

Sección abierta multidisciplinaria: Ingeniería sostenible, las TIC y Ciencias Sociales



Sección especial:
Logística y Administración de
Cadenas de Suministro -
Innovación, Diseño y Estrategia





Guayaquil, Ecuador
Vol. 34, N° 2 (2022)
Junio, 30

DOI: 10.37815/rte.v34n2

Autoridades Institucionales (Institutional Authorities)

Rectora

Cecilia Alexandra Paredes Verduga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Vicerrector

Paúl Herrera Samaniego, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Consejo de Editores (Editorial Board)

Directora General Editorial (Editor in Chief)

Nayeth I. Solórzano Alcivar, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: nsolorza@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-5642-334X

Editor Asociado (Associate Editor)

Fausto Enrique Jácome López, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: fjacome@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6808-7294

Editor Invitado (Guest Editor)

Cinthia Perez Siguenza, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ccperez@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2813-2681

Editores de Sección en inglés (Section Editors - English)

Katherine Anabelle Salvador Cisneros, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ksalvado@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0414-3597

Wellington Enrique Wonsang Ureta, BA.
San Diego State University, USA
e-mail: wonsangwellington@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3936-9705

Silvia Herrero Rodríguez, BA.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: sherrero@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2416-8492

Editores de Sección en español (Section Editors - Spanish)

Diana Llamel Rodríguez Arteaga, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dirodrig@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-3715-181X

Andrea Victoria Carranza García, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: avcarran@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1762-4525

Miguel Eduardo Yapur Auad, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: myapur@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-6627-7908

Consejo Científico (Advisory Board)

Carlos Teodoro Monsalve Arteaga, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: monsalve@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9428-4360

Boris Xavier Vintimilla Burgos, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: bvintim@fiec.espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-8904-0209

Carlos Alberto Ramos Galarza, Ph.D.
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador
e-mail: ps_carlosramos@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-5614-1994

Daynet Sosa Del Castillo, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dasosa@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5403-9072

Diana Carolina Coello Fiallos, Ph.D.
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
e-mail: dc.coello@uta.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3628-5004

Diego Fernando Avila Pesantez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
e-mail: davila@epoch.edu.ec
ORCID: 0000-0001-8394-5621

Elva Patricia Reyes Díaz, Ph.D.
 Universidad Autónoma de Coahuila, México
 e-mail: elva.reyes@uadec.edu.mx
 ORCID: 0000-0002-8854-0946

Ignacio Bladimir Cerón Guerra, Ph.D.
 Escuela Politecnica Nacional, Ecuador
 e-mail: ignacio.ceron@epn.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-6373-9772

Isidro Fierro Ulloa, Ph.D.
 Universidad de Especialidades Espiritu Santo,
 Ecuador
 e-mail: isfierro@uees.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9000-6945

José Enrique Martínez-Pérez, Ph.D.
 Instituto Universitario de Tecnología del Estado
 Bolívar, Venezuela
 e-mail: josenriquemartinez@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-3611-6390

Jorge Antonio Córdova Morán, Ph.D.
 Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
 e-mail: joranto205@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-2730-4755

Juan José Oliveira Maurera, Ph.D.
 Universidad de Oriente, Venezuela
 e-mail: juanjoseoli@hotmail.com
 ORCID: 0000-0002-8474-5872

Juan Humberto Avellaneda Cevallos, Ph.D.
 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
 e-mail: juan_avellaneda@yahoo.com
 ORCID: 0000-0002-1805-4803

Manuel Raúl Peláez Samaniego, Ph.D.
 Universidad de Cuenca, Ecuador
 e-mail: manuel.pelaez@ucuenca.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-7618-9474

María Del Pilar Cornejo Rodríguez, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcornejo@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0003-4198-2904

María Fernanda Calderón Vega, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: mafercal@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5191-7527

María Genoveva Espinoza-Santeli, Ph.D.
 Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador
 e-mail: genoveva.espinoza@uasb.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-2347-9507

Paúl Cesar Carrión Mero, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: pcarrion@espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-9747-7547

Raquel Miroslava Tinoco Egas, Ph.D.
 Universidad Técnica de Machala, Ecuador
 e-mail: raqueltinocoegas@hotmail.com
 ORCID: 0000-0001-5979-8123

Stanislaus Albert-Georg Sonnenholzner, Ph.D.
 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
 e-mail: ssonnen@cenaim.espol.edu.ec
 ORCID: 0000-0002-5723-3994

Consejo Internacional de Revisores del Volumen (International Reviewers Board)

Adnan Beqiri, MA.
 Geneva School of Diplomacy & International Relations,
 Switzerland
 e-mail: adnan.beqiri@genevadiplomacy.com
 ORCID: 0000-0003-1231-9935

Alejandro Morlachetti, LL.M.
 National University of Lanus, Argentina
 e-mail: amorlachetti@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-0520-9615

Andrea Pellandra, Ph.D.
 Carnegie Mellon University, USA
 e-mail: pellandr@unhcr.org
 ORCID: 0000-0003-0785-9486

Anna Ohannessian-Charpin, D.E.A.
 The School for Advanced Studies in the Social
 Sciences (EHESS), France
 e-mail: philnoga@yahoo.fr
 ORCID: 0000-0001-8487-9232

Asha Manoharan, M.Sc.
 Geneva School of Diplomacy & International Relations,
 Switzerland
 e-mail: asha.manoharan6@gmail.com
 ORCID: 0000-0003-1558-4849

Cesar Zenet López Cruz, Ing.
 Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de
 Yucatán, México
 e-mail: cesarzenet@hotmail.com
 ORCID: 0000-0003-3103-9226

Christian Miguel Pacheco Rodríguez, Ing.
 Universidad Católica de Cuenca, Ecuador
 e-mail: cmpachecor31@gmail.com
 ORCID: 0000-0002-7036-8201

Cinthia Perez Siguenza, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: ccperez@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2813-2681

Cristian Rodrigo Espinel López, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
e-mail: espinelopez@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5189-6404

Daniel Orlando Icaza Alvarez, M.Sc.
Universidad Católica de Cuenca, Ecuador
e-mail: dicazaa@ucacue.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9989-6809

Darwin Leonidas Aguilar, M.Sc.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador
e-mail: dlaguilar@espe.edu.ec
ORCID: 0000-0003-4991-4818

Diana Carolina Coello Fiallos, Ph.D.
Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ecuador
e-mail: dc.coello@uta.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3628-5004

Diana Llamel Rodríguez Arteaga, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: dirodrig@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-3715-181X

Edgar Italo Mendoza Haro, M.Sc.
Universidad Estatal de Milagro Ecuador
e-mail: emendozah@unemi.edu.ec
ORCID: 0000-0002-6492-6991

Edgar Rolando Morales Caluña, M.Sc.
Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ecuador
e-mail: moralesdoc@gmail.com ORCID:
0000-0001-9545-1282

Erwin Delgado Bravo, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: edelgado@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5933-4839

Esthela Benitez Ramirez, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: stela.eli.br@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8166-6597

Eugenia de las Mercedes Villacís, M.Sc.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
e-mail: mercedes.villacis@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0002-8465-8437

Fernando Francisco Sandoya Sanchez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: fsandoya@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-0011-4003

Freddy Zambrano Gavilánez, Ph.D.
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador e-mail:
fezambrano@utm.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0004-9122

Jorge Chicaiza-Vaca, Ph.D.
Cámara de Transporte Pesado de Pichincha, Ecuador
e-mail: investigacion@ctpp.org.ec
ORCID: 0000-0003-0184-7484

Jorge Julian Peña Estrella, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: jpena@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-2344-8866

Jorge Tigno, DPA.
University of the Philippines, Philippines
e-mail: jvtigno@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1368-5347

José Enrique Martínez-Pérez, Ph.D.
Instituto Universitario de Tecnología del Estado
Bolívar, Venezuela
e-mail: josenriquemartinez@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3611-6390

Juan Manuel Chávez Mendoza, Ing.
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, México
e-mail: chavez_1963@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-6422-5079

Julio Andres Bonilla Jaime, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: jbonill@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-3163-5100

Karín Elizabeth Coello Ojeda, Ing.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: kcoello@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-0892-6073

Kleber Fernando Barcia Villacreses, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: kbarcia@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-9947-8287

Lenin Xavier Erazo Garzón, Ing.
Universidad del Azuay, Ecuador
e-mail: lerazo@uazuay.edu.ec
ORCID: 0000-0001-5492-3247

Lourdes Paola Ulloa Lopez, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: lulloa@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-1678-6365

Marcos Buestan Benavides, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: mbuestan@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-3746-6333

Margarita Elizabeth Ortiz Rojas, M.Ed.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: margarita.ortiz@cti.espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2193-8316

María Belén Segovia Navarrete, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: mabeseego@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-4900-8874

Maria Fernanda Lopez, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: mflopez@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-7716-0219

María Fernanda Rosales, Ph.D.
Universidad del Azuay, Ecuador
e-mail: mrosales@uazuay.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0403-223X

María Laura Retamales García, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: mretamal@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-6969-8473

Mario Chong, Ph. D.
Universidad del Pacífico, Perú
e-mail: m.chong@up.edu.pe
ORCID: 0000-0002-1231-0992

Mayra Lorena Mahecha Guzmán, Ing.
Universidad Del Pacífico, Ecuador
e-mail: mmahecha@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-9334-7246

Miguel Ángel Gutiérrez Soto, Mgs.
Universidad Adventista de Chile, Chile
e-mail: miguelagutierrez@unach.cl
ORCID: 0000-0003-0048-9208

Pablo Andrés Calderón Castro, Ing.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: pablocalderon@pixato.net
ORCID: 0000-0002-7539-2737

Pedro Fabricio Zanzzi Diaz, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: pzanzz@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-1396-6854

Pedro Gois, Ph.D.
University of Coimbra, Portugal
e-mail: pmgois@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5217-0285

Peter Iza Toapanta, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: piza@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1900-2375

Piyasiri Wickramasekara, Ph.D.
Global Migration Policy Associates - GMPA, Sri Lanka
e-mail: piyasiriw@globalmigrationpolicy.org
ORCID: 0000-0002-8869-4208

Rebecca Lily Shepard, MA.(c)
Graduate Institute of International and Development
Studies (IHEID), Switzerland
e-mail: rebecca.shepard@graduateinstitute.ch
ORCID: 0000-0001-8891-3389

Rina Paola Quintana Villacis, M.Sc.
Instituto de Investigación Geológico y Energético:
Quito, Ecuador
e-mail: paola.quintana@geoenergia.gob.ec
ORCID: 0000-0001-8662-2959

Ronald Campoverde, Ph.D.
Escuela Superior Politecnica del Litoral, Ecuador
e-mail: recampov@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-2759-469X

Ruby Asunción González Ascencio, Ph.D.
Universidad Autónoma del Carmen, México
e-mail: rgonzalez@pampano.unacar.mx
ORCID: 0000-0002-5889-0435

Sara Alexandra Wong, Ph.D.
ESPAE Escuela de Negocios,
Escuela Superior Politecnica del Litoral, Ecuador
e-mail: sawong@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0001-7565-1543

Silvia Amira Maluk Uriguen, M.Sc.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: smaluk@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0002-5088-3169

Sofía López Iglesias, Ph.D.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
e-mail: slopez@espol.edu.ec
ORCID: 0000-0003-4796-3368

Tamirace Fakhoury, Ph.D.
Aalborg University, Denmark
e-mail: tamy.fakhoury@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6249-5956

Wellington Enrique Wonsang Ureta, BA.
San Diego State University, USA
e-mail: wonsangwellington@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3936-9705

Gestión de Comunicación, Publicación y Técnica

Difusión y Comunicación

*Gerencia de Comunicación Social y Asuntos
Públicos, ESPOL*

José Arturo Maldonado Moncayo, Ing.
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Community Manager

Patricia Alexandra Caballero Roldan, M.Sc
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Communication & DataBase Support

Irene Nicolle Puerto Del Salto
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Traducciones en idioma extranjero

English

Joyce Nan, BA.
Griffith University, Australia

Diseño, Diagramación y Portada

Kleber José Avelino Mosquera
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Informática

Contacto Soporte Técnico

Kleber José Avelino Mosquera
rte@espol.edu.ec
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Indexadores / Directorios



e-revist@s

REDIB | Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico



Identificadores



Sobre la revista

La **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** es una publicación digital, a la que se puede acceder de forma abierta y gratuita desde su sitio web <http://www.rte.espol.edu.ec>. Se encuentra registrada en varios indexadores y directorios de bases de datos y cuenta con un proceso de evaluación continua de nuevas formas de indexación que permiten dar mayor visibilidad a los artículos publicados y a sus autores.

RTE presenta llamadas programadas para envío de artículos a través de la plataforma Open Journal System, garantizando como mínimo la publicación de dos volúmenes al año. Sin embargo, cada año se producen y se garantiza volúmenes adicionales sobre una temática específica (como un Monográfico o Dossier) o ediciones especiales relacionadas a un evento científico o tecnológico, que recogen artículos o ponencias revisadas y aceptadas por pares ciegos antes de su publicación.

About the journal

The **Revista Tecnológica ESPOL - RTE** is a digital publication, which can be accessed freely and openly from its website <http://www.rte.espol.edu.ec>. It is registered in several indexers and database directories and has a continuous evaluation of new forms of indexing that give greater visibility to published articles and their authors.

RTE presents scheduled calls for article submission through the Open Journal System platform, guaranteeing the publication of at least two volumes per year. However, each year additional volumes are produced and guaranteed on a specific subject (such as a Monograph or Dossier) or special editions related to a scientific or technological event, which collects articles or papers reviewed and accepted by blind peers before publication.

Editorial

Con la finalidad de promover la investigación científica y tecnológica, la Revista Tecnológica Espol – RTE se complace en presentar a ustedes su nuevo Volumen 34 N° 2. En esta edición presenta la Sección abierta multidisciplinaria: Ingeniería sostenible, las TIC y Ciencias Sociales. Y la Sección especial: Logística y Administración de Cadenas de Suministro – Innovación, Diseño y Estrategia.

En la Sección abierta presentamos 10 artículos relacionados con variadas disciplinas como: Geología, agricultura, telecomunicaciones, física, gestión de proyectos, lengua extranjera, turismo, análisis político y educación. Para esta publicación hemos recibido importantes aportaciones de diferentes instituciones de educación superior y centros de investigación nacionales y extranjeros.

*Se expone sobre importantes tópicos relacionados con Ciencias de la Tierra y Alimentos, dentro de lo cual se presenta un artículo sobre el diseño experimental para la estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz; otra investigación que resume una evaluación sobre índices de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca; se muestra, además, una revisión de las características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón), un tubérculo que forma parte de la dieta nativa y se considera un alimento muy nutritivo.*

Adicionalmente tenemos estudios relacionados con Tecnologías, Física y Ciencias Sociales donde se propone variados temas como el diseño y simulación de antenas multibanda con polarización circular emplea una alimentación de microcinta sobre bandas de frecuencias determinadas; descripciones sobre el Constructo Teórico para la Gestión de Proyectos de Tecnología de Información, así como investigaciones en el área educativa sobre el desarrollo de las habilidades de comunicación oral de los estudiantes de inglés como Lengua Extranjera, haciendo uso de la aplicación WhatsApp; entre otros importantes temas de actualidad.

Por su parte la Sección especial: Logística y Administración de Cadenas de Suministro: Innovación, Diseño y Estrategia, presentamos varios de los mejores tópicos propuestos para el XXI Congreso Panamericano de Transporte y Logística, organizado por la Sociedad Panamericana de Investigación en Transporte y Logística, PANAMSTR. Para esta edición se hizo una convocatoria abierta, haciendo un llamado a autores interesados en compartir sus trabajos relacionados con temática del congreso.

La complejidad de la administración de la cadena de suministro y de las operaciones logísticas motiva a los investigadores en el área a proponer soluciones innovadoras, que ayuden a aumentar la competitividad de las organizaciones. Es por esto, que esta edición especial ha buscado presentar artículos que examinan diferentes áreas de la administración de cadenas de suministro y logística, como: logística humanitaria, diseño de redes, administración de inventario, evaluación de innovación y análisis financiero.

Editorial

Además, desde el punto de vista de innovación como estrategia clave para las organizaciones, se presenta una propuesta metodológica para encaminar empresas logísticas hacia la innovación. También, se incluye un caso de estudio de una propuesta de mejora estratégica de una organización en Perú, considerando su cadena de suministro y riesgo para clientes y proveedores.

Considerando aspectos sociales de los sistemas de abastecimiento, se incluyen trabajos relacionados a distribución de ayuda humanitaria, aplicando el modelo propuesto en Ecuador, y al diseño de redes colaborativas, introduciendo centros de acopio para pequeños productores agrícolas en Colombia.

Finalmente, para el apoyo de decisiones estratégicas, se presenta la propuesta de una política de inventario, considerando restricciones en los tiempos de pedidos y variabilidad en la entrega, que es validada a través de simulaciones de varios escenarios. Además, se incluye una evaluación económica preliminar del efecto del Covid-19 en el sector de transporte pesado de Pichincha-Ecuador, para proponer políticas de control y activación del sector.

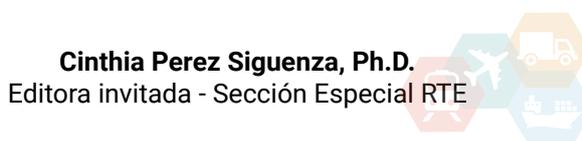
La variedad de problemas y métodos presentados en esta edición multidisciplinaria permite aportar a la literatura, tanto para investigadores y profesionales que estén interesados en aportar al conocimiento científico, también en las áreas de Ingeniería sostenible, las TIC y Ciencias Sociales, así como en tópicos relacionados con Cadena de Suministro y Operaciones Logísticas apalanquen la competitividad organizacional.

Agradecemos a los autores, revisores y editores involucrados en la publicación de esta edición, por su trabajo y confianza en nuestra revista.

¡Bienvenidos y disfruten su Revista RTE!



Nayeth Solórzano Alcivar, Ph.D.
RTE Editora en Jefe



Cinthia Perez Siguenza, Ph.D.
Editora invitada - Sección Especial RTE

Editorial

*In order to promote scientific and technological research, the Revista Tecnológica Espol – RTE is pleased to present its new Volume 34 N°2. This edition presents the **Multidisciplinary open section: Sustainable Engineering, ICTs, and Social Sciences**. And the **Especial section: Logistics and Supply Chain Management – Innovation, Design, and Strategy**.*

In the open section, we present 10 articles related to the various disciplines such as Geology, Agriculture, Telecommunications, Physics, Project Management, Foreign Language, Tourism, Political Analysis, and Education. We have received important contributions from different national and foreign higher education institutions, and research centers for this publication.

*Important topics related to Earth and Food Sciences are presented. One paper describes the experimental design for the stabilization of expansive clays with volcanic ash and rice husk ash. Another research summarizes an evaluation of point load indexes and their relationship with dimensions in regular rock blocks. It also shows a review of the physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds in three different varieties of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón), a tuber that is part of the native diet and is considered a very nutritious food.*

Additionally, we have studies related to Technology, Physics, and Social Sciences where various topics are proposed, such as the design and simulation of multiband antennas with circular polarization using a microstrip feed on certain frequency bands. Another paper describes a theoretical construct for the management of information technology projects, as well as research in the educational area on the development of oral communication skills of students of English as a foreign language, using the WhatsApp application; among other important papers about current issues.

