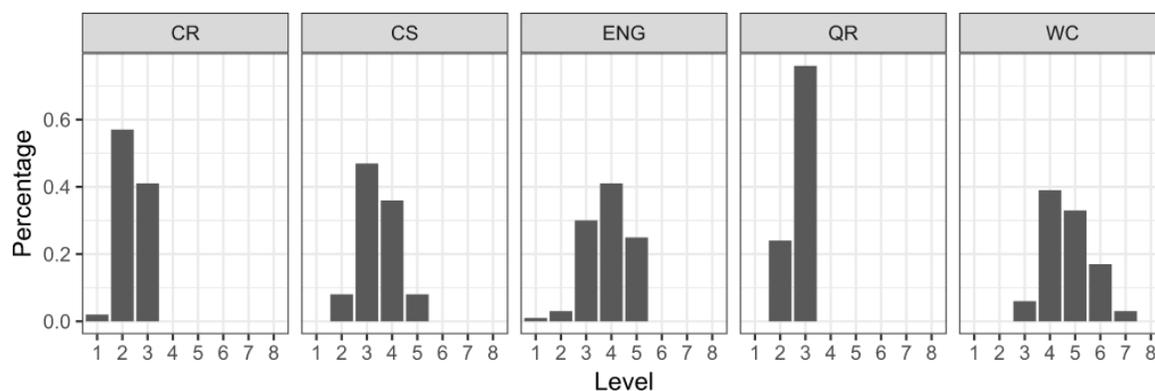


Figura 2. Distribución de la población del estudio. Fuente: autores.

Por otro lado, la tabla 9 muestra los resultados medios de las competencias por parte de las universidades acreditadas y no acreditadas. Obsérvese que las competencias con la media más alta corresponden a ENG y QR tanto para las universidades acreditadas como para las no acreditadas; en cambio, las competencias con la media más baja son WC y CS para las universidades acreditadas y CR y CS para las no acreditadas.

Tabla 9. Promedio de las competencias por carácter de acreditación

Competencias	Acreditado	No acreditado
QR	81,83	65,26
CR	67,02	48,98
ENG	72,40	53,16
WC	61,42	49,39
CS	63,54	47,58

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, como es sabido, el éxito de la aplicación de la metodología Seis Sigma depende principalmente de la identificación y selección de los factores que influyen en la calidad del sistema evaluado (Mehrabi, 2012). En este sentido, nuestra investigación toma como premisa que el desempeño y el éxito profesional dependen del desarrollo de las competencias básicas de los estudiantes (Jury et al., 2017; Nagy & Molontay, 2018), por lo que los recursos de análisis para esta investigación son las competencias básicas profesionales de los estudiantes: Razonamiento cuantitativo, lectura crítica, inglés, comunicación escrita y competencias ciudadanas.

Revisando las aplicaciones de Seis Sigma en la literatura para evaluar la calidad educativa encontramos que Paramasivam y Muthusamy (2012) desarrollan una investigación que tiene como objetivo identificar los factores críticos que son necesarios en el mundo laboral, y debido a esto, los ingenieros deben tenerlos en su plan de estudios, a través del DMAIC de Seis Sigma logran identificar que los factores críticos son: Washington Accord, Outcome Based Education (OBE), Problem Based Learning (PBL), Theory for Inventive Problem Solving (TRIZ), Project-Based Learning, Case-Based Learning

(CBL), internships y Continuous Quality Improvement (CQI). Mehrabi (2012) identifica que el éxito de la implementación de Seis Sigma en el sector educativo depende de la selección de factores, por lo tanto, el autor propone considerar en la implementación de Seis Sigma la participación de la dirección, el compromiso organizacional, la gestión de proyectos, la gestión de habilidades, el cambio cultural y la formación continua. En contraste, Adina-Petruta y Roxana (2014) presentan cómo la metodología Seis Sigma integrada con el modelo de calidad ISO 9000 ayuda al desarrollo, mejora continua y éxito de las IES. Por otro lado, Ameen Abdulla et al. (2020) buscan asegurar la calidad de acuerdo con los criterios propuestos por la Junta Nacional de Acreditación de la India, para lograrlo utilizaron diversas técnicas Seis Sigma bajo la metodología DMAIC. Dentro de sus resultados identificaron que la versatilidad del currículo, los laboratorios, los talleres y la credibilidad entre las universidades son factores importantes para el aseguramiento de la calidad, además, agregan que con la herramienta Seis Sigma es posible mitigar los defectos encontrados.

Finalmente, mencionamos que MacIel-Monteon et al. (2020) proponen el diseño y validación de un instrumento para evaluar la implementación de los factores críticos de éxito durante la ejecución de la metodología Seis Sigma para la mejora de las IES. De once factores estudiados en su trabajo, los autores determinaron como verdaderamente críticos la participación, el compromiso directivo, la vinculación de Seis Sigma con la estrategia institucional, la vinculación de Seis Sigma con los proveedores, la comunicación y la selección de los miembros del equipo. Por otro lado, en la investigación de MacIel-Monteon et al. (2020), se genera un aporte significativo al proponer una metodología para validar la implementación de Seis Sigma de acuerdo con los factores seleccionados. Considerando lo anterior, se puede destacar que la presente investigación hace uso de las competencias básicas como insumos de la metodología Seis Sigma para generar una mayor oportunidad de mejora en el sistema. Además, nuestra metodología puede ser aplicada a cualquier área del conocimiento porque estas competencias básicas son transversales para todos los profesionales.