*For its part, the **Special section: Logistics and Supply Chain Management: Innovation, Design, and Strategy**, presents several of the best topics proposed for the XXI Pan American Congress on Transport and Logistics, organized by the Pan American Society for Research in Transport and Logistics, PANAMSTR. For this edition, an open call for paper was made, attracting authors interested in sharing their work related to the theme of the congress.*

The complexity of supply chain management and logistics operations motivates researchers in the field to propose innovative solutions that help increase the competitiveness of organizations. This is why this special edition has sought to present articles that examine different areas of supply chain management and logistics, such as humanitarian logistics, network design, inventory management, innovation assessment, and financial analysis.

In addition, from the point of view of innovation as a key strategy for organizations, a methodological proposal is presented to guide logistics companies towards innovation. It also includes a case study of a proposal for strategic improvement of an organization in Peru, considering its supply chain and risk for customers and suppliers.

Considering social aspects of supply systems, works related to the distribution of humanitarian aid are included, applying the model proposed in Ecuador, and the design of collaborative networks, introducing collection centers for small agricultural producers in Colombia.

Finally, to support strategic decisions, the proposal of an inventory policy is presented, considering restrictions on orders time and variability in delivery, which is validated through simulation of various scenarios. In addition, a preliminary economic evaluation of the effect of Covid-19 on the heavy transport sector of Pichincha-Ecuador is included to propose control and activation policies for the sector.

The variety of problems and methods presented in this multidisciplinary edition, allows contributing to the literature, both for researchers and professionals who are interested on provide new scientific knowledge in the areas of Sustainable Engineering, ICTs, and Social Sciences. Just as in topics related to Supply Chain and Logistics Operations that leverage organizational competitiveness.

We thank the authors, reviewers, and editors involved in the publication of this issue for their work and trust in our journal.

Welcome and enjoy your RTE Magazine!

Nayeth Solórzano Alcivar, Ph.D.
RTE Editor in Chief

Cinthia Perez Siguenza, Ph.D.
Guest editor – Special Section RTE

Índice

Sección abierta multidisciplinaria: Ingeniería sostenible, las TIC y Ciencias Sociales

Artículos en español

- 15 *Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz*
- 29 *Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca*
- 41 *Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Una revisión*
- 52 *Análisis gráfico de la rapidez angular del movimiento circular en tiempo real a partir de un dispositivo para el laboratorio de Física*
- 64 *Sistema de radiación doble banda con polarización circular*
- 85 *Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos*
- 105 *Constructo teórico para la gestión de proyectos de tecnología de información*
- 125 *Evaluación de sitios turísticos mediante análisis de sentimientos de comentarios emitidos por usuarios en redes sociales*
- 140 *Revocatoria de mandato en Ecuador (1998-2018)*

Artículos en inglés

- 155 *Improving oral communication skills of English learners with voice messages and short videos*

Índice

Sección especial: Logística y Administración de Cadenas de Suministro - Innovación, Diseño y Estrategia

Artículos en español

- 166 *Modelo de optimización para el problema de localización y ruteo vehicular en la distribución de ayuda humanitaria*
- 181 *Diseño de políticas de Inventario para una institución pública utilizando Modelos de Simulación*
- 196 *Propuesta de mejora en la dirección de proyectos en una empresa de saneamiento*
- 214 *Impacto de la Pandemia de COVID -19 en el sector del transporte pesado de carga: Empresas de la Provincia de Pichincha como caso de estudio*
- 228 *Caso práctico de localización óptima de centros logísticos para agro-productores*

Artículos en inglés

- 247 *Methodological proposal to improve organizational innovation in the logistics sector of Cartagena, Colombia*

**Sección abierta
multidisciplinaria:
Ingeniería sostenible,
las TIC y
Ciencias Sociales**



Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz

Stabilization of expansive clays with volcanic ash and rice husk ash

Mercedes Villacís Troncoso¹ <https://orcid.org/0000-0002-8465-8437>, Germán Luna Hermosa¹ <https://orcid.org/0000-0002-1963-9061>, Gilles Escadeillas² <https://orcid.org/0000-0003-1569-4685>, Karina Román Solórzano¹ <https://orcid.org/0000-0003-4100-5695>, Cristhian Licuy Ordóñez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7911-4558>, Liseth Orbe Pinchao¹ <https://orcid.org/0000-0001-9144-945X>, Paúl Zúñiga Morales¹ <https://orcid.org/0000-0002-6218-8737>, Víctor Guerrero Barragán³ <https://orcid.org/0000-0002-8465-8437>

¹*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA), Quito, Ecuador*

mercedes.villacis@epn.edu.ec, german.luna@epn.edu.ec, karinaroman27@hotmail.com, cristhianabel69@gmail.com, liseth.orbep@epn.edu.ec, paul.zunigam@epn.edu.ec

²*LMDC, INSA / Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia*
gilles.escadeillas@insa-toulouse.fr

³*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador*
victor.guerrero@epn.edu.ec

Enviado: 2021/05/18

Aceptado: 2022/03/08

Publicado: 2022/06/30

Resumen

Una arcilla expansiva es aquella que sufre grandes variaciones de volumen según los cambios de humedad a los que está expuesta, produciendo una expansión con el aumento de humedad y una contracción con la disminución. Este fenómeno genera problemas significativos en las obras que deben cimentarse sobre este tipo de suelo. El diseño experimental consiste en efectuar pruebas de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de 3 muestras de arcilla expansiva, las que se comparan con muestras de suelo estabilizadas. La estabilización se realiza mediante el reemplazo de suelo por varios porcentajes de ceniza, para controlar su cambio de volumen. Para ello, se usan dos tipos de cenizas, la primera proveniente

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Villacís, M., Luna, G., Escadeillas, G., Román, K., Licuy, C., Zúñiga, P. & Guerrero, V. (2022). Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 15-28. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/887>

del volcán Tungurahua y la otra de origen orgánico (ceniza de cascarilla de arroz), combinadas en una proporción de partes iguales (50% - 50% en peso). Los ensayos se aplican sobre muestras de suelo con los reemplazos del 10%, 20% y 30% en peso del suelo arcilloso, por la mezcla estabilizadora de cenizas. La combinación de ceniza en la masa del suelo logra una reducción del efecto de cambio de volumen típico de las arcillas expansivas puras, una disminución del límite líquido, un descenso de la gravedad específica, disminución del índice de expansión e incremento en la resistencia al corte y coeficiente de consolidación.

Palabras clave: Suelos, expansión, puzolana natural, mezcla estabilizante, ceniza volcánica, ceniza cascarilla de arroz.

Abstract

An expansive clay undergoes large variations in volume according to the changes in humidity to which it is exposed, producing an expansion with increasing humidity and a contraction with its reduction. This phenomenon generates significant problems in the works that must be founded on this type of soil. This experimental design consists of laboratory tests to determine the physical and mechanical properties of three samples of expansive clay compared to stabilized soil samples. Stabilization is obtained by replacing the soil with various percentages of ash to control its volume change. For this purpose, two types of ashes are used: the first one from the Tungurahua volcano and the other of organic origin (rice husk ash), combined in a proportion of equal parts (50% - 50% by weight). The tests were applied on soil samples with replacements of 10%, 20%, and 30% by weight of the clayey soil, by the ash stabilizing mixture. The combination of ash in the soil mass achieves a reduction of the volume change effect typical of pure expansive clays, a reduction in the liquid limit, a decrease of the specific gravity, a decrease of the expansion index, and an increase of the shear strength and consolidation coefficient.

Keywords: Soil, expansion, natural pozzolan, stabilizing mixture, replacement.

Introducción

En la construcción de obras civiles, el suelo es un elemento fundamental a tener en cuenta, ya que, el tipo de cimentación que se utilice y la estabilidad de la estructura dependerán de la capacidad portante del suelo y de las características físicas y mecánicas del material en donde han de emplazarse. Ecuador tiene una amplia variedad de suelos, cada uno con distintas propiedades, existen suelos cuyas características no permiten albergar los cimientos de una estructura de forma segura; uno de ellos es la llamada arcilla expansiva. En consecuencia, en las arcillas expansivas se da el fenómeno cíclico de hinchamiento/encogimiento, que implica que las arcillas se hinchan al humedecerse, luego se secan para encogerse (parcialmente o completamente), cuando se humedecen nuevamente se hinchan y al secarse se vuelven a encoger (Basma et al., 1996).

Debido a la variación de humedad en los suelos expansivos, se producen daños como afectación de tuberías, deformación y agrietamiento de pavimentos, fisuración en elementos estructurales e incluso rotura de la cimentación, entre otros. Estos daños en las estructuras afectan especialmente a las edificaciones ligeras como: casas, vertederos, muros y pavimentos (*NEC-SE-CM*, n.d.). Por esta razón, estos suelos requieren tratamientos para poder realizar una construcción sobre ellos.

Actualmente, se pueden estabilizar estas arcillas con diferentes productos, los más utilizados son cemento y/o cal, un ejemplo de los múltiples estudios que existen sobre el uso

de estos materiales es el de Ganta (2017), además se emplean mezclas de polímeros y puzolanas de origen natural junto con la acción de un agente alcalinizante (Cheng et al, 2018).

Materiales y Métodos

Materiales

Este estudio consistió en comparar las propiedades de la muestra de arcillas expansivas naturales y estabilizadas, con una combinación de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y ceniza del volcán Tungurahua (CV), en una proporción del 50% de cada una, y con esta combinación se reemplazó el suelo arcilloso en porcentajes del 10%, 20% y 30% en peso, compactado al 95% del proctor modificado (Bose, 2020) (Tabla 1).

Tabla 1

Porcentaje de reemplazo en peso de cenizas CV y CCA en arcillas

MUESTRA DE ARCILLA	% SUSTITUCIÓN SUELO POR CENIZAS EN PESO	COMBINACIÓN DE CENIZAS EN PESO	
		% CENIZA VOLCÁNICA	% CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ
M1	10	50	50
	20	50	50
	30	50	50
M2	10	50	50
	20	50	50
	30	50	50
M3	10	50	50
	20	50	50
	30	50	50

Las características físicas y mecánicas de las muestras de suelo en estado natural y suelo estabilizado, en condición compactada, se obtuvieron mediante pruebas estandarizadas por la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) como contenido de humedad (ASTM D2216, 2010), Límites de Atterberg (ASTM D4318, 2017), Distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos mediante análisis por tamizado (ASTM D6913, 2017), Clasificación SUCS (ASTM D2487, 2017), Gravedad específica (ASTM D854, 2014), Compactación método proctor modificado (ASTM D1557, 2012), Permeabilidad (ASTM D2434, 2006), Índice de expansión (ASTM D4829, 2011), Consolidación (ASTM D2435, 2011) y Corte directo (ASTM D3080, 2011) (Kataoka et al, 2017).

Ceniza volcánica (CV)

La ceniza volcánica se obtuvo del volcán Tungurahua en la quebrada de Achupashal, donde se ubican múltiples depósitos de material piroclástico originados por la erupción del 14 de julio de 2013 (Manosalvas, 2014).

Para la extracción de la puzolana de ceniza volcánica, se realizó la trituration de rocas de ceniza. La muestra fue pulverizada en un gran porcentaje utilizando la máquina de los Ángeles, aplicando 500 revoluciones y 12 esferas. Posteriormente fue tamizada sobre el tamiz N°200 (0.075 mm).

Dado que la muestra que pasa el tamiz No. 200 se cataloga como puzolana de alto contenido de sílice (Cheng et al, 2018), para el estudio se utilizó el material de ceniza volcánica con tamaño menor que 0,075 mm. En cuanto a la composición mineralógica de la ceniza, esta puede observarse en la Tabla 2.

Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

Las muestras de cascarilla de arroz se obtuvieron de la Piladora de Arroz Andrango, situada en el Recinto Cupa del Cantón Quinindé en la Provincia de Esmeraldas.

El material utilizado fue sujeto a un proceso de molienda manual y tamizado sobre el tamiz N° 200 (0.075 mm), luego de ser sometido a acción térmica durante 2 horas, en un horno eléctrico a una temperatura controlada de 700 °C, para lograr un contenido de puzolana de buena calidad, (Cheng et al, 2018). El material utilizado fue aquel con tamaño menor que 0,075 mm. El análisis mineralógico se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Composición mineralógica de las cenizas CV y CCA

MINERAL	NOMENCLATURA	CENIZA VOLCÁNICA	CENIZA CASCARILLA DE ARROZ
		%	%
Óxido de silicio	SiO ₂	56,69	93,2
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	18,12	0,11
Óxido férrico	Fe ₂ O ₃	6,79	0,29
Óxido de sodio	Na ₂ O	4,38	0,15
Óxido de calcio	CaO	6,26	0,54
Óxido de potasio	K ₂ O	1,96	2,3
Óxido de magnesio	MgO	3,26	0,89
Óxido de titanio	TiO ₂	0,93	0,05
Óxido fosfórico	P ₂ O ₅	0,29	0,42
Óxido de manganeso	Mn ₂ O ₃	0,17	0,95

Muestras de arcilla

Las muestras de arcilla estudiadas provienen de la provincia de Manabí, ubicada en la costa ecuatoriana, específicamente de las zonas de las ciudades de Rocafuerte y Tosagua. (Tabla 3).

Tabla 3

Localización de las arcillas expansivas estudiadas

MUESTRA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
M1	0°55'36.5"S	80°28'48"W	29 m.s.n.m
M2	0°55'1.7"S	80°25'56.2"W	23 m.s.n.m
M3	0°47'45.1"S	80°15'01"W	19 m.s.n.m

Las características mineralógicas de las arcillas utilizadas pueden ser observadas en la Tabla 4 y los resultados mecánicos constan en la Tabla 5.

Tabla 4*Composición mineralógica de las arcillas estudiadas*

MINERAL	FÓRMULA	MUESTRA		
		M1	M2	M3
		%	%	%
Caolinita	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	30	25	15
Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2$	2	2	5
Cuarzo	SiO_2	16	20	25
Grupo plagioclasas (albita, andesita, anorfita)	$(Na,Ca)Al(Si, Al)Si_2O_8$	13	15	24
Diópsido	$CaMgSi_2O_6$	12	13	11
Mordenita	$(Na_2,Ca,K_2)_4(Al_8Si_{40})O_{96}.28H_2O$	7	8	9
Muscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	6	5	3
Magnetita	Fe_3O_4	5	3	3
Gypsum	$CaSO_4.2H_2O$	5	2	2
Cordierita	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	2	1	1
Hematita	Fe_2O_3	1	1	1
Pargasita	$NaCa_2(Mg_4Al)(Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$	1	4	2
Crossita	$Na_2(Mg,Fe)_3(Al,Fe)_2Si_8O_{22}(OH)_2$	1	1	1

Métodos**Ensayos físicos***Contenido de humedad*

El contenido de humedad es la relación entre la masa de agua contenida en el suelo y la masa del suelo seco y se realiza de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D2216.

Límites de Atterberg

Los límites de consistencia de un suelo se dividen en límite líquido y límite plástico y la diferencia entre estos se denomina índice de plasticidad. El límite líquido se define como el contenido de humedad con el que un suelo cambia de estado plástico a líquido. El límite plástico es el contenido de humedad con el que un suelo cambia de estado semisólido a plástico.

El ensayo para determinar los límites de Atterberg de las muestras de suelo analizadas se realizó a base de lo indicado en la norma ASTM D4318.

Granulometría

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. El ensayo fue ejecutado acorde a la norma ASTM D6913.

Clasificación de suelos SUCS

Con los resultados de los ensayos enunciados anteriormente, se procedió a realizar la clasificación de las muestras en estado natural de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D2487. El tipo de suelo al que corresponden las muestras estudiadas, se indican en la Tabla 5.

Gravedad específica

La gravedad específica, también como densidad de sólidos o densidad relativa, se define como la relación entre la densidad de una sustancia con la densidad del agua a 20 °C.

(Das, 2015). En la Tabla 5, se señalan los valores obtenidos para esta propiedad, luego de haber ejecutado el ensayo de laboratorio según la norma ASTM D854.

Compactación

El ensayo de compactación fue realizado de acuerdo con la norma ASTM D1557 para conocer los valores de humedad óptima y densidad seca máxima de las muestras naturales, necesarios para remoldear las muestras sustituidas con puzolana.

Permeabilidad

La permeabilidad es un parámetro físico definido como la capacidad del suelo para permitir el paso del agua sin que ésta altere su estructura, se puede cuantificar mediante el coeficiente de permeabilidad, el cual se determina con la metodología planteada en la norma ASTM D2484.

Se pudo conocer el coeficiente de conductividad hidráulica o permeabilidad (K), mediante la aplicación de una carga constante. Los resultados obtenidos de permeabilidad se visualizan en la Tabla 5

Índice de expansión

El índice de expansión en suelos es un indicador que permite conocer que tan expansivo es un suelo. Se considera un parámetro fundamental para determinar si una arcilla expansiva se ha podido estabilizar. El potencial expansivo de un suelo se puede clasificar en función del valor de índice de expansión, la Tabla 5 indica los valores calculados para las muestras objeto de estudio. La prueba fue realizada según lo indicado en la norma ASTM D4829.

Ensayos mecánicos

Consolidación

La consolidación se define según como la reducción gradual de volumen del suelo por compresión debido a la aplicación de esfuerzos y es causada por la pérdida de aire, agua, o por un reajuste de las partículas sólidas del suelo (Das, 2015).

La prueba realizada consistió en la aplicación de una carga a una muestra de suelo confinado, para provocar una consolidación en una dimensión, siguiendo los procedimientos indicados en la norma ASTM D2435. Los valores de coeficientes de consolidación (C_v), resultado del ensayo, para las diferentes muestras se pueden observar en la Figura 1, Figura 2 y Figura 3.

Corte directo

La resistencia cortante de un suelo es aquella resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior. Para definir la resistencia al corte de suelos se utiliza la envolvente de falla de Mohr-Coulomb, la misma que permite conocer la cohesión y ángulo de fricción de los suelos. (Das, 2015).

Los ensayos de corte directo se ejecutaron acorde con la norma ASTM D3080 y los valores de cohesión y ángulo de fricción constan en la Tabla 5.

Microscopio electrónico de barrido

El microscopio electrónico de barrido es un equipo de gran versatilidad que permite obtener información estructural y química de la muestra. Su funcionamiento consiste en hacer incidir un haz de electrones sobre la muestra, los cuales al interactuar con ella generan partículas y radiación, que, al ser captadas por los detectores, permiten formar una imagen

ampliada o realizar un análisis químico de la muestra. En el presente trabajo se utilizó la señal de los electrones secundarios que son arrancados de los átomos de la muestra y proporcionan información de su superficie, incluyendo su morfología, obteniendo imágenes con resoluciones de 100 μm y 20 μm las cuales se presentan en la Tabla 6 (Goldstein, y otros, 2003).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos de los ensayos físicos y mecánicos realizados en muestras naturales de arcillas expansivas y en suelos estabilizados, se muestran en la Tabla 5 y Figura 1, donde se puede evidenciar, que la combinación de las dos cenizas mejoró las propiedades de las tres muestras de suelo arcilloso de naturaleza expansiva analizadas (Atemimi, 2020).

Tabla 5

Resultados de los ensayos con reemplazo de mezcla de cenizas

Muestra	Sustitución (%)	Límite plástico	Límite líquido	Índice de plasticidad	Clasificación de suelos SUCS	Gravedad específica Gs	Coefficiente de permeabilidad	Índice de expansión	Potencial de expansión	Ángulo de fricción	Cohesión
		(%)	(%)	(%)		(g/cm ³)	K (cm/s)			ϕ (°)	
M1	NATURAL	89	37	52	CH	2,78	4,2272E-06	175,53	Muy Alto	30,96	0,23
	10	44	74	30	MH	2,73	No permeable	102,925	Alto	41,67	1,027
	20	32	63	31	MH	2,68	No permeable	67,438	Medio	50,43	0,9
	30	34	61	27	MH	2,64	No permeable	57,288	Medio	51,34	0,87
M2	NATURAL	83	30	53	CH	2,75	1,605E-06	135,66	Muy Alto	18,26	0,3
	10	30	69	39	CH	2,62	No permeable	78,93	Medio	46,12	1,24
	20	31	67	36	CH	2,6	No permeable	73,55	Medio	50,89	0,975
	30	26	64	38	CH	2,58	No permeable	58,29	Medio	54,65	0,945
M3	NATURAL	67	24	42	CH	2,78	1,90685E-06	83,25	Medio	18,26	0,51
	10	30	69	39	CH	2,62	No permeable	67,04	Medio	31,8	0,95
	20	26	55	29	CH	2,58	No permeable	54,98	Medio	36,87	1,31
	30	25	57	32	CH	2,55	5,36E-09	48,58	Bajo	45	1,34

La nomenclatura ‘no permeable’ de la Tabla 5, según la norma ASTM D 2484, hace referencia a valores de coeficientes de permeabilidad menores a 1.00E-9.

En los resultados obtenidos de las pruebas físicas y mecánicas llevadas a cabo (Tabla 5), se observa una mejora significativa en todas las propiedades del suelo estabilizadas con un reemplazo del 20% para las tres muestras. En comparación, con un 30% de reemplazo, las mejoras no fueron sustanciales, a partir de este porcentaje se estabilizan las propiedades, lo que significa que hay un límite donde el reemplazo será efectivo.

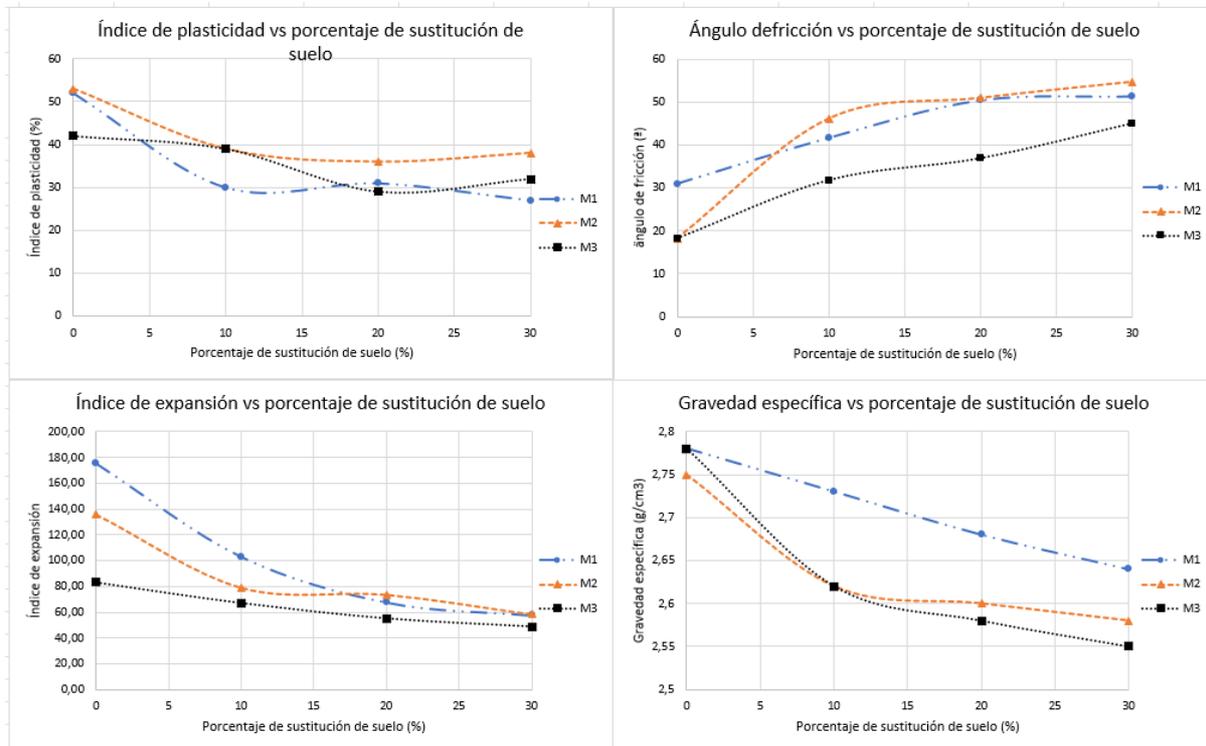
El límite líquido de las muestras estabilizadas disminuye considerablemente con el aumento del porcentaje de cenizas. Mientras que en el límite plástico se muestra un aumento entre la muestra natural y el reemplazo del 10% de ceniza, sin embargo, al aumentar el porcentaje de reemplazo, los valores del límite plástico disminuyen con respecto al primer porcentaje de reemplazo.

Se observa una disminución en el índice de plasticidad, resultando en una reducción en el índice de expansión y por ende en el potencial de expansión. Dado que la actividad expansiva

de las arcillas es directamente proporcional al índice plástico, según Skempton (Sridharan y Nagaraj, 2005).

Figura 1

Gráficos de propiedades analizadas



La disminución de la gravedad específica determina que existe una reducción del peso unitario de las partículas sólidas, esto se debe principalmente a la presencia de ceniza de cáscara de arroz, la cual tiene una densidad menor que la de las arcillas expansivas y la ceniza volcánica (Sivrikaya, et al, 2008).

Las cenizas actuaron cambiando las características del suelo generando una estructura más compacta e impermeable, esto fue evidenciado en la prueba de permeabilidad, donde se sometió a una presión constante de 3 kg/cm^2 durante 100 horas continuas, muestras cilíndricas de 3,5 cm de diámetro y 7 cm de altura. No se evidenció flujo de agua, excepto para la muestra M3-30%.

Los valores del índice de expansión disminuyen significativamente con el aumento de los porcentajes de sustitución de la mezcla de cenizas, cambiando de un potencial de expansión muy alto a medio para las muestras M1 y M2 y de un potencial medio a bajo para la muestra M3.

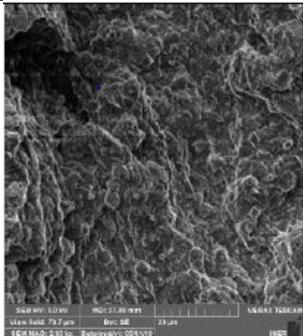
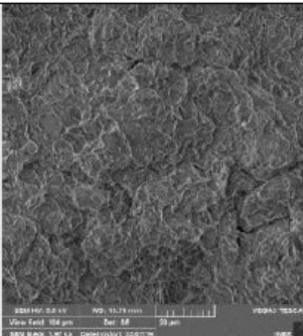
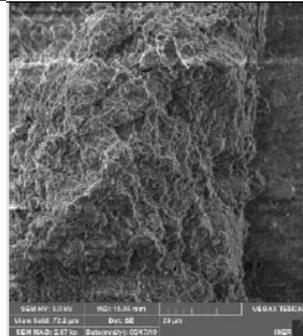
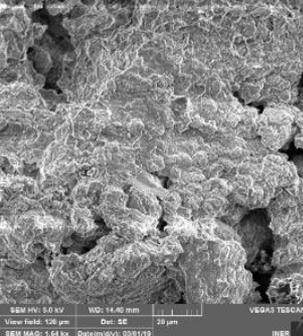
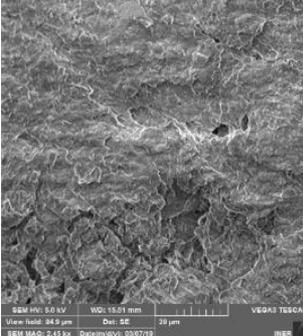
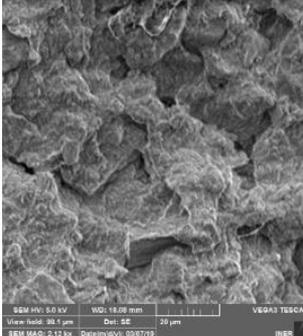
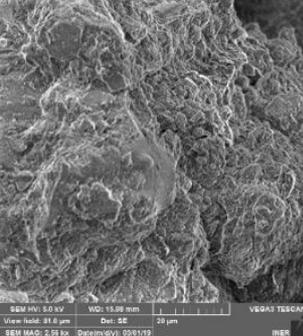
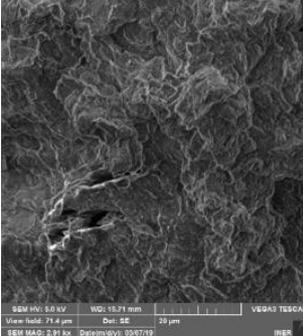
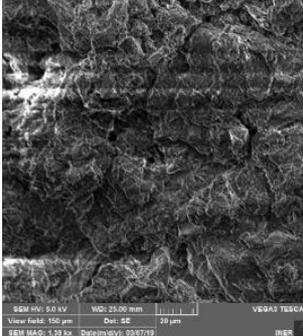
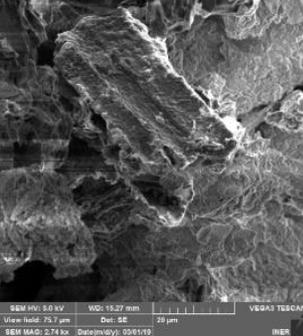
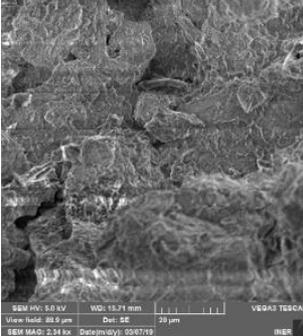
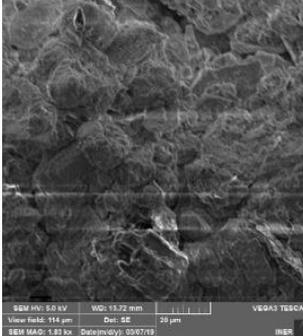
El ensayo de corte directo mostró una mejora significativa en sus parámetros de cohesión y ángulo de fricción, debido a la adición de mezcla de cenizas, las arcillas obtuvieron una excelente resistencia al cizallamiento (Tabla 5).

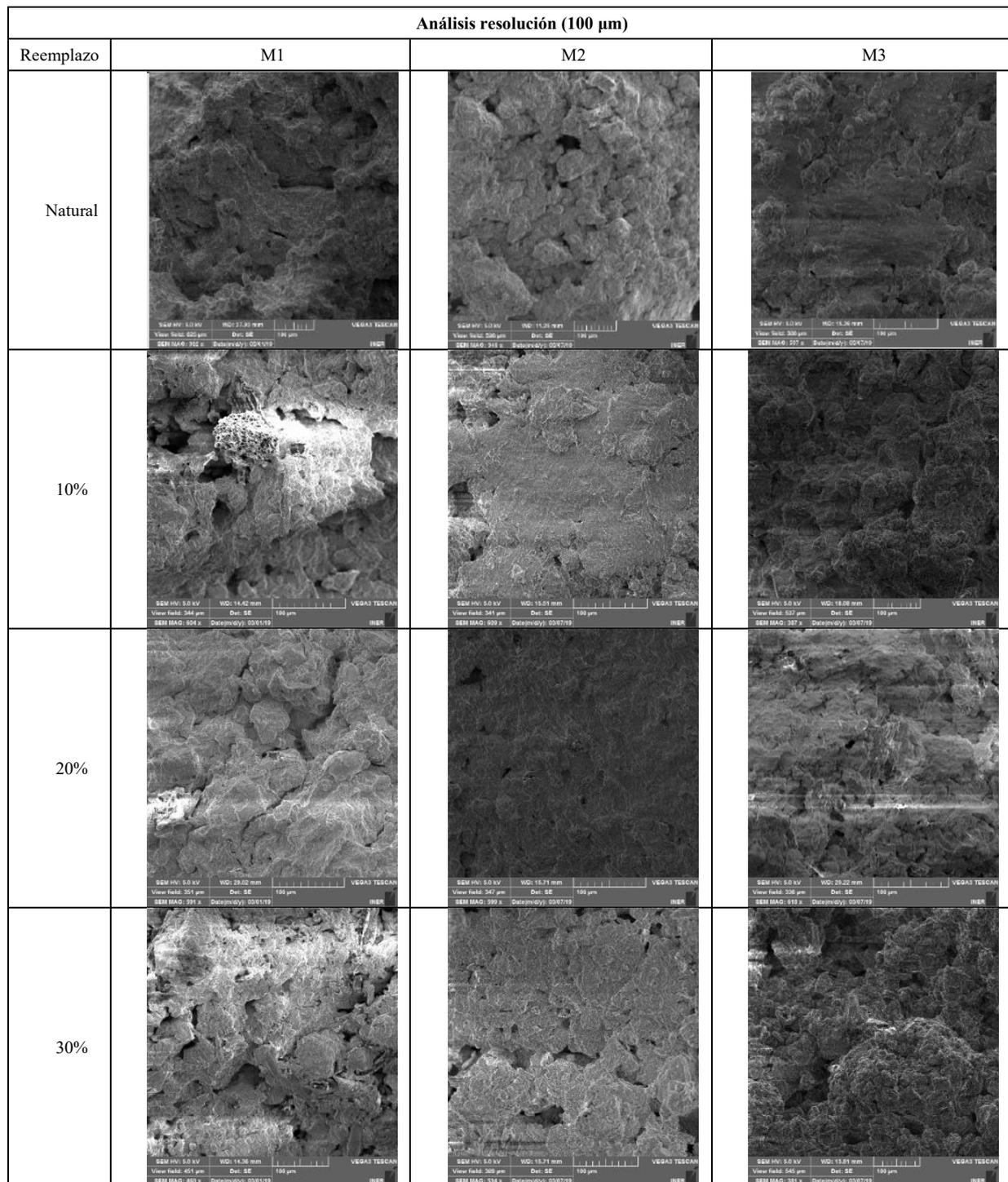
En las imágenes del microscopio electrónico de barrido (Tabla 6), se muestran cambios en la estructura de la arcilla, especialmente en el reemplazo del 20%, donde una estructura más compacta mostró que está en línea con la reducción del coeficiente de permeabilidad, lo que

influye en una disminución del potencial de expansión y a su vez, mejora la resistencia al corte (Tabla 5).

Tabla 6

Resultados con microscopio electrónico de barrido de las muestras de arcilla naturales y estabilizadas

Análisis resolución (100 µm)			
Reemplazo	M1	M2	M3
Natural			
10%			
20%			
30%			



Los coeficientes de consolidación C_v se incrementan a medida que aumenta el porcentaje de ceniza, se puede observar que, en los resultados del 10% de adición de la mezcla de cenizas, se consigue una disminución considerable del coeficiente de consolidación, en los porcentajes de 20 y 30% existe un aumento del valor de C_v . Estos valores están directamente relacionados con el hecho de que, a medida que aumenta el límite líquido del suelo, el C_v disminuye. El coeficiente de consolidación puede ser calculado en función de la permeabilidad del suelo, el coeficiente volumétrico de compresibilidad M_v y la densidad del agua, donde nuevamente se verifica el comportamiento de C_v . Lo anteriormente descrito permite concluir que a valores menores de C_v se llega a tener valores mayores de factor tiempo. Los resultados de las pruebas de consolidación, realizadas con cinco estados de carga y 3 de descarga (1, 2, 4, 8, 16, 4, 1 y 0) kg / cm^2 , se pueden observar en la Figura 2, Figura 3, Figura 4 y Tabla 7.