5. CONCLUSIONES

El aporte significativo de esta investigación es la evaluación de la calidad educativa de las universidades en Colombia y sus respectivos programas con la herramienta Seis Sigma. Esta herramienta, es mayormente utilizada en el sector de la manufactura, sin embargo, poco a poco se ha implementado en otros sectores como el de la educación. En esta investigación se destaca el proceso de evaluación de la calidad educativa utilizando como insumos de nuestro sistema los resultados obtenidos en las pruebas estandarizadas SABER PRO en las universidades colombianas de los programas de ingeniería.

Los resultados de esta investigación muestran la pertinencia que existe de combinar y estructurar conceptos de calidad educativa con las métricas de Seis Sigma, permitiendo diseñar un estándar del desempeño de las universidades para el mejoramiento de la calidad del sistema educativo empleando la contextualización de Seis Sigma. Esto es importante porque permite mejorar el sector educativo en

Colombia, permitiendo seguir formando a los profesionales del país que aportarán desde sus diferentes conocimientos para el desarrollo de la sociedad.

Siguiendo este orden de ideas, se pueden extraer las siguientes conclusiones: la calidad del sector educativo presenta un desempeño aceptable, teniendo en cuenta su nivel sigma y su rendimiento (2,17 y 75 %). La metodología aplicada para este estudio permitió un análisis cuantitativo, a través de la utilización de las dimensiones de calidad propuestas para este estudio (competencias académicas) y la relación con las métricas de la herramienta Seis Sigma, logrando realizar una evaluación y un análisis holístico del servicio educativo. Sin embargo, se deja esta investigación como base para futuros trabajos relacionados con la evaluación de la calidad educativa en las universidades y su contribución a la calidad del sector educativo colombiano.

REFERENCIAS

- Adina-Petruța, P., & Roxana, S. (2014). Integrating Six Sigma with Quality Management Systems for the Development and Continuous Improvement of Higher Education Institutions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 143, 643–648. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.456>
- Amador Muñoz, L. V., & Martínez Rodríguez, F. M. (2010). Educación y desarrollo socio-económico. Contextos Educativos. *Revista de Educación*, 0(13), 83. <https://doi.org/10.18172/con.628>
- Ameen Abdulla, M. S., Mohammed Navas, O. P., Amal, M. S., Nizam, B., & Kavilal, E. G. (2020). Quality assurance in education based on six sigma tool. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 0, 2347–2360.
- Bourner, T., Rospigliosi, A., Heath, L., Bourner, T., Rospigliosi, A., & Heath, L. (2020). The Fully Functioning University. In *The Fully Functioning University* (pp. 7–39). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-498-220201003>
- Cardiel-Ortega, J. J., Baeza-Serrato, R., & Lizarraga-Morales, R. A. (2017). Development of a system dynamics model based on Six Sigma methodology. *Ingeniería e Investigación*, 37(1), 80–90. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.62270>
- Chui, T. B., Ahmad, M. S. bin, Bassim, F. binti A., & Zaimi, N. binti A. (2016). Evaluation of Service Quality of Private Higher Education Using Service Improvement Matrix. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 224, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.417>
- Costa, L.B., Godinho Filho, M., Fredendall, L.D., & Devós Ganga, G. M. (2021). Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation. *International Journal of Production Economics*, 231, 107843. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107843>
- Costa, L.B., Godinho Filho, M., Fredendall, L.D., & Ganga, G. (2020). The effect of Lean Six Sigma practices on food industry performance: Implications of the Sector's experience and typical characteristics. *Food Control*, 112, 107110. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107110>