Tabla 7
Resultados de ensayo de consolidación

Muestra	Sustitución (%)	COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN - C_v (mm ² /s)						
		ESTADOS DE CARGA (Kg/cm ²)						
		1	2	4	8	16	4	1
M1	NATURAL	2,768	2,89	5,185	7,57	8,639	3,528	1,633
	10%	13,33	5,743	2,554	1,005	0,559	0,676	0,257
	20%	13,61	9,498	5,938	0,854	0,569	0,393	0,473
	30%	25,77	19,02	10,47	0,3998	1,877	0,553	0,743
M2	NATURAL	9,587	8,3	8,315	2,349	5,512	1,185	0,098
	10%	19,49	4,296	7,004	9,103	0,405	1,484	0,149
	20%	9,305	4,574	10,34	3,927	1,81	4,888	0,437
	30%	32,64	9,023	14,74	12,84	0,944	4,295	0,741
M3	NATURAL	10,27	18,53	10,87	6,33	0,373	3,689	0,073
	10%	36,73	19,73	18,85	8,494	2,132	1,375	0,348
	20%	49,2	20	17,43	11,73	1,579	1,637	0,72
	30%	42,66	28	39,52	12,77	5,672	8,098	2,796

Figura 2

Resultados ensayo de consolidación, muestra M1

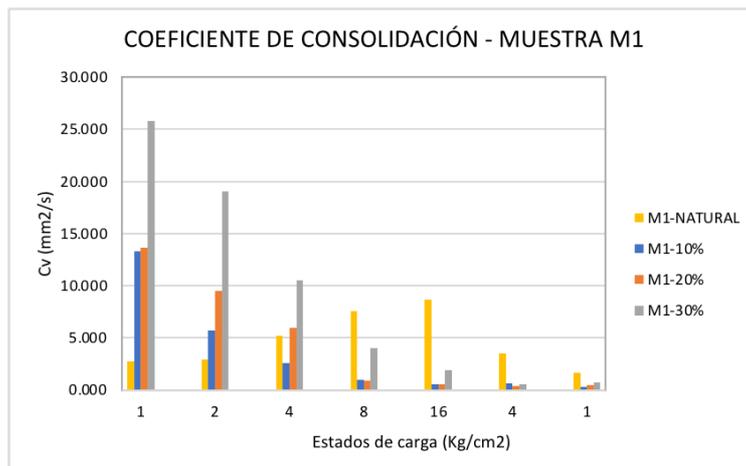


Figura 3

Resultados ensayo de consolidación, muestra M2

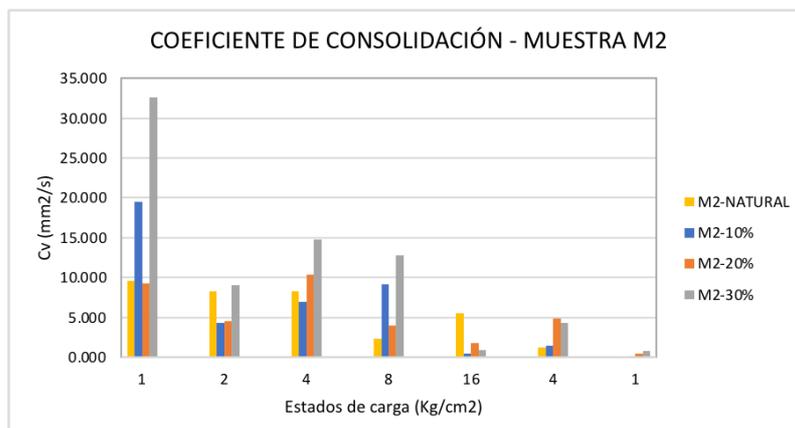
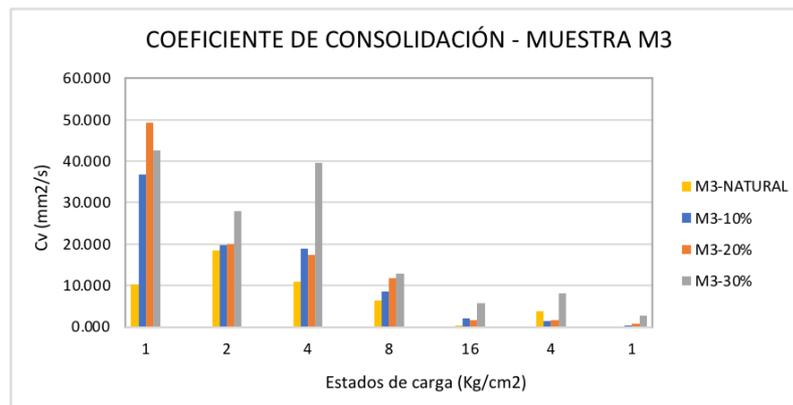


Figura 4*Resultados ensayo de consolidación, muestra M3*

Conclusiones

- A base de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el uso de la combinación de las dos cenizas (ceniza volcánica y ceniza de cascarillas de arroz) mejora las propiedades físicas, mecánicas y composición de los suelos arcillosos de naturaleza expansiva.
- El porcentaje de sustitución óptimo de las cenizas constituye el 20%, ya que, para un porcentaje mayor, la mejora de las propiedades de las muestras no es representativa.
- Las muestras con reemplazo de ceniza exhiben una disminución en el índice de plasticidad, resultando una reducción en el índice y potencial de expansión.
- La gravedad específica en las muestras estabilizadas disminuye con la sustitución de cenizas, debido principalmente a la presencia de ceniza de cascarilla de arroz.
- Las cenizas generan una estructura más compacta e impermeable en el suelo, esto se puede visualizar en las fotografías del microscopio electrónico de barrido y comprobar en el ensayo de permeabilidad, donde el flujo de agua es nulo y extremadamente bajo, para las muestras M1, M2 y M3, respectivamente.
- Los valores del índice de expansión disminuyen significativamente con el aumento de los porcentajes de sustitución de la mezcla de cenizas y, por lo tanto, el potencial de expansión también se reduce.
- Las muestras estabilizadas presentan una mejora en su resistencia al corte, aumentando su cohesión y ángulo de fricción.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación “PIS17-11 Estabilización de arcillas esmectitas o expansivas mediante la mezcla de puzolana de la ceniza de arroz y ceniza volcánica del Tungurahua juntas y de forma individual”. Forma parte de la Tesis: Estabilización de arcillas esmectitas o expansivas mediante la mezcla de puzolana de la ceniza de arroz y ceniza volcánica del Tungurahua juntas y de forma individual.

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito-Ecuador, durante la ejecución de los ensayos necesarios para la elaboración de esta investigación.

Referencias

- ASTM D3080. (2011). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- ASTM D4318. (2017). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*.
Alonso, E. E., Vaunat, J., & Gens, A. (1999). Modelling the mechanical behaviour of expansive clays. *Engineering Geology*, 54(1), 173-183. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00079-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00079-4)
- Angelone, S., Garibay, M., & Cauhapé, M. (2006). *Permeabilidad de Suelos*. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.
- ASTM D854. (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.
- ASTM D1557. (2012). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*.
- ASTM D2216. (2010). *Test Method for Laboratory Determination of Water Content of Soil and Rock*.
- ASTM D2434. (2006). *Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*.
- ASTM D2435. (2011). *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*.
- ASTM D2487. (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*.
- ASTM D4829. (2011). *Standard Test Method for Expansion Index of Soils*.
- ASTM D6913. (2017). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*.
- Atemimi, Y. K. (2020). *Effect of the grain size of sand on expansive soil*. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.857.367
- Basma, A. A., Al-Homoud, A. S., Husein Malkawi, A. I., & Al-Bashabsheh, M. A. (1996). Swelling-shrinkage behavior of natural expansive clays. *Applied Clay Science*, 11(2), 211-227. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(96\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(96)00009-9)
- Bose, B. (2020). *Correlation of compressibility behaviour with activity of clay*. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(3), 828-832. Retrieved from www.scopus.com
- Cheng, Y., Wang, S., Li, J., Huang, X., Li, C., & Wu, J. (2018). *Engineering and mineralogical properties of stabilized expansive soil compositing lime and natural pozzolans*. Elsevier, 187 Beijing, China. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.061.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Cengage Learning Editores, S.A., México.
- Ganta, S. (2017). *Soil Stabilization with Rice Husk Ash and Lime Sludge*. *International Journal of Research*, 4(14): 1112 – 1119.
- Goldstein, J., Newbury, D., Echlin, P., Lyman, C., Lifshin, E., Sawyer, L., & Michael, J. (2003). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Kataoka, S., Shibuya, S., & Uematsu, S. (2017). *Ensayos de laboratorio y terraplen a gran escala de la mezcla de escoria y suelo de grano fino*. Paper presentado en la ICSMGE 2017 - 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2017-September 939-942.
- Manosalvas, S. (2014). Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/detectores-de-lahares/content/18-tungurahua>.

- Moreno, S., & Rodríguez, J. (2013). *Determinación de las propiedades índices y mecánicas de los suelos expansivos en la vía San Mateo-Esmeraldas zona de Winchele, realizando los ensayos con agua potable y con agua de mar*. Repositorio digital PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6236>
- NEC-SE-CM (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2021, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CM.pdf>
- Sivrikaya, O., Togrol, E., & Kayadelen, C. (2008). *Estimating compaction behavior of fine-grained soils based on compaction energy*. Canadian Geotechnical Journal, 45(6), 877-887. DOI:10.1139/T08-022
- Sridharan, A., & Nagaraj, H. B. (2005). *Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils*. Ground Improvement, 9(1), 17-22. doi:10.1680/grim.9.1.17.58544
- Syahril, S., Somantri, A. K., & Haziri, A. A. (2020). Estudios de las características del suelo arcilloso estabilizado utilizando cenizas volcánicas y relaves como capas de subrasante. Paper presentado en la IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 830(2) doi:10.1088/1757-899X/830/2/022043

Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca

Point load test Index and its relation with dimensions in regular rock block

Ernesto Feijoo Calle¹ <https://orcid.org/0000-0001-6901-7933>,

Emmanuel Choco Salinas¹ <https://orcid.org/0000-0001-8991-1254>, Gerardo Pelaez Becerra¹ <https://orcid.org/0000-0003-0721-950X>, Bernardo Feijoo Guevara¹ <https://orcid.org/0000-0002-1089-1332>

¹Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador

pfeijoo@uazuay.edu.ec, emma@es.uazuay.edu.ec,
gerard1708@es.uazuay.edu.ec, bernardofeijoo@uazuay.edu.ec

Enviado: 2021/11/28

Aceptado: 2022/02/04

Publicado: 2022/06/30

Resumen

Este trabajo tuvo por objetivo evaluar el índice de carga puntual, conocido como I_s (50), de un material rocoso o simplemente roca, en función de las dimensiones de las probetas que fueron elaboradas y sometidas al ensayo. Se inició con la toma de muestras de un mismo material, el cual es proveniente de un solo afloramiento y que está compuesto por una andesita anfibólica. El afloramiento está ubicado en el sector denominado Cojitambo, en la provincia del Cañar en Ecuador. En segunda instancia se elaboraron una serie de probetas hasta obtener noventa, que estuvieron en condiciones idóneas para el ensayo, las mismas que quedaron divididas en tres grupos de treinta, el grupo uno denominado P5, el grupo dos P7 y el grupo tres P9 y las dimensiones de las probetas fueron aproximadamente, 10x10x5 cm, 10x10x7 cm y 10x10x9 cm, respectivamente. Como tercera etapa se tomaron las dimensiones precisas de las probetas y se las valoró al ser sometidas al ensayo de carga puntual. Los resultados son interesantes ya que muestran un comportamiento diferente para cada grupo de probetas, lo que genera algunas interrogantes y se puede valorar el índice de carga puntual de la roca objetivamente además se obtuvieron conclusiones que deben ser tomadas en consideración.

Palabras clave: andesita, material rocoso, resistencia, compresión, minería.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Feijoo, E., Choco, E., Pelaez, G. & Feijoo, B. (2022). Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 29-40.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/886>

Abstract

The objective of this work was to evaluate the point load test index, known as I_s (50), of rock material or simply rock, depending on the dimensions of the specimens that were developed and subjected to the test. It began with the taking of samples of the same material, which comes from a single outcrop and is composed of amphibole andesite. The outcrop is in a sector called Cojitambo, in the province of Cañar in Ecuador. In a second instance, test tubes were elaborated until obtaining ninety, which were in ideal conditions for the test, and divided into three groups of thirty, called P5, P7, and P9. The dimensions of the specimens were approximately 10x10x5 cm, 10x10x7 cm, and 10x10x9 cm, respectively. As a third stage, the precise dimensions of the specimens were taken and evaluated, as they were subjected to the point load test. The results are interesting since they show different behavior for each group of test tubes, raising some questions while the point load test index of the rock can be objectively assessed. The obtained conclusions should be taken into consideration.

Keywords: Andesite, rock material, resistance, compression, mining.

Introducción

En el desarrollo de actividades mineras, específicamente en la extracción de minerales o materiales a cielo abierto o subterráneo, éstas demandan la permanente caracterización de dichos minerales o materiales, y es de vital importancia conocer un parámetro fundamental, para desarrollar estudios de estabilidad de los sistemas estructurales que conforman los emplazamientos mineros (estructuras mineras), el cual se conoce como Resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial (RCS) del material rocoso. Por esto es importante determinar la resistencia a la compresión de las rocas para desarrollar clasificaciones de los macizos rocosos, como la del Rock Mass Rating (RMR) o Índice Q, con las cuales se determina la estabilidad de las estructuras mineras. Así también la RCS es importante para el cálculo y diseño de voladuras, específicamente a cielo abierto, ya que se considera un parámetro inmodificable. Según (Murcia, 2016). Los parámetros inmodificables son los que condicionan el diseño de la voladura y no pueden variarse, por tanto condicionan los resultados, definen los parámetros para el diseño de una malla; se dividen en dos grupos y son descritos a continuación: Parámetros del macizo rocoso que son las propiedades del macizo rocoso que se derivan de las estructuras geológicas, la geología regional y geología local, tales como la densidad, dureza, tenacidad, resistencia entre otras, las cuales condicionan el diseño y exigen un aprovechamiento de estas para lograr buenos resultados tanto para producción minera como para el análisis de estabilidad de los bancos.

El diseño de las obras fundamentales en minería constituye un aspecto organizativo y económico esencial debido a que las “fallas”, que éstas puedan tener, influyen en los resultados finales que atentan contra la eficiencia de las empresas disminuyendo la rentabilidad y por consiguiente las finanzas para trabajar en la sostenibilidad de la región minera (Martínez, 2016).

En este punto es importante describir macizo rocoso y material rocoso o roca intacta o simplemente roca.

El fin de describir el macizo rocoso, según este contexto, será por consiguiente determinar las propiedades del mismo, que influyen en los fenómenos mecánicos que se desean estudiar con fines de aplicación a los problemas de ingeniería, por ejemplo: caracterización del macizo rocoso, flujo de fluidos dentro del macizo rocoso, soporte y deformación del macizo rocoso y disipación de energía en el mismo (Suárez, 2015). En consecuencia, el macizo rocoso

está formado por el material rocoso y su estructura general, es decir discontinuidades, planos de estratificación, juntas, etc.

El material rocoso o simplemente roca es parte del macizo rocoso. Las rocas son agregados naturales de uno o más minerales con proporciones diversas, cuyas masas sólidas resultantes constituyen una unidad de la corteza terrestre (Rivera, 2005). Las rocas se clasifican en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas comprenden a aquellas consolidadas en profundidad en el interior de la corteza, denominadas ígneas plutónicas o plutonitas y a las producidas por magma que llega a superficie, llamadas ígneas volcánicas o volcanitas (Varela, 2014). Una roca bastante común en la zona interandina es la andesita, la cual aflora en muchas zonas del Ecuador, debido al volcanismo presente.

Las andesitas son rocas volcánicas de grano fino, son comunes, como coladas de lava en regiones orogénicas y ocasionalmente forman pequeñas intrusiones; son compactas, algunas veces vesiculares y comúnmente de color castaño y en extensión total ocupan el segundo lugar después del basalto (Blyth y Freitas, 2003).

Una de las propiedades de las rocas, que es de vital importancia para el desarrollo de las actividades mineras, es la resistencia a la compresión simple o uniaxial, pero en muchas ocasiones se vuelve tedioso el hecho de enviar permanentemente a laboratorio muestras para obtener este parámetro, especialmente por factores como tiempo y costo. La RCS es el esfuerzo necesario para fracturar la roca, se determina mediante un ensayo establecido y equipos adecuados. El equipo utilizado para este ensayo es una prensa Humboldt que tiene facultades para someter materiales a ensayos de tensión y compresión. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o sistema hidráulico. La máquina de ensayos tiene como función comprobar la resistencia de diversos tipos de materiales; para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación y la carga al momento de su ruptura (Feijoo y Brito, 2021).

Las rocas presentan relaciones lineales y/o no lineales entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas, obteniéndose diferentes modelos de curvas de tensión contra deformación para distintos tipos de rocas (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2016). Una de esas relaciones es la que existe entre la resistencia a la compresión simple y el índice de carga puntual o I_s (50), propuesta por la ISRM en 1985.

Pero debemos aclarar que las rocas son anisótropas. La isotropía se puede aplicar de forma simplificada como siendo la propiedad de un medio de responder de forma igual, independiente de la dirección que se aplique la fuerza. Las rocas no suelen poseer esta característica, ya que la presencia de defectos o su composición condicionan/alteran el comportamiento de la roca matriz y del macizo rocoso (Santos, 2014).

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de este trabajo se inició con la obtención de muestras de un sector denominado Cojitambo, el cual presenta una morfología de tipo multiforme, es una formación volcánica en la provincia del Cañar (Ecuador) (Feijoo y Román, 2019).

Con las muestras de roca sana, en este caso de una andesita típica de la zona, se elaboraron alrededor de 120 probetas de dimensiones específicas, las cuáles se distribuyen hasta conseguir tres grupos de 30 probetas cada uno, con características aceptables para los ensayos, es decir con las dimensiones adecuadas y sin fracturas existentes. Estos tres grupos,

el primero tiene como dimensiones aproximadas 10x10x5 cm, el segundo 10x10x7 cm y el tercero 10x10x9 cm, y se los denominó P5, P7 y P9, respectivamente.

De hecho, las propiedades de las rocas varían en las diferentes direcciones que se aplique un efecto; por eso, a este punto se propone utilizar el corte en la roca, el cual por razones descritas no será igual en función de la arista establecida para generar el mismo. Este corte debe ser ejecutado sobre muestras o probetas preparadas, para tratar de mitigar los efectos de la anisotropía, lo cual es muy difícil conseguir. Así pues, en el proceso de corte de rocas intervienen conjuntamente el equipo o sierra de corte, el útil diamantado y el material a cortar. Además, no se deben olvidar los parámetros o condiciones del corte ni quizás el factor más importante: el humano (Suarez et al., 1998), por lo que se debe trabajar con experticia.

El equipo utilizado para la elaboración de las probetas es una cortadora Covington que está diseñada para el corte de rocas y es un modelo de piso (Figura 1). Ésta posee una sierra de estilo inmersión, lo que significa que el fluido de corte se asienta dentro del tanque y la cuchilla giratoria elevará el fluido de corte y alrededor de la probeta.

Las sierras de disco, para probetas de rocas de Covington, varían en tamaño desde 18 a 36 pulgadas. Esta unidad posee una sierra de disco de 30". Se debe mantener las normas de seguridad durante la ejecución de los cortes y siempre mantener cerrada la compuerta de la cortadora, con la finalidad de evitar cualquier tipo de incidente o accidente (Feijoo e Íñiguez, 2020). Algunas probetas se las puede observar en la Figura 2.

Como segunda etapa se procedió a la ejecución del ensayo de carga puntual. El índice de carga puntual es un ensayo alternativo al de resistencia a la compresión. El ensayo de carga puntual consiste en romper un pedazo de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido, según la norma propuesta por la ISRM en 1985. Las muestras que posteriormente van a ser colocadas entre dichas puntas pueden ser de cualquier forma, pero lo recomendable es que su diámetro no sea inferior a 50 mm, ya que, el volumen de dicha probeta influye en su resistencia (Feijoo y Ureña, 2021).

Figura 1

Cortadora de rocas Covington



Figura 2

Probetas de roca listas para el ensayo de carga puntual



El índice de carga puntual se calcula mediante la relación, sin corrección:

$$I_s = \frac{P}{(De)^2} \quad (1)$$

Dónde:

P = Carga aplicada en kN.

De = Diámetro del núcleo equivalente en mm.

Se toman las distancias de los fragmentos los cuales deben cumplir con las disposiciones que se indican en la norma. La razón $0.3W < D < W$ es preferente que se mantenga cercana a 1. La distancia $L > 0.5W$ (L distancia del extremo de la roca a las puntas cónicas y W distancia perpendicular a L medida sobre la roca).

En la ecuación 2 se determina el diámetro equivalente De, en función de las dimensiones de los fragmentos irregulares:

$$(De)^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (2)$$

Donde A está definido por la ecuación 3:

$$A = WD \quad (3)$$

Siendo A el área transversal mínima paralela a la dirección de la carga en mm². El índice de resistencia a la carga puntual corregido I_s (50), de una muestra de roca, se define como el valor de I_s que se ha medido por una prueba diametral con $D = 50$ mm. Cuando una clasificación de roca es fundamental, el método más fiable para conseguir I_s (50) es llevar a cabo las pruebas con diámetros de $D = 50$ mm o muy cercanos a dicho valor.

Esto se debe a la relativa sencillez del ensayo, la facilidad de preparación de las muestras y su aplicabilidad en el campo (Burbano y García, 2016). Con la ecuación 4 se obtiene la corrección de tamaño:

$$I_s(50) = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \cdot I_s \quad (4)$$

El equipo utilizado para este ensayo es de características básicas y su fabricación es factible en un proyecto minero (Figura 3).

El índice de carga puntual proporciona una valoración útil de resistencia mecánica, en particular de la compresión uniaxial de rocas sanas sin daños, la cual se deberá corregir en función de las dimensiones reales que tengan los especímenes a analizar. Algunos autores han propuesto métodos de correlación entre el índice de carga puntual (I_s) y la resistencia mecánica a compresión de las rocas (RCS) (Broch y Franklin, 1972, Akram M. y Bakar 2007, Singh et al. 2012). La relación entre RCS e I_s para núcleos de 50 mm de diámetro es de 24, que es una constante definida como K entre ambos parámetros, con lo que se llega a la siguiente expresión (Broch y Franklin, 1972): $RCS = K I_s$. El valor de K fue posteriormente corroborado por Bieniawski (1975), utilizando núcleos con diámetro de 54 mm NX (diámetro de broca) en muestras de arenisca, cuarcita y norita (Navarrete et al., 2013).

Figura 3

Ensayo para índice de carga puntual



Ejecutados los ensayos se deben correlacionar los valores entre el $I_s(50)$ y la resistencia a la compresión simple y, para ello, existen varias propuestas; sin embargo, existen correlaciones en la literatura que ya han sido establecidas en años pasados y las mismas proponen algunas ecuaciones. Ahora, al conocer las correlaciones propuestas en la teoría, las más relevantes y usadas se detallan a continuación. En 1972, Franklin, J. A. y Bosh, E., proponen un factor de correlación de 24. Chau, K. T., y Wong, R. H. C., en 1996 un factor de 12.5. Rusnak, J., y Mark, C., en 2000, un factor de 21. Thuro y Plinninger, R. J., en 2001 un factor de 18.7. Mark, C., en 2002, un factor de 21. Akram, M., y Bakar, M. Z. A., en 2007 un factor de 13.295. Cobanoglu, I., y Celik, S. B., en 2008, una relación $RCS=8.66 I_s 50 + 10.85$ (Galván, 2015).

Cabe indicar que, de los tres grupos de probetas elaboradas, las cuales cuentan con un establecimiento de medidas predeterminadas, se decidió realizarlas, debido a que la teoría propone que la relación entre D sobre W debe ser mayor a 0.3 y menor a 1, por lo que se buscó mantener al primer grupo (P5) de probetas cerca del valor de 0.5, al segundo grupo (P7) cerca al valor de 0.7 y el tercer grupo (P9) cerca al valor de 0.9

Resultados y Discusión

Realizados todos los ensayos, en los tres grupos de probetas se determinaron los valores de I_s (50), los cuales podemos observar en las Tablas 1, 2 y 3.

En la Tabla 1 se ejecutó el ensayo de carga puntual sobre las probetas de relación D sobre W aproximada de 0.3. En la Tabla 2 se observa los resultados sobre las probetas con relación D sobre W de aproximadamente 0.5 y en la Tabla 3 se presentan los resultados del ensayo efectuado sobre las probetas de relación D sobre W de aproximadamente 0.9.

Tabla 1

Dimensiones y valores de I_s (50) del grupo de probetas P5

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	I _s	F	I _s (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P5	9.90	10.22	5.05	0.51	17.45	4999.50	6365.56	2.74	1.23	3.38
2P5	9.97	9.88	5.11	0.51	19.43	5094.67	6486.74	3.00	1.24	3.71
3P5	9.99	9.88	4.94	0.49	21.91	4935.06	6283.51	3.49	1.23	4.29
5P5	9.96	9.89	4.94	0.50	22.23	4920.24	6264.64	3.55	1.23	4.36
6P5	9.86	9.89	5.08	0.52	18.21	5008.88	6377.50	2.86	1.23	3.53
7P5	9.86	9.97	4.86	0.49	15.97	4791.96	6101.31	2.62	1.22	3.20
8P5	9.85	9.91	4.84	0.49	16.89	4767.40	6070.04	2.78	1.22	3.40
10P5	9.94	10.05	5.16	0.52	9.67	5129.04	6530.50	1.48	1.24	1.84
13P5	9.93	9.88	4.94	0.50	21.69	4905.42	6245.77	3.47	1.23	4.27
14P5	10.02	10.14	5.21	0.52	17.84	5220.42	6646.85	2.68	1.25	3.35
15P5	10.05	9.84	5.16	0.51	17.00	5185.80	6602.77	2.58	1.24	3.20
16P5	9.99	10.01	5.19	0.52	18.38	5184.81	6601.51	2.78	1.24	3.46
17P5	9.87	9.91	5.22	0.53	16.82	5152.14	6559.91	2.56	1.24	3.19
18P5	9.99	9.88	5.13	0.51	15.58	5124.87	6525.19	2.39	1.24	2.96
19P5	10.15	9.90	5.09	0.50	11.51	5166.35	6578.00	1.75	1.24	2.17
20P5	10.08	10.02	5.15	0.51	19.38	5191.20	6609.64	2.93	1.24	3.65
22P5	9.99	9.88	4.94	0.49	22.41	4935.06	6283.51	3.57	1.23	4.39
23P5	9.90	10.00	5.24	0.53	18.09	5187.60	6605.06	2.74	1.24	3.41
25P5	10.09	10.22	5.19	0.51	18.42	5236.71	6667.59	2.76	1.25	3.44
26P5	9.92	10.14	5.09	0.51	11.50	5049.28	6428.94	1.79	1.24	2.21
27P5	10.02	10.21	5.18	0.52	22.15	5190.36	6608.57	3.35	1.24	4.17
28P5	9.88	9.92	4.94	0.50	12.52	4880.72	6214.33	2.01	1.23	2.47
30P5	10.05	9.93	5.06	0.50	17.59	5085.30	6474.81	2.72	1.24	3.37
32P5	9.90	10.19	5.21	0.53	11.09	5157.90	6567.24	1.69	1.24	2.10
34P5	9.98	9.94	4.84	0.48	13.85	4830.32	6150.15	2.25	1.22	2.76
36P5	9.89	9.75	4.90	0.50	20.76	4846.10	6170.25	3.37	1.23	4.12
37P5	10.08	10.12	5.17	0.51	19.46	5211.36	6635.31	2.93	1.25	3.65
38P5	9.96	10.19	5.16	0.52	20.05	5139.36	6543.64	3.06	1.24	3.80
39P5	9.83	10.01	5.21	0.53	17.63	5121.43	6520.81	2.70	1.24	3.35
40P5	10.08	9.78	5.27	0.52	19.09	5312.16	6763.65	2.82	1.25	3.53

Tabla 2*Dimensiones y valores de Is (50) del grupo de probetas P7*

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P7	10.19	9.95	6.83	0.67	28.87	6959.77	8861.45	3.26	1.33	4.33
2P7	9.97	9.99	6.89	0.69	24.85	6869.33	8746.30	2.84	1.33	3.77
3P7	10.03	9.92	6.88	0.69	28.07	6900.64	8786.17	3.19	1.33	4.24
4P7	10.06	10.13	6.83	0.68	25.30	6870.98	8748.40	2.89	1.33	3.83
5P7	9.82	10.27	7.06	0.72	18.37	6932.92	8827.27	2.08	1.33	2.76
6P7	9.93	9.79	6.96	0.70	25.35	6911.28	8799.72	2.88	1.33	3.82
7P7	9.90	9.87	7.05	0.71	19.98	6979.50	8886.58	2.25	1.33	2.99
8P7	10.15	10.16	6.83	0.67	28.02	6932.45	8826.67	3.17	1.33	4.22
9P7	9.92	10.27	6.82	0.69	17.31	6765.44	8614.03	2.01	1.32	2.65
10P7	10.17	10.11	6.82	0.67	27.59	6935.94	8831.11	3.12	1.33	4.15
11P7	10.18	10.22	6.83	0.67	18.50	6952.94	8852.76	2.09	1.33	2.78
12P7	9.93	10.04	6.83	0.69	16.78	6782.19	8635.35	1.94	1.32	2.57
14P7	9.95	10.16	6.83	0.69	23.87	6795.85	8652.74	2.76	1.32	3.65
15P7	9.94	10.22	6.81	0.69	31.43	6769.14	8618.74	3.65	1.32	4.82
17P7	9.99	9.89	6.79	0.68	23.10	6783.21	8636.65	2.67	1.32	3.53
21P7	10.13	9.92	6.98	0.69	33.22	7070.74	9002.75	3.69	1.33	4.92
22P7	9.93	10.09	6.79	0.68	30.73	6742.47	8584.78	3.58	1.32	4.72
23P7	10.05	10.12	6.83	0.68	27.15	6864.15	8739.71	3.11	1.33	4.12
24P7	10.18	10.17	6.82	0.67	26.53	6942.76	8839.80	3.00	1.33	3.99
26P7	10.06	10.01	6.81	0.68	29.34	6850.86	8722.79	3.36	1.32	4.46
28P7	10.22	10.11	6.86	0.67	27.50	7010.92	8926.58	3.08	1.33	4.10
29P7	9.88	10.14	6.88	0.70	26.29	6797.44	8654.77	3.04	1.32	4.02
30P7	10.14	9.90	6.92	0.68	22.06	7016.88	8934.17	2.47	1.33	3.29
31P7	9.96	10.13	7.14	0.72	25.90	7111.44	9054.57	2.86	1.34	3.82
32P7	10.08	10.09	6.87	0.68	28.36	6924.96	8817.13	3.22	1.33	4.27
33P7	9.88	10.01	6.78	0.69	26.39	6698.64	8528.97	3.09	1.32	4.08
34P7	9.94	9.91	6.75	0.68	20.44	6709.50	8542.80	2.39	1.32	3.15
35P7	9.98	10.14	6.84	0.69	27.64	6826.32	8691.54	3.18	1.32	4.21
37P7	10.07	9.89	6.75	0.67	16.83	6797.25	8654.53	1.94	1.32	2.57
39P7	9.98	9.86	7.03	0.70	18.58	7015.94	8932.97	2.08	1.33	2.77

Tabla 3*Dimensiones y valores de Is (50) del grupo de probetas P9*

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
1P9	9.96	10.08	8.83	0.89	28.55	8794.68	11197.73	2.55	1.40	3.57
2P9	10.11	9.90	8.82	0.87	28.16	8917.02	11353.50	2.48	1.41	3.49
4P9	9.97	9.98	8.86	0.89	26.66	8833.42	11247.06	2.37	1.40	3.32
5P9	9.92	9.94	8.78	0.89	31.19	8709.76	11089.61	2.81	1.40	3.93

Probeta	W	L	D	D/W	Fuerza (P)	WD	De ²	Is	F	Is (50)
	(cm)	(cm)	(cm)		(kN)	(mm ²)	(mm ²)	(MPa)		(MPa)
6P9	9.74	10.14	8.94	0.92	33.30	8707.56	11086.81	3.00	1.40	4.20
7P9	9.86	9.93	8.88	0.90	31.36	8755.68	11148.08	2.81	1.40	3.94
8P9	9.88	9.91	8.94	0.90	38.75	8832.72	11246.17	3.45	1.40	4.83
10P9	9.91	9.91	8.87	0.90	30.88	8790.17	11191.99	2.76	1.40	3.87
11P9	9.91	10.00	9.00	0.91	26.01	8919.00	11356.02	2.29	1.41	3.22
12P9	9.91	9.91	8.97	0.91	40.22	8889.27	11318.17	3.55	1.40	4.99
14P9	9.87	10.14	8.83	0.89	33.23	8715.21	11096.55	2.99	1.40	4.19
15P9	10.14	9.61	9.18	0.91	28.52	9308.52	11851.98	2.41	1.42	3.42
16P9	9.88	9.95	8.85	0.90	37.66	8743.80	11132.95	3.38	1.40	4.73
17P9	9.90	9.94	8.71	0.88	34.46	8622.90	10979.02	3.14	1.40	4.38
18P9	10.07	10.09	9.04	0.90	32.63	9103.28	11590.66	2.82	1.41	3.98
19P9	10.08	9.81	8.90	0.88	30.15	8971.20	11422.49	2.64	1.41	3.71
20P9	9.94	9.91	9.16	0.92	28.85	9105.04	11592.90	2.49	1.41	3.51
22P9	10.08	9.89	9.01	0.89	35.14	9082.08	11563.66	3.04	1.41	4.29
24P9	9.98	9.92	8.81	0.88	36.16	8792.38	11194.81	3.23	1.40	4.53
25P9	10.08	9.09	8.91	0.88	32.32	8981.28	11435.32	2.83	1.41	3.98
26P9	10.08	9.94	8.89	0.88	34.96	8961.12	11409.65	3.06	1.41	4.31
27P9	10.04	10.17	8.97	0.89	32.53	9005.88	11466.64	2.84	1.41	4.00
29P9	10.01	9.89	8.88	0.89	32.48	8888.88	11317.67	2.87	1.40	4.03
31P9	10.22	9.94	8.81	0.86	25.96	9003.82	11464.02	2.26	1.41	3.19
32P9	9.86	9.95	8.83	0.90	37.74	8706.38	11085.31	3.40	1.40	4.76
33P9	9.99	9.83	8.74	0.87	24.14	8731.26	11116.99	2.17	1.40	3.04
35P9	10.25	9.99	8.84	0.86	28.28	9061.00	11536.82	2.45	1.41	3.46
37P9	9.84	9.93	8.89	0.90	39.44	8747.76	11137.99	3.54	1.40	4.96
38P9	9.97	10.22	8.88	0.89	32.98	8853.36	11272.45	2.93	1.40	4.11
39P9	9.93	9.89	8.82	0.89	31.18	8758.26	11151.36	2.80	1.40	3.91

A continuación, se procede a graficar la relación D sobre W e Is (50) con la finalidad de observar alguna tendencia y obtener medias y medianas de los resultados; esto se lo puede observar en las Figuras 4, 5, 6 y en la Figura 7 un consolidado.

Figura 4

Dispersión de los resultados del grupo de probetas P5

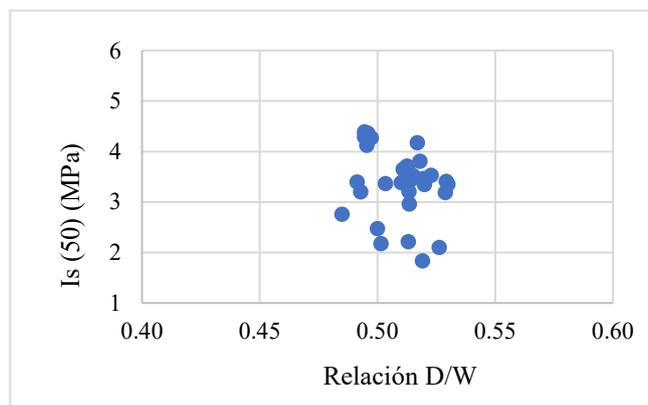
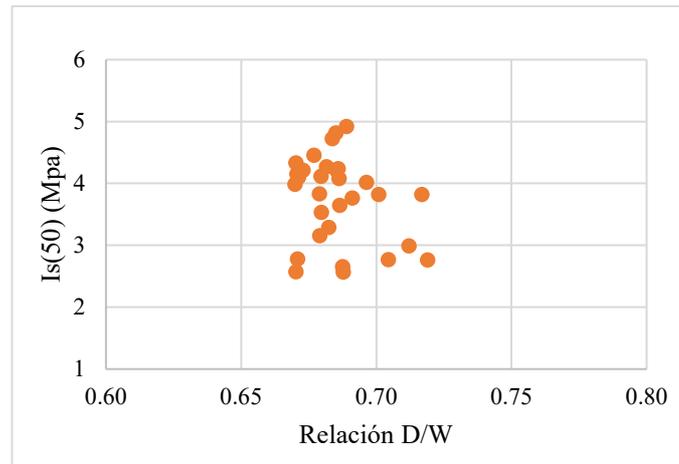
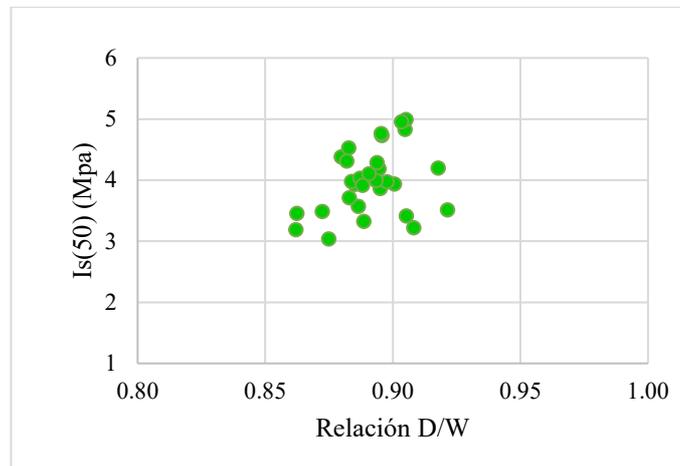


Figura 5

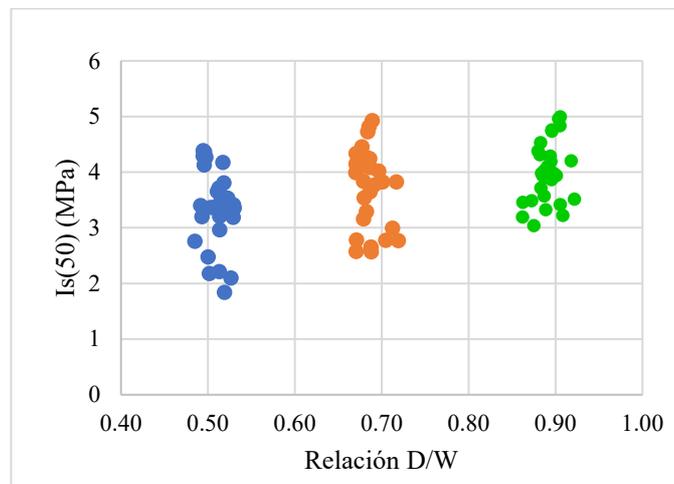
Dispersión de los resultados del grupo de probetas P7

**Figura 6**

Dispersión de los resultados del grupo de probetas P9

**Figura 7**

Dispersión consolidada de los resultados de los tres grupos de probetas



Al observar las figuras se puede establecer que mientras más cercana es la relación D sobre W a 1, el rango de dispersión de los valores es menor, como se puede observar a través de la desviación estándar; además, se establecen las medias y medianas de los resultados de Is (50) y se puede ver que su comparación es casi invariable con las muestras del grupo P9 (Tabla 4).

Tabla 4

Medias, medianas y desviación estándar de los valores de Is (50) de los tres grupos de probetas

	Is (50) (MPa)		
	Media	Mediana	Desviación Estándar
Grupo P5	3.36	3.40	0.6842
Grupo P7	3.75	3.91	0.6940
Grupo P9	3.99	3.98	0.5406

Conclusiones

La elaboración de probetas de un mismo material o roca es factible con las dimensiones descritas en este trabajo, así también la determinación del Is (50), ya que la mayor parte de empresas mineras cuentan con los equipos apropiados para dichos ensayos.