- Darmawan, A., Bahri, S., & Putra, A. T. B. (2020). Six Sigma implementation in quality evaluation of raw material: A case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 875(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/875/1/012065>
- De La Hoz, E., Zuluaga, R., & Mendoza, A. (2021). Assessing and Classification of Academic Efficiency in Engineering Teaching Programs. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 14(1). <https://doi.org/10.7160/eriesj.2021.140104>
- Delahoz-Dominguez, E., Fontalvo, T., & Fontalvo, O. (2020). Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad. *Formación universitaria*, 13(2), 93–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000200093>
- Delahoz-Dominguez, E. J., Fontalvo, T., & Zuluaga, R. (2020). Evaluation of academic productivity of citizen competencies in the teaching of engineering by using the Malmquist index. *Formación Universitaria*, 13(5), 27–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000500027>
- Delahoz-Dominguez, E., Zuluaga, R., & Fontalvo-Herrera, T. (2020). Dataset of academic performance evolution for engineering students. *Data in Brief*, 30, 105537. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105537>
- Escorcía Guzmán, J. H., Zuluaga-Ortiz, R. A., Barrios-Miranda, D. A., & Delahoz-Dominguez, E. J. (2022). Information and Communication Technologies (ICT) in the processes of distribution and use of knowledge in Higher Education Institutions (HEIs). *Procedia Computer Science*, 198, 644–649. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.300>
- Gastelum-Acosta, C., Limon-Romero, J., Maciel-Monteon, M., Baez-Lopez, Y., Gastelum-Acosta, C., Limon-Romero, J., Maciel-Monteon, M., & Baez-Lopez, Y. (2018). Seis Sigma en Instituciones de Educación Superior en México. *Información Tecnológica*, 29(5), 91–100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500091>
- Hien, N. M. (2014). A Study on Evaluation of E-Government Service Quality. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Humanities and Social Sciences*, 8(1), 4.
- Hsieh, Y.-J., Huang, L.-Y., & Wang, C.-T. (2012). A framework for the selection of Six Sigma projects in services: Case studies of banking and health care services in Taiwan. *Service Business*, 6(2), 243–264. <https://doi.org/10.1007/s11628-012-0134-1>
- Ishak, A., Siregar, K., Asfiryati, & Naibaho, H. (2019). Quality Control with Six Sigma DMAIC and Grey Failure Mode Effect Analysis (FMEA): A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505, 012057. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012057>
- Jury, M., Smeding, A., Stephens, N., Nelson, J., Aelenei, C., & Darnon, C. (2017). The Experience of Low-SES Students in Higher Education: Psychological Barriers to Success and Interventions to Reduce Social-Class Inequality: Low-SES Students in Higher Education. *Journal of Social Issues*, 73(1), 23–41. <https://doi.org/10.1111/josi.12202>

- Lee, H., & Kim, C. (2014). Benchmarking of service quality with data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3761–3768. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.008>
- LeMahieu, P. G., Nordstrum, L. E., & Cudney, E. A. (2017). Six Sigma in education. *Quality Assurance in Education*, 25(1), 91–108. <https://doi.org/10.1108/QAE-12-2016-0082>
- MacIel-Monteon, M., Limon-Romero, J., Gastelum-Acosta, C., Tlapa, D., Baez-Lopez, Y., & Solano-Lamphar, H. A. (2020). Measuring Critical Success Factors for Six Sigma in Higher Education Institutions: Development and Validation of a Surveying Instrument. *IEEE Access*, 8, 1813–1823. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962521>
- Mehrabi, J. (2012). Application of Six-Sigma in Educational Quality Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 1358–1362. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.826>
- Moreno-Brid, J. C., & Ruiz-Nápoles, P. (2010). La educación superior y el desarrollo económico en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 1(1), 171–188.
- Nagy, M., & Molontay, R. (2018). Predicting Dropout in Higher Education Based on Secondary School Performance. 2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 000389–000394. <https://doi.org/10.1109/INES.2018.8523888>
- Paramasivam, S., & Muthusamy, K. (2012). Study of Critical Success Factors in Engineering Education Curriculum Development using Six-Sigma Methodology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, 652–661. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.700>
- Shokri, A. (2014). Six Sigma in Supply Chain. In U. Ramanathan & R. Ramanathan (Eds.), *Supply Chain Strategies, Issues and Models* (pp. 63–98). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5352-8_4
- Stanescu, C. L. V. (2015). Modelos de evaluación de la calidad del servicio: Caracterización y análisis. 21.
- Suman, G., & Prajapati, D. R. (2018). Statistical analysis of the researches carried out on Lean and Six Sigma applications in healthcare industry. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1504/IJQET.2018.094667>
- Surange, V. G. (2015). Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(2), 282–294. <https://doi.org/10.1007/s11668-015-9927-6>
- Suresh, K. M., Asokan, P., & Vinodh, S. (2016). Application of design for Six Sigma methodology to an automotive component. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2016.080446>
- Svensson, C., Antony, J., Ba-Essa, M., Bakhsh, M., & Albliwi, S. (2015). A Lean Six Sigma program in higher education. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(9), 951–969. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2014-0141>

- Tenera, A., & Pinto, L. C. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 912–920. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.102>
- Yousapronpaiboon, K. (2014). SERVQUAL: Measuring Higher Education Service Quality in Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 1088–1095. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.350>
- Zambrano, N., & Alá, A. (2014). Implementación de la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelem S.A. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6863>
- Zare Mehrjerdi, Y. (2011). Six-Sigma: Methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, 31(1), 79–88. <https://doi.org/10.1108/01445151111104209>



Facultad de Administración Marítima
ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA
 08 y 09 de septiembre de 2022
 Cartagena, Colombia
 Vol. 2

**Memorias Congreso Internacional de Planeación y Logística:
 Retos y desafíos para la defensa en la era de la transformación digital y
 energética**

Impreso en Colombia, Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Facultad de Administración Marítima. Barrios el Bosque Sector Manzanillo, PBX (+575) 6724610 ext. 11223 – cel. 3172199106 - Cartagena de Indias D.T. y C., Bolívar, Colombia. Correo: dfam@enap.edu.co