Se encontró que existe una correspondencia entre la relación D sobre W de las probetas con el Is (50) de la roca analizada, la cual proporciona una vía rápida, directa y económica para determinar un valor aproximado a la propiedad (RCS).

Los resultados de Is (50), comparados con sus respectivas relaciones D/W, para el caso del estudio presentado, oscilan entre 3.36 MPa hasta 3.99 MPa, lo que proporciona valores de RCS aproximadamente entre 50 MPa y 60 MPa.

Las relaciones analizadas, de la conclusión anterior, hacen prever que mientras la relación D sobre W sea cercana a 1, los resultados de Is (50) se mantienen en un rango más corto y su media y mediana no tienen variación.

Se debe realizar un análisis previo de los datos con límites de confianza y así aclarar posibles incertidumbres en las mediciones de las pruebas realizadas sobre este material.

Esta propuesta debe ser complementada con la ejecución de probetas que presenten relaciones de D sobre W de 0.4, 0.6 y 0.8; así también, se debería variar el tipo de roca, para de esta forma poder generalizarla.

Referencias

- Blyth, F., Freitas, M. (2003). *Geología para Ingenieros* (1ra ed.). México.
- Burbano D., García T. (2016). Estimación empírica de la resistencia a compresión simple a partir del ensayo de carga puntual en rocas anisótropas (esquistos y pizarras). *Fi*. vol. 1. n° 2. pp. 13-16. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.862>
- Feijoo, P., Brito, E. (2021). Rock Characterization Through Physical Properties and Their Relationship to Simple Compressive Strength. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(2), 931–941. DOI 10.18502/epoch.v1i2.9507

- Feijoo, P., e Iñiguez, C. (2020). Corte en Rocas y su relación con la resistencia a la compresión simple. *RISTI*, n.º E 30, p. 59-67. <http://www.risti.xyz/issues/ristie30.pdf>
- Feijoo, P., Ureña, C. (2021). Characterization of the compressive strength in rocks by granulometric classification: a field test. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, In press 2021; e20310832. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.10832>
- Feijoo, P., Román, M. (2019). Correlación entre la deformación y la resistencia a la compresión en rocas: un diagnóstico de campo. *UNIVERSIDAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, Volumen 23, Número 91, pp. 14. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/112>
- Galván, M. (2015). *Mecánica de Rocas. Correlación entre la Resistencia a Carga Puntual y la Resistencia a Compresión Simple*. Universidad del Valle. Colombia.
- Martínez, R. (2016). *La Estabilidad del Macizo Geológico* (1ra ed.). Universidad del Pinar del Rio. ISBN--978-959-16-2624-0
- Murcia, L. (2016). Procedimiento para el diseño de mallas de voladura en explotación de canteras a cielo abierto con base en la estabilidad temporal y final de los bancos de producción. [Tesis de Magister, Pontificia Universidad Javeriana].
- Navarrete, M., Martínez, W., Alonso-Guzmán, E., Lara, C., Bedolla, J., Chávez, H., Delgado, D., Arteaga, J. Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *ALCONPAT*. 2013; vol. 3 (n.º 2): 133-143. doi <https://doi.org/10.21041/ra.v3i2.49>.
- Rivera, H. (2005). *Geología General* (2da ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://www.geogpsperu.com/2011/05/libro-de-geologia-general.html>
- Santos, A. (2014). *Resistencia Anisótropa de las Rocas*. Universidad Politécnica de Madrid, Tesis de Maestría.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2016). *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carreteras*. México D. F., México.
- Suárez, L. (2015). *Descripción del macizo rocoso. Introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*. (2da ed.). Medellín. Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/330834433>
- Suarez, L., Rodríguez, A., Calleja, L., Ruiz, G. (1998). El corte de rocas ornamentales con discos diamantados: influencia de los factores propios del sistema de corte. *Revista Materiales de Construcción* Vol. 48, España. <https://doi.org/10.3989/mc.1998.v48.i250.478>
- Varela, R. (2014). *Manual de Geología* (1ra ed.). Universidad Nacional de La Plata.

Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Una revisión

Physicochemical characteristics, nutritional composition and bioactive compounds in three varieties of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): A review

Rafael Julian Malpartida Yapias¹ <https://orcid.org/0000-0002-2222-4879>,
Jhuliana Adama Astete¹ <https://orcid.org/0000-0002-3337-8742>, Yamely Cajachagua Uscuchagua¹
<https://orcid.org/0000-0001-5739-7246>, María Cristina Rosales Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0002-9361-150X>

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Tarma, Perú
rmalpartida@unaat.edu.pe, 76032060@unaat.edu.pe,
72007419@unaat.edu.pe, 72047177@unaat.edu.pe

Enviado: 2021/12/21

Aceptado: 2022/03/11

Publicado: 2022/06/30

Resumen

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) es un tubérculo andino que se cultiva en las tierras altoandinas de América del Sur, es una planta resistente que requiere poco fertilizante y es resistente a nemátodos y diversas plagas, forma parte de la dieta nativa y se considera un alimento muy nutritivo. Sin embargo, su utilidad está menguando y no es muy consumido en la sociedad, puesto que las personas de la tercera edad son quienes más la consumen. El objetivo de la investigación es recopilar información de las características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en las tres variedades de mashua: negro, morado y amarillo. Por ello, se realiza una búsqueda sistemática en bases de datos científicos como Science Direct, Elsevier, Scielo, Wiley Online y Google académico. Además de recopilar información de repositorios y libros, donde se ha obtenido resultados de altos niveles en nutrientes como proteínas presentes en la mashua negra, carbohidratos en la variedad amarillo y fósforo en morado. También posee características fisicoquímicas sobresalientes en la mashua morado y negro, actividad antioxidante, compuestos bioactivos como polifenoles y glucosinolatos identificados en las tres variedades. Estos compuestos desempeñan un papel fundamental en la prevención de enfermedades cancerígenas y otras enfermedades

Sumario: Introducción, Análisis de la Mashua y Conclusiones.

Como citar: Malpartida, R., Adama, J., Cajachagua, Y. & Rosales, M. C. (2022). Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Una revisión. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 41-51. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/891>

neurodegenerativas. Asimismo, este tubérculo contribuye a la industria alimentaria mediante la elaboración de productos viables para la promoción comercial que satisfaga las expectativas nutricionales y saludables de los consumidores.

Palabras clave: Actividad antioxidante, glucosinolatos, mashua, polifenoles, propiedades fisicoquímicas.

Abstract

The mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) is an Andean tuber that is grown in the high Andean lands of South America, it is a resistant plant that requires little fertilizer and is resistant to nematodes and various pests, it is part of the native diet and is considered a very nutritious food. However, its usefulness is diminishing and it is not widely consumed in society, since the elderly are the ones who consume it the most. In this study, the objective of the research is to collect information on the physicochemical characteristics, nutritional composition and bioactive compounds in the three varieties of mashua: black, purple and yellow. For this reason, a systematic search was carried out in scientific databases such as Science Direct, Elsevier, Scielo, Wiley Online and academic Google; in addition to collecting information from repositories and books; where results were obtained from high levels of nutrients such as proteins present in the black mashua, carbohydrates in the yellow variety and phosphorus in purple; it also has outstanding physicochemical characteristics in the purple and black mashua, antioxidant activity, bioactive compounds such as polyphenols and glucosinolates identified in the three varieties. These compounds play a fundamental role in the prevention of cancer and other neurodegenerative diseases. Likewise, this tuber contributes to the food industry by developing viable products for commercial promotion that meet the nutritional and healthy expectations of consumers.

Keywords: Antioxidant activity, glucosinolates, mashua, polyphenols, physicochemical properties.

Introducción

En los últimos años se ha realizado una serie de estudios para reevaluar la producción y consumo de tubérculos andinos, entre ellas se encuentra la mashua. Este tubérculo es cultivado hace siglos en el Perú y otros países de la región andina, es el caso de Colombia, Ecuador y Bolivia. Además, Perú es un país rico en productos andinos, donde la mashua es considerada el cuarto tubérculo andino más importante después de la papa, oca y olluco.

Las raíces y tubérculos andinos como *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón presentan escasa demanda frente a otros cultivos peruanos, distinguiéndose por su gran variabilidad de coloración, en especial los de pigmentación negruzco (Yana-año), morado (Muru-año) y amarillo (Kello-año); por lo que son consumidas por la población rural debido a razones ancestrales pero es limitante por el escaso conocimiento sobre las características únicas que poseen en su composición nutricional, compuestos bioactivos con aportes benéficos medicinales, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, entre otros atributos.

Su valor nutritivo supera algunos cereales como es la papa, debido a que este alimento tiene un alto contenido de proteínas, carbohidratos, almidón fibras y calorías; de la misma forma que presenta un balance apropiado de aminoácidos esenciales y es rico en vitaminas C y B (Samaniego, 2010).

El interés por la mashua está creciendo, ya que se ha demostrado que tiene propiedades nutricionales y funcionales con contenidos mayores de actividad antioxidante, compuestos fenólicos, polifenoles y flavonoides por lo que son comparado con tubérculos como el olluco, oca y la papa (Montes et al., 2021). Sin embargo, el consumo de este tubérculo es menor debido a su sabor amargo y no son utilizados ampliamente por la agroindustria.

Por otra parte, el Consejo Nacional de Investigaciones (1989) afirma que este tubérculo es una planta muy resistente y tolerante en las regiones con suelos pobres y crece sin uso de fertilizantes ni pesticidas. Es uno de los cultivos más productivos y fáciles de cultivar; todas las características anteriores, junto con los bajos requisitos de flexibilidad de crecimiento y uso, hacen que la mashua se considere una planta muy atractiva para la agricultura orgánica (Grau et al., 2003).

El presente artículo se justifica por los aportes e información sistemática de tipo documentada en base de datos en línea como también de disertaciones y libros sobre investigaciones en las tres variedades de mashua (negro, morado y amarillo), las cuales tiene implicancias relevantes hacia la salud humana.

Por tanto, el objetivo de esta investigación es recopilar información sobre las características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Yana año (negro), Muru-año (morado) y Ckello-año (amarillo).

Análisis de la Mashua

Origen y distribución geográfica de producción

Este tubérculo es originario de los Andes centrales, se distribuye en todos los Andes sudamericanos, Ecuador, Colombia, Argentina, Perú y Bolivia, desde hace décadas también se cultiva en otros países como Nueva Zelanda y Canadá. Las mayores áreas de siembra se encuentran en los países de Perú y Bolivia (Manrique et al., 2014).

En Perú ha sido cultivada desde épocas preincaicas, crece en forma silvestre o cultivada, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 4,000 metros. Las principales regiones productoras de mashua son Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Ancash, Apurímac, Huánuco, Puno y Junín, siendo responsables de alrededor del 88% de la producción nacional (Ramón, 2017).

La mashua es una planta de fácil cultivo que puede ser cosechada a los 6 u 8 meses de su siembra, esta crece en suelos pobres y no requieren el uso de fertilizantes ni pesticidas, son resistente a heladas y en estado natural es capaz de repeler insectos y nemátodos (Pastor et al., 2006).

Caracterización botánica y morfología de mashua

Morfológicamente, la mashua es herbácea y lisa en todas las partes, tiene un pseudotallo con hojas compactas cuando está madura. Los tallos y pecíolos son elásticos y se pueden trepar sobre los soportes disponibles, actuando en algunos casos como trepadora (Tapia & Fries, 2007, citados por Barrera et al., 2004) . Sus hojas son alternas, pinnadas, lanceoladas, verde oscuro y brillantes arriba, claras abajo, generalmente 5 hojas (a veces con 3 o 4); y las flores son solitarias, cigotas, axilares, con pedicelos largos, sépalos rojos o rojizos y pétalos predominantemente amarillos o anaranjados, a veces lila claro o rojizo (Tapia & Fries, 2007).

Llegan a medir entre 5-15 cm de largo y 3-6 cm de ancho en su extremo distal o apical. Se diferencian de la oca (*Oxalis tuberosa*), que pueden confundirse por sus conos alargados, puntas puntiagudas y mayor concentración de brotes en la parte distal, así como por su amargor. Otra característica de los tubérculos de mashua es que tienen una capa cerosa en su superficie (Grau et al., 2003).

Variedades de mashua

Se han reconocido más de 100 variedades de mashua y recursos genéticos en Ecuador y Perú. Hay muchos colores diferentes de las especies actuales de *Tropaeolum* tubérculos. Esta variación se debe tanto al color de la piel como al color de la pulpa. Primero, la cáscara de los tubérculos de mashua varía en color de crema a púrpura oscuro y pasa por una variedad de tonos como amarillo, naranja y violeta violáceo (Grau, 2003).

Además, a pesar de que la pulpa suele ser amarilla, su brillo también varía, y en algunos casos la pulpa del tubérculo es completamente morado. Sin embargo, los tubérculos de mashua son los que se consumen comúnmente pero también se comen todas las partes de la planta antes mencionada, incluidas las hojas y las flores (Grau et al., 2003). El nombre de las variedades de este tubérculo se debe al color que presenta, entre ellas se encuentra yana-añu (negro), muru-añu (morado), ckello-añu (amarillo), los cuales tienen colores más intensos (Tabla 1).

Tabla 1

Nombres de las diferentes variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)

NOMBRE	COLOR DE TUBÉRCULO
Occe añu	Plomizo
Yana-añu	Negro
Checche-añu	Gris
Ckello-añu	Amarillo
Kello-añu	Violeta
Muru-añu	Morado
Muru-añu	Rojo
Puca-añu	Negro
Yana-añu	Blanco
Mashua-Quillu	Amarillo
Mashua yana-saco	Negro

Fuente: Barrera et al., (2004)

Composición química y nutricional

La mashua tiene un alto contenido de proteínas y carbohidratos. Su valor nutritivo supera al de algunos cereales y de la papa, por lo que forma parte de la dieta diaria nutricional. Contiene un balance apropiado de aminoácidos esenciales (Espín et al., 2004; citado por Doylet & Rodríguez, 2018). En la Tabla 2 se muestra el contenido de compuestos nutricionales de la mashua de las variedades negro, morado y amarillo, donde la mashua negro presenta mayor porcentaje de proteínas ($1,599 \pm 0,006\%$), la mashua amarillo tiene un mejor porcentaje de carbohidratos ($12,606 \pm 0,059\%$), además este tubérculo andino aporta minerales como fósforo, calcio y potasio, entre otros componentes.

Tabla 2*Composición química y nutricional de la mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)*

Componente	Variedad	Contenido (%)	Fuente
Humedad	Negro	85,730 ± 0,069	(Taipe, 2017)
	Morado	86,3	(Saá, 2019)
	Amarillo	78.04 ± 2.91	(Valle, 2017)
Cenizas	Negro	0,607 ± 0,008	(Taipe, 2017)
	Morado	0,76	(Saá, 2019)
	Amarillo	0,59 ± 0,02	(Cuya, 2009)
Proteína	Negro	1,599 ± 0,006	(Taipe, 2017)
	Morado	1,23 ± 0,04	(Gonzales et al., 2020)
	Amarillo	1,526 ± 0,002	(Taipe, 2017)
Carbohidratos	Negro	10,996 ± 0,085	(Taipe, 2017)
	Morado	11,41	(Gonzales et al., 2020)
	Amarillo	12,606 ± 0,059	(Taipe, 2017)
Azúcares reductores	Negro	18,48 ± 0,08	(Taipe, 2017)
	Morado	-	-
	Amarillo	19,12 ± 0,06	(Taipe, 2017)
Calcio	Negro	-	-
	Morado	0.025 ± 0.002	(Cuya, 2009)
	Amarillo	0.1 ± 0.01	(Cuya, 2009)
Potasio	Negro	-	-
	Morado	0.82 ± 0.31	(Cuya, 2009)
	Amarillo	0.99 ± 0.1	(Cuya, 2009)
Fósforo	Negro	-	-
	Morado	0.56 ± 0.01	(Cuya, 2009)
	Amarillo	0.42 ± 0.16	(Cuya, 2009)

Características fisicoquímicas

Son las características tanto físicas como químicas de un alimento que otorga las bases necesarias para comprender los fenómenos físicos y químicos en los alimentos (Romero de la Hoz & Prado, 2017). En la Tabla 3 se muestra las características fisicoquímicas de tres

variedades de la mashua, donde la variedad morada sobresale debido a su alto contenido de grasa (0,70%), humedad (86.3%), ceniza (0,76%) y acidez titulable (77.2%).

Es importante también señalar que diferentes elementos aparte de la variabilidad genética pueden intervenir en las características fisicoquímicas como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo (Beltran & Mera, 2013).

Tabla 3

Características fisicoquímicas de tres variedades de la mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón): negro, morado y amarillo

Componente	Variedad	Contenido (%)	Fuente
Humedad	Negro	85,730 ± 0,069	(Taipe, 2017)
	Morado	86,3	(Saá, 2019)
	Amarillo	78.04 ± 2.91	(Valle, 2017)
Grasa	Negro	0,452 ± 0,005	(Taipe, 2017)
	Morado	0,70	(Saá, 2019)
	Amarillo	0,31 ± 0,03	(Taipe, 2017)
Ceniza	Negro	0,607 ± 0,008	(Taipe, 2017)
	Morado	0,76	(Saá, 2019)
	Amarillo	0,59 ± 0,02	(Cuya, 2009)
pH	Negro	6,29 ± 0,01	(Taipe, 2017)
	Morado	6,2	(Saá, 2019)
	Amarillo	6,22	(Beltran & Mera, 2013)
Acidez titulable	Negro	1,53 ± 0,04	(Taipe, 2017)
	Morado	77,2	(Saá, 2019)
	Amarillo	1,59 ± 0,05	(Taipe, 2017)
Sólidos solubles	Negro	6,120 ± 0,226	(Taipe, 2017)
	Morado	8,0	(Taipe, 2017)
	Amarillo	8,5	(Taipe, 2017)

Componentes bioactivos

Los compuestos bioactivos o fitoquímicos son componentes muy importantes de las plantas debido a su contribución terapéutica a la salud. Los estudios realizados sobre la mashua han demostrado un alto contenido de compuestos bioactivos en comparación con otros cultivos andinos (Campos et al., 2006; citado por Guevara et al., 2018).

En la Tabla 4 se presentan los compuestos bioactivos de las tres variedades de mashua, entre ellas destaca el morado con cantidades mayores de fenoles totales ($39,87 \pm 0,046$ mg de ácido gálico/g) y capacidad antioxidante ($169,16 \pm 0,158$ μ M trolox/100g), en comparación con la mashua amarillo con fenoles totales de 10,51 mg de ácido gálico/g y capacidad antioxidante de $13,7 \pm 0,682$ μ M trolox/100g; asimismo, para determinar estos datos se realizó un análisis mediante el método DPPH y ABTS (León, 2018).

Tabla 4

*Compuestos bioactivos en tres variedades de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón)*

Componentes	Variedad	Contenido	Unidad	Fuente
Fenoles totales	Negro	17,43	mg de ácido gálico/g	(Taípe, 2017)
	Morado	$39,87 \pm 0,046$	mg de ácido gálico/g	(Velásquez et al., 2020)
	Amarillo	10,51	mg de ácido gálico/g	(Taípe, 2017)
Capacidad antioxidante	Negro	$94,80 \pm 0,532$	μ M trolox/100g	(Taípe, 2017)
	Morado	$169,16 \pm 0,158$	μ M trolox/100g	(Velásquez et al., 2020)
	Amarillo	$13,7 \pm 0,682$	μ M trolox/100g	(Taípe, 2017)
Antocianinas	Negro	-	-	-
	Morado	$34,58 \pm 0,127$	mg/100g	(Velásquez et al., 2020)
	Amarillo	-	-	-
Flavonoides totales	Negro	-	-	-
	Morado	$1,39 \pm 0,071$	mg/100g	(Velásquez et al., 2020)
	Amarillo	-	-	-

Contenido fenólico

La mashua morado presentó mayor concentración de compuestos fenólicos con $16,3 \pm 0,2$ mg de ácido gálico/g en peso seco, en comparación al genotipo amarillo que contenía un menor rango de $4,2 \pm 0,0$ (GAE, mg ácido gálico/g PS) (Chirinos et al., 2013). También, se reportó $1817,17 \pm 1,006$ (mg AGE/100g ms) de contenido polifenólico evaluado a un tiempo de 60 segundos y empleando extracción con metanol al 70% como solvente (Pariona, 2019).

En estudios se analizaron la cuantificación de polifenoles totales en extracto acuoso liofilizado aplicado a la mashua negro mediante el método Folin-Ciocalteu, del cual se obtuvo $109,76 \pm 0,01$ mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/1g de liofilizado y un 18,14 mg eq. EAG/g en base seca (b.s.); representando fuente potencial de antioxidantes naturales (Peñañiel & Castro, 2017).

Por otra parte, Doylet & Rodríguez, (2018) cuantificaron los fenoles totales en la mashua amarillo hallándose 268,93 mg EAG/100g dependientes a factores ambientales al exponerse, como son la temperatura y luz que afectan al valor nutricional y a la madurez óptima para determinar altos compuestos bioactivos de calidad (estado fisiológico).

Glucosinolatos

A partir de los glucosinolatos se derivan los compuestos isotiocianatos de mashua (ITC), el cual permite inactivar actividades enzimáticas al unirse covalentemente con las proteínas; además el p-metoxibencil-glucosinolato que posee este tubérculo refleja propiedades antiproliferativas ayudando a inhibir el crecimiento de células cancerosas (Cárdenas et al., 2008), y proapoptóticas relacionado con efectos anti-reproductivos como el desarrollo embrionario que impide la activación del genoma masculino (Gonzales et al., 2020).

La evaluación de contenido total de glucosinolatos estudiados en materia seca muestran un rango entre 1,18 y 7,75 $\mu\text{mol g}^{-1}$ en la mashua morado, para los genotipos amarillos $8,11 \times 10^{-1}$ y $9,53 \mu\text{mol g}^{-1}$ (Martín & Higuera, 2016). Sin embargo, el sabor picante de mashua negro es a causa del contenido de isotiocianatos presentes como glucosinolatos (Grau et al., 2003).

Capacidad de oxidación de mashua (antioxidantes)

Campos et al. (2006) en su estudio, reportan un alto contenido de capacidad antioxidante total (lipofílica + hidrofílica) en los genotipos de mashua color púrpura ARB-5241, DP-0224 y ARV-5366 con 1002, 9309 y 8092 μg Trolox equivalente (TE) g^{-1} en muestra fresca y soleada.

Según la Tabla 5, la mashua negro presenta capacidad antioxidante hidrofílica de 109,24 y 114,50 $\mu\text{mol TE/g}$ (b.s.) en estado fresco y soleado, respectivamente (Taipe, 2017). Sin embargo, la mashua morado mostró resultados de capacidad antioxidante hidrofílica para el tubérculo fresco y soleado $103,0 \pm 1,4$ y $113,9 \pm 1,6 \mu\text{mol Trolox/g}$ tejido seco, respectivamente (Córdova, 2012). Mientras que el genotipo de mashua amarillo se evidencia valores de carotenoides en el rango de 8,9-14,4 ($\mu\text{gramo eq. } \beta\text{-caroteno/g}$ Peso fresco); pero durante la poscosecha se estima el incremento de compuestos bioactivos permaneciendo los carotenoides estables que contribuye al contenido fenólico y poder antioxidante con propiedades de eliminación de radicales libres (Chirinos et al., 2007).

Tabla 5

Capacidad antioxidante de tres variedades de mashua

Variedad	Contenido ($\mu\text{mol TE/g}$)		Unidad	Fuente
	Estado fresco	Estado soleado		
Morado	$103,0 \pm 1,4$	$113,9 \pm 1,6$	$\mu\text{mol Trolox/g}$	(Córdova, 2012)
Negro	109,24	114,50	$\mu\text{mol TE/g}$	(Taipe, 2017)
Amarillo	8,9-14,4	-	$\mu\text{gramo eq. } \beta\text{-caroteno/g}$	(Chirinos et al., 2007)

Relación entre propiedades antioxidantes y compuestos fenólicos

Según Guevara et al. (2018), señalan que la evaluación de actividad antioxidante se realiza mediante distintos métodos siendo aplicable in vitro o in vivo, como son las técnicas químicas (in vitro) 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPHH), ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno) y ABTS (2,2'-azino-bis (3etilbenzotiazolina-6-sulfónico); pero los métodos más empleados en vegetales son la ABTS y DPHH (Mejía et al., 2018).

En los estudios de Chirinos et al. (2013) demuestran que existe una favorable correlación entre los compuestos fenólicos totales (TPC) y actividad antioxidante, en el cual se

reportan valores más altos encontrados en la mashua morado y amarillo con respecto a la actividad antioxidante (DPHH, ABTS y ORAC) representando un 1,2–14,7% de TPC que contribuye considerablemente para sus propiedades antioxidantes.

Sin embargo, en el análisis por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas, se analizaron cualitativamente 500 mL de extracto hidroalcohólico del genotipo mashua negro, en el cual se obtuvo metabolitos de alta capacidad antioxidante y compuestos activos aldehídos (4-hydroxythiophenol) e isotiocianatos (1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene) relacionados a propiedades funcionales (Muñoz et al., 2021).

Conclusiones

Debido a la propagación de la Covid-19 por todo el mundo y la falta de vacunas para combatir el virus, la prevención es la mejor aliada. No hay evidencia concreta de que ciertos factores dietéticos puedan reducir el riesgo de infecciones como el nuevo coronavirus, pero una buena nutrición puede ayudar a mantener una buena salud y reducir el impacto del virus en caso de contagio. Es por ello, que se recomienda consumir alimentos con alto valor nutricional como la mashua, la cual es considerada saludable por su contenido de minerales como fósforo, calcio y potasio, además de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos. Por otro lado, una de las tres variedades de mashua que sobresale por sus características fisicoquímicas es la variedad Muru-añu (morado) por su alto contenido de humedad, grasa, ceniza y acidez titulable.

Asimismo, el genotipo morado posee un alto contenido fenólico con glucosinolatos que contribuye a las propiedades antiproliferativas y proapoptóticas relacionadas con la prevención de enfermedades cancerosas; sin embargo, la variedad negro y morado son consideradas como una fuente natural de capacidad antioxidante que es parte de los factores contribuyentes a su potencial nutraceutica, pero que depende del estado cuando se determina los compuestos bioactivos. Además, este tubérculo se comporta como una especie rústica que se adapta a zonas muy frías y suelos pobres sin necesidad de fertilizantes, es por ello que en las regiones altoandinas del Perú los agricultores lo siembran con gran facilidad.

Referencias

- Barrera, V., Espinosa, P., Tapia, C., Monteros, A., & Valverde, F. (2004). *Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecorregión andina del Ecuador. Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito, Ecuador- Lima, Perú, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (Serie Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003))*.
- Beltran, A., & Mera, J. (2013). *Elaboración del tubérculo mashua (tropaeolum tuberosum) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3504>
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Cisneros, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1481-1488. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Cárdenas, J., Nieto, M., Gasco, C., Gonzales, J., Rubio, J., Portella, J., & Gonzales, G. F. (2008). *Tropaeolum tuberosum* (Mashua) reduces testicular function: Effect of different treatment times. *Andrologia*, 40(6), 352-357. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.2008.00868.x>

- Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C., Rogez, H., Rees, J., Larondelle, Y., Noratto, G., & Cisneros, L. (2007). Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 437-446. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2719>
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, 47, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.025>
- Córdova, C. (2012). *Evaluación del efecto del secado a dos temperaturas en el contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y capacidad antioxidante de la mashua morada (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)* [Tesis de grado, Universidad Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2468>
- Cuya, R. (2009). *Efecto de secado sobre la actividad antioxidante de la harina de mashua (Tropaeolum tuberosum R&P)* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/421>
- Doylet, R., & Rodríguez, L. (2018). *Estudio comparativo de la composición química y carácter reductor de dos variedades de Tropaeolum tuberosum (Ruiz y Pavón, Kuntze) mashua* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28380>
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito Grandes, B. (2004). *Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos*. Quito, EC: INIAP/CIP/COSUDE, 2004. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3264>
- Gonzales, J., Alvis, R., Pino, J., & Iziga, R. (2020). Effect of the aqueous solution of «mashua» on the reproductive capacity of male mus musculus and its implication in preimplantation embryonic development. Preclinical test. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(4), 662-669. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v20i4.3187>
- Grau, A. (2003). *Mashua, Tropaeolum Tubrosum Ruiz & Pav.* International Potato Center. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=IX38rY6s6PYC&oi=fnd&pg=PP9&ots=LoGNiha7WN&sig=ErCQ_CTheg9bu5EaodABnW68D3o&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., & Hermann, H. (2003). *Mashua, (Tropaeolum tubrosum Ruiz & Pav.) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*, 25. International Plant Genetic Resources Institute. https://www.researchgate.net/publication/239602353_Promoting_the_Conservation_and_Use_of_Underutilized_and_Neglected_Crop
- Guevara, D., Valle, L., Barros, M., Vásquez, C., Zurita, H., Dobronski, J., & Pomboza, P. (2018). Nutritional Composition and Bioactive components of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(1), Article 1. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2561>
- León, C. (2018). *Determinación de compuestos bioactivos en la mashua (Tropaeolum tuberosum)* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4050/Leon%20Romani_IF_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., Tay, D., & Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP). *Centro Internacional de La Papa (CIP)*, 116. <https://doi.org/10.4160/9789290604310>
- Martín, J., & Higuera, B. (2016). Glucosinolate composition of Colombian accessions of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), structural elucidation of the predominant glucosinolate and assessment of its antifungal activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4702-4712. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7689>

- Mejía, F., Salcedo, J., Vargas, S., Serna, J., & Torres, L. (2018). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de de tubérculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* y *Ullucus tuberosus*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 449-456. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1083>
- Montes, H., Reategui, O., Muñoz, D., Pineda, J., & Cuba, I. (2021). Phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of six accessions of mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.) from Puno Region, Peru. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), 9707-9714. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.93020>
- Muñoz, O., Robles, R., Chirre, J., Santisteban, O., Feliciano, J., & León, W. (2021). Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña. *Ingeniería Industrial*, 40, 171-190. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5150>
- Pariona, J. (2019). *Efecto del solvente y tiempo en la extracción por microondas de glucosinolatos y compuestos fenólicos de mashua morada (Tropaeolum tuberosum)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5702>
- Pastor, S., Fuentealba, B., & Ruiz, M. (2006). *Cultivos Subutilizados en el Perú: Análisis de las Políticas Públicas Relativas a su Conservación y Uso Sostenible*. Asociación Civil Pro Uso DIVERSITAS - PROUD.
- Peñafiel, L., & Castro, A. (2017). Compuestos fenólicos, actividades antioxidante y anticolesterol en vitro del extracto liofilizado de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón «mashua negra». *Científica*, 14(3), 28-38. <https://doi.org/10.21142/cient.v14i3.575>
- Ramón, F. (2017). *Efecto del estrés abiótico post-cosecha en las características físico-químicas y de algunos metabolitos primarios de mashua morada (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón)* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3009>
- Romero de la Hoz, D., & Prado, L. (2017). Caracterización fisicoquímica, funcional, reológica y composicional de la harina precocida de cubio (*Tropaeolum tuberosum* R&P) cultivado en diferentes fuentes de fertilización. *Ingeniería de Alimentos*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/74
- Saá, M. (2019). *Evaluación del efecto de secado de la mashua morada tropaeolum tuberosum sobre las propiedades organolépticas y actividad antioxidante* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9033>
- Samaniego, L. (2010). *Caracterización de la mashua (tropaeolum tuberosum c.) en el Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/4870>
- Taipe, L. (2017). *Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (tropaeolum tuberosum) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1592>
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/publications/card/es/c/f28ebc93-3410-5973-bffa-122099a5711e/>
- Valle, M. (2017). *Caracterización morfológica y fenología en variedades de Tropaeolum tuberosum (Mashua) de interés medicinal* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26125>
- Velásquez, F., Ramírez, E., Chuquilín, R., & Aliaga, I. (2020). Optimization of the functional properties of a drink based on tubers of purple mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón). *Agroindustrial Science*, 10(1), 63-70. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.09>

Análisis gráfico de la rapidez angular del movimiento circular en tiempo real a partir de un dispositivo para el laboratorio de Física

Graphical analysis of the angular velocity of circular motion in real time from a device for the physics laboratory

Santiago Javier Álvaro¹ <https://orcid.org/0000-0002-2732-0501>,
Wilson Xavier Rivera¹ <https://orcid.org/0000-0002-2563-1736>, Ana Maribel Paredes¹
<https://orcid.org/0000-0001-5413-8150>

¹*Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Físicas y Matemáticas,*
Quito, Ecuador
sjalvaro@puce.edu.ec, xriverag@puce.edu.ec,
aparedes667@puce.edu.ec

Enviado: 2022/01/05

Aceptado: 2022/06/08

Publicado: 2022/06/30

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema digital de control y monitoreo de rapidez angular de un disco, en tiempo real. El sistema se fundamenta en la utilización de un sensor óptico infrarrojo que detecta interrupciones en las ranuras del disco giratorio, acoplado al eje del motor de corriente continua. La rapidez de giro del disco es dependiente de la rapidez de giro del eje del motor. Las revoluciones de giro del motor son controladas por un microprocesador programable que genera una señal de ancho de pulso con variabilidad. El sistema posee comunicación serial con el computador, este tipo de comunicación permite que los datos registrados por el sensor y digitalizados por el microprocesador sean enviados a una hoja de Excel para ser representados de forma gráfica. Los gráficos permiten visualizar la variabilidad real de la rapidez angular del disco y, establecer una característica que permita entender y comprender lo que se da por hecho en la teoría.

Palabras clave: Análisis gráfico, Movimiento circular, Disco giratorio, Tiempo real, Rapidez de giro.

Sumario: Introducción, Metodología, Desarrollo, Resultados, Discusión y Conclusiones.

Como citar: Álvaro, S., Rivera, W. & Paredes, A. (2022). Análisis gráfico de la rapidez angular del movimiento circular en tiempo real a partir de un dispositivo para el laboratorio de Física. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 52-63. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/904>

Abstract

This paper presents a digital system for the control and monitoring of the angular velocity of a disk in real-time. The system is based on using an infrared optical sensor that detects interruptions in the slots of the rotating disk, coupled to the shaft of the DC motor. The rotational speed of the disk is dependent on the rotational speed of the motor shaft. The motor rotation revolutions are controlled by a programmable microprocessor that generates a pulse width signal with variability. The system has serial communication with the computer. This type of communication sends the data recorded by the sensor and digitized by the microprocessor to an Excel sheet for their graphical representation. The graphs allow us to visualize the disk's angular speed variability and establish characteristics to understand and comprehend what is taken for granted in theory.

Keywords: Graphical analysis, Circular motion, Rotating disk, Real time, Rotation speed.

Introducción

El conocimiento es una de las formas que tiene el hombre para otorgar un significado con sentido a la realidad, por ello, todo docente de Física sabe que la Física es una ciencia experimental y para comprobar un fenómeno, suceso o proceso, es necesario dirigir la atención hacia el objeto de estudio.

Para abordar la parte experimental es necesario contar con herramientas capaces de cumplir con las exigencias competitivas del mundo (Gonzales, Nuñez, & Vilorio, 2012). El laboratorio de Física debe facilitar al estudiante la comprensión de los aspectos tanto teóricos como aplicados de la ciencia y, entre sus objetivos fundamentales se proponen tres grandes metas: ilustrar el contenido de las clases teóricas, enseñar técnicas experimentales, y promover actitudes científicas (SPS, 2017). Para que se dé el conocimiento científico en forma razonada, la actitud científica debe cumplir el requisito de que el conocimiento sea verificable y explicable (Bernal, 2010).

Considerando los enunciados precedentes, se entiende que la actitud científica en un laboratorio permite verificar y explicar un evento. Para cumplir con este requisito es necesario extraer la mayor cantidad de información posible de datos del evento para ordenarlos, procesarlos y representarlos de forma gráfica, que apoyados en la visualización permiten descubrir, analizar e interpretar la información inmersa en los datos.

La visualización gráfica de datos constituye una disciplina propia dentro del universo de la ciencia de datos; desde el gráfico más sencillo hasta el más complejo ofrecen alto valor al analista, (Gobierno de España, 2018). Por estas razones el objetivo de este trabajo es generar un sistema que permita registrar el mayor número de datos experimentales para el análisis gráfico del movimiento circular.

Para entender lo que sucede en la experimentación del movimiento es necesario conocer conceptos teóricos relacionados al eje de giro, arco o desplazamiento angular (φ , θ), rapidez angular (ω), rapidez tangencial (v), aceleración angular (α), aceleración centrípeta (a_{rad}), periodo (T) y la frecuencia (f). “Cuando una partícula se mueve en un círculo con rapidez constante, el movimiento es uniforme y su aceleración es siempre perpendicular a la rapidez instantánea” (Young, Fredman, & Ford, 2009, pág. 88). “Si la rapidez varía, tenemos un movimiento circular no uniforme, dado que la rapidez tiene diferentes valores en la trayectoria, a_{rad} no es constante” (Young, Fredman, & Ford, 2009, pág. 90).

Metodología

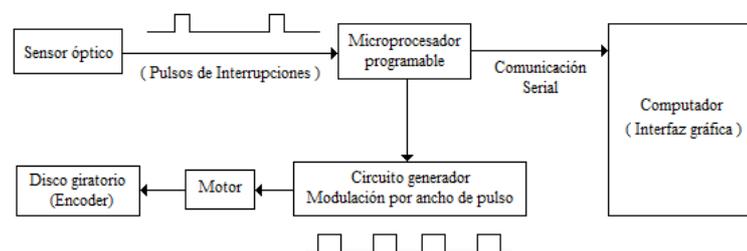
Para el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos se utilizó el método analítico, este método permitió analizar por separado cada elemento constitutivo del sistema para luego establecer relaciones lógicas y formar el sistema. Para la construcción del circuito electrónico que genera la señal modulada por ancho de pulso se aplicó conocimientos de teoría electrónica digital. Para la elaboración del programa que gobierna el microprocesador se empleó conocimientos de programación y lenguaje de programación C++. Las variables utilizadas en la programación fueron de tipo cuantitativo continuo. Para la recolección de datos se utilizó el método cuantitativo; este método permitió cuantificar el número de giros que realiza el disco en una unidad de tiempo. A través del gráfico rapidez angular en función del tiempo y , aplicando el método inductivo, se logró determinar situaciones particulares del movimiento circular.

Desarrollo

La idea principal del sistema es calcular la frecuencia del giro del disco ranurado a través de interrupciones detectadas por un sensor óptico. Los datos registrados por el sensor son enviados y digitalizados en el microprocesador. El sistema posee comunicación serial con el computador para enviar los datos a la hoja de cálculo de Excel. El sistema también cuenta con un circuito generador de una señal con modulación de ancho de pulso que controla la rapidez de giro del disco. Ver Figura 1.

Figura 1

Diagrama esquemático del sistema. La figura muestra de forma general los módulos que conforman el sistema



El motor de corriente continua es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en mecánica; esta característica permite producir un movimiento giratorio en el eje, en consecuencia, se produce una rapidez de rotación en el disco proporcional al voltaje de alimentación. El voltaje de alimentación del motor es regulado por la modulación por ancho de pulso (PWM).

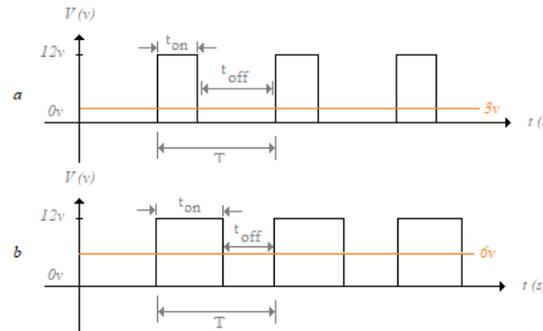
Este tipo de modulación es una técnica que se fundamenta en controlar el ancho del pulso de la señal (ciclo de trabajo) sin variar la frecuencia de una señal cuadrada. En la modulación PWM, el ciclo de trabajo (D) es la relación entre la duración del pulso (τ) y el periodo (T) de una onda cuadrada (Posada, 2005), Ver Figura 2.

En la Figura 2, al cambiar o modular el ancho del pulso de la señal cuadrada se modifica el voltaje de alimentación, esto provoca variación en la rapidez del motor. Cuanto más tiempo dure el pulso "ENCENDIDO", t_{on} , más rápido girará el motor. Mientras más corto sea el pulso "ENCENDIDO", más lento girará el motor. Mientras gira el eje del motor, gira también el disco (encoder); sobre el disco está el sensor infrarrojo. El LED infrarrojo del sensor emite luz

al receptor óptico, si el receptor capta luz, se considera como encendido (Uno lógico 1L), cuando no recepta luz, se considera apagado (cero lógico 0L).

Figura 2

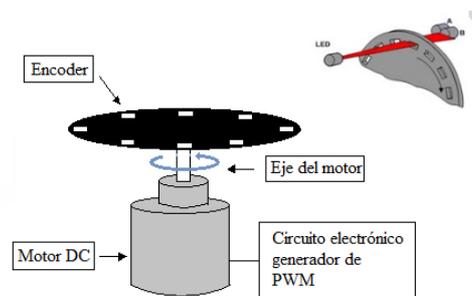
Señal de onda cuadrada. (a) Representa el 25% del ciclo de trabajo equivalente a 3V. (b) Representa el 50% del ciclo de trabajo equivalente a 6V



El disco giratorio con ranuras ensamblado en el eje del motor se conoce como encoder. Técnicamente, el encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales, ceros y unos lógicos. “El encoder se basa en la rotación de un disco graduado con un retículo radial formado por espacios opacos, alternados con espacios transparentes” (Cruz, Portilla, & Silva, 2008, pág. 2). “Los pulsos digitales se generan mientras la luz pasa a través de las ranuras del disco”, (Ingeniería Mecafenix, 2017). Tal como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

(a) Disco con ranuras (encoder) ensamblado sobre el eje del motor. El motor tiene un rango de alimentación de 0V a 12V. (b) Sensor infrarrojo acoplado al encoder para recibir interrupciones



El tren de pulsos generados por el giro del encoder y registrados por el sensor son enviados al microprocesador para ser digitalizados. La recepción de los pulsos se realiza mediante la configuración de un pin de Arduino como entrada. La parte principal de la programación es el registro del número de pulsos que se genera en 1000 milisegundos.

El encoder posee seis ranuras, cada ranura genera un pulso. Los seis pulsos son equivalentes a un ciclo del disco. Un ciclo es equivalente a 360°. Mediante la ecuación (1), se determina el número de ciclos del disco.

$$N_v = \frac{N_p}{n_r} \quad (1)$$

Donde, N_v es el número de vueltas, N_p es el número de pulsos, n_r es del número de ranuras del encoder. El número de ranuras del disco está relacionado con la resolución del encoder. A mayor número de ranuras, mayor resolución. Para el caso en mención, la resolución del encoder es de seis pulsos por ciclo. La precisión del encoder es de $360^\circ/6 = 60^\circ$. Existen resoluciones típicas de valores bajos y resoluciones altas como de 5000, 10000 pulsos por ciclo y más, con precisiones menores a 1° (Products Motion Control, 2019).

El sistema de adquisición de datos en tiempo real posee comunicación serial con el computador a través de la herramienta de adquisición de datos Parallax (PLX-DAQ). Este software es complemento gratuito de Excel que posibilita la captura de datos del canal serial y los guarda en una hoja de cálculo.

La rapidez angular del disco se determina con la ecuación (2), las unidades de medida son los radianes por segundo.

$$\omega = 2\pi f \text{ [rad/s]} \quad (2)$$

Donde f es la frecuencia y su concepto está relacionado con el número de ciclos realizados en una unidad de tiempo, su unidad de medida es el Hertz. Aplicando el concepto de frecuencia a las condiciones del encoder, la ecuación para determinar la rapidez angular del disco se obtiene a través de la ecuación (3) y considerando la ecuación (2):

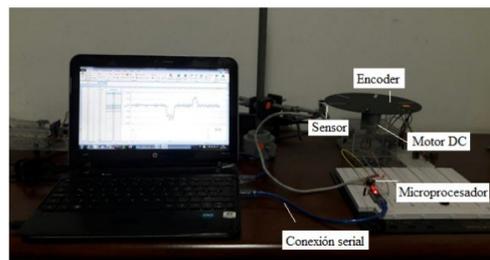
$$\omega = 2\pi \left(\frac{N_v}{1s} \right)$$

$$\omega = 2\pi \left(\frac{N_p}{n_r} \right) \quad (3)$$

Los elementos técnicos, lógicos y matemáticos descritos en la parte inicial del apartado de desarrollo son fundamentales para formar el concepto de sistema de adquisición de datos en tiempo real del movimiento circular. El aparato como tal se muestra la Figura 4.

Figura 4

Sistema de adquisición de datos en tiempo real para análisis del movimiento circular. La figura muestra las partes constitutivas del sistema con conexión al computador



Para utilizar el sistema de adquisición de datos se debe conectar el Arduino al computador mediante el cable USB. Encender el dispositivo mediante el interruptor On/Off. Ejecutar y abrir la carpeta del programa PLX-DAQ. Ejecutar la hoja de cálculo Datos_Hoja de Cálculo.

Para iniciar la captura de datos presionar el icono Connect ubicado en la ventana Data Acquisition for Excel. Variar la rapidez del disco hasta el máximo valor y mantenerlo durante 70 segundos. Durante 40 segundos mantener el disco en una rapidez mínima y 40 segundos en la rapidez intermedia. Para finalizar la captura de datos presionar el icono Disconnect ubicado

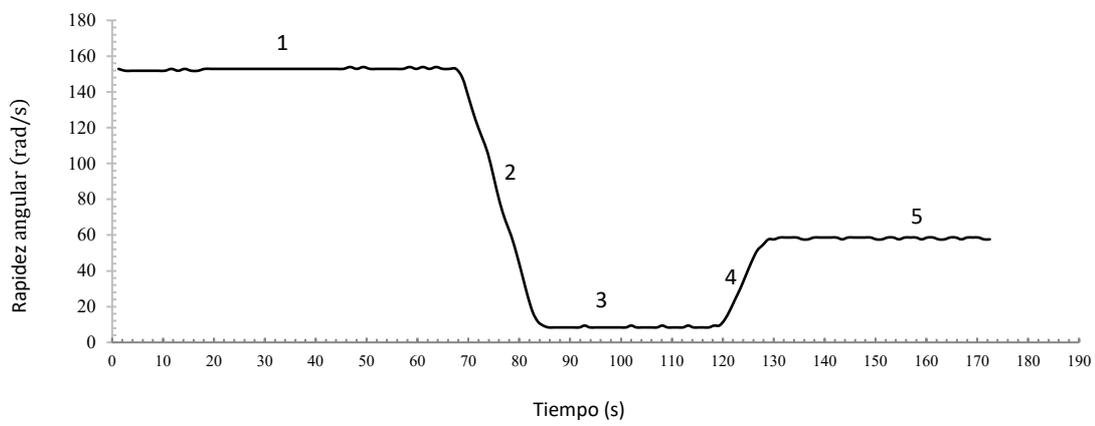
en la ventana Data Acquisition for Excel. Como último paso guardar la hoja de Excel con los datos adquiridos.

Resultados

Los datos almacenados se ubican en la hoja de Excel, los encabezados de las columnas representan las variables de tiempo y rapidez angular. El proceso de análisis de datos empieza por entender la información de la tabla, crear el gráfico en base a la data, interpretar matemáticamente la curva y explicar resultados, (Jordi O, 2019) . La Figura 5, representa la variación de rapidez angular del disco, durante el tiempo de experimentación.

Figura 5

Rapidez angular en función del tiempo. El gráfico permite diferenciar 5 tramos de curva. En los tramos 1, 3, 5 se observa la rapidez angular con cierta fluctuación



Análisis Gráfico de la Rapidez Angular en Función del Tiempo

Tramo 1

El análisis de la rapidez angular en función del tiempo se realiza por tramos. La Figura 6, representa el tramo uno, que corresponde a los setenta segundos de giro del disco. Para observar a mayor detalle las variaciones que ocurren en este tramo, se realiza un cambio de escala.

En la curva existen tres sectores que presentan variaciones considerables, el resto de la curva se mantiene estable. Con ayuda de las herramientas matemáticas de Excel se realiza el ajuste de curva y el cálculo del coeficiente de correlación R.

El ajuste de curva muestra una ecuación lineal de grado 1, expresada de forma general como, $y = mx + b$, donde m representa la pendiente y y la rapidez angular del disco.

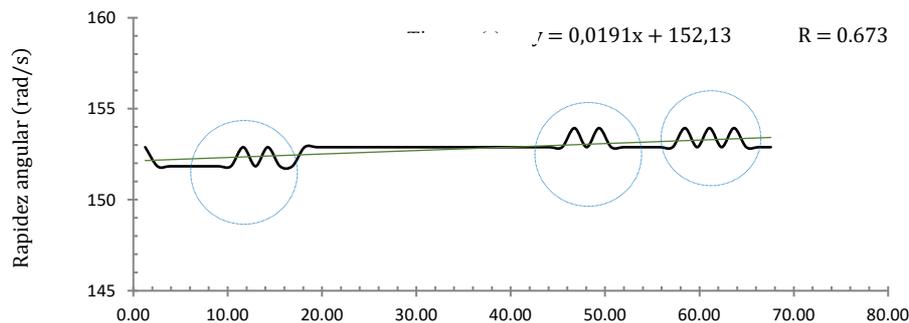
Considerando que la ecuación de la recta es $y = 0,0191x + 152,13$ y que representa la Figura 6, se tiene una pendiente de 0.0191 unidades.

La pendiente m de la recta es la variación de la rapidez angular con respecto al tiempo. A esta relación se la conoce como aceleración angular, ver ecuación (4). En este caso la aceleración angular tiende a cero.

$$m = \frac{\Delta w}{\Delta t} = \alpha \quad (4)$$

Figura 6

Rapidez angular en función del tiempo, tramo 1. Se observan tres sectores inestables de rapidez, encerrados en círculos azules



En conclusión, para el tramo 1, la aceleración angular tiende a cero y la rapidez angular tiene una media de 152,13 radianes por segundo. Además el coeficiente de correlación R entre las variables tiene un valor de 0.673, que indica una relación directa y correlación positiva fuerte. Se estima que, si se incrementa el tiempo, la rapidez aumentaría de forma lenta y gradual.

Tramo 2

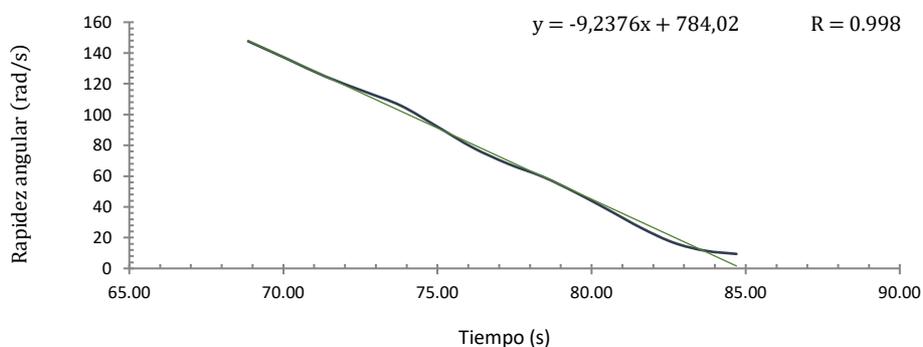
Aplicando el método de observación, los tramos 2 y 4, presentan variación de rapidez angular considerable. En el tramo 2, mientras transcurre el tiempo la rapidez angular disminuye. Al existir variaciones de rapidez angular en el tiempo, el disco experimenta una aceleración angular, tal como lo indica la expresión matemática (5).

$$\alpha_m = \frac{w_f - w_0}{t_f - t_0} = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (5)$$

En el movimiento circular, si la rapidez de giro del disco no permanece constante, existe aceleración angular, tal como muestra la Figura 9. La ecuación que representa la curva de la Figura 7 es, $w = -9,2376x + 748,02$.

Figura 7

Rapidez angular en función del tiempo, tramo 2. La rapidez angular disminuye con el transcurso del tiempo, rapidez máxima de 150 rad/s y mínima de 20 rad/s. Movimiento circular desacelerado



La pendiente m representa la aceleración media del tramo. En este caso se puede concluir que la rapidez de giro del disco disminuye con una desaceleración media de -9,23

radianes por segundo al cuadrado. Por lo tanto, este movimiento representa un movimiento circular desacelerado.

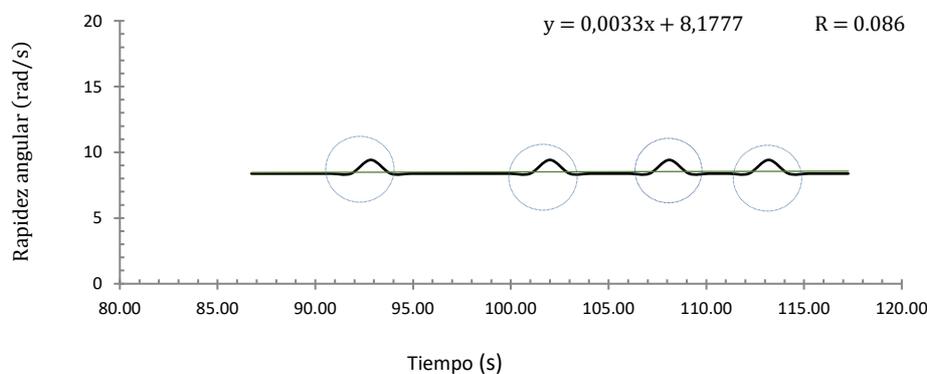
El coeficiente de correlación R es 0.998, esto indica que existe una relación directamente proporcional en las variables, una correlación positiva y fuerte. Se estima que si se incrementa el tiempo, decrementa la rapidez angular.

Tramo 3

Al igual que el primer tramo, la variación de rapidez es mínima y esporádica. La recta presenta 4 picos positivos de variación. La ecuación de la recta que representa la Figura 8, es $y = 0,0033x + 8,177$. Donde y representa la rapidez angular del disco y la pendiente m , la cual tiende a cero. Por tanto, hay una rapidez angular media a lo largo del tramo con un valor de 8,177 radianes por segundo.

Figura 8

Rapidez angular en función del tiempo, tramo 3. La rapidez angular no presenta variación considerable, su valor medio oscila en los 8,177 rad/s. Se considera un movimiento circular constante



El coeficiente de correlación R para la Figura 8, es 0.086. Este valor indica que no existe una relación directamente proporcional entre las variables porque el valor de R es positivo y débil. Se estima que si se incrementa el tiempo, la rapidez mantendrá su valor constante.

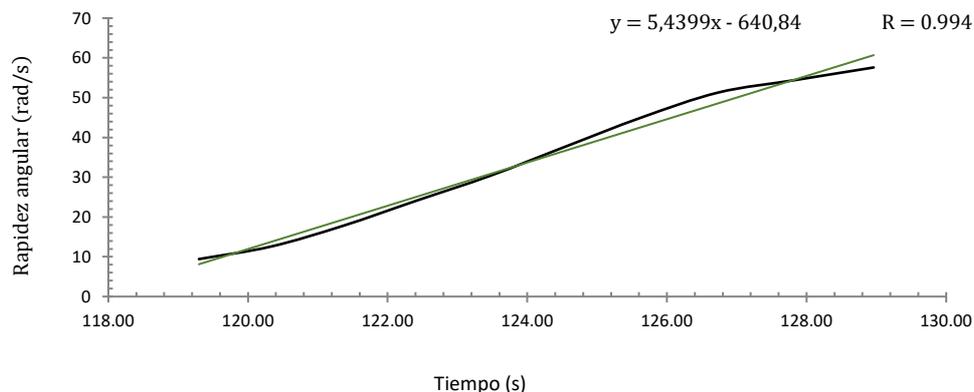
Tramo 4

En la Figura 9, se observa cambios de rapidez angular significativa. La rapidez angular va en aumento, tiene variaciones que van desde 10 hasta 58 radianes por segundo. En este caso la pendiente m es creciente y positiva, con un valor de 5.4399, la misma que representa la aceleración angular media del disco. Este tipo de movimiento representa un movimiento circular acelerado.

El coeficiente de correlación R para la curva de la Figura 9, es 0.994. Este valor indica que existe una relación directamente proporcional entre las variables, es una correlación positiva muy fuerte. Se estima que si se incrementa el tiempo, se incrementa la rapidez angular de forma gradual y rápida.

Figura 9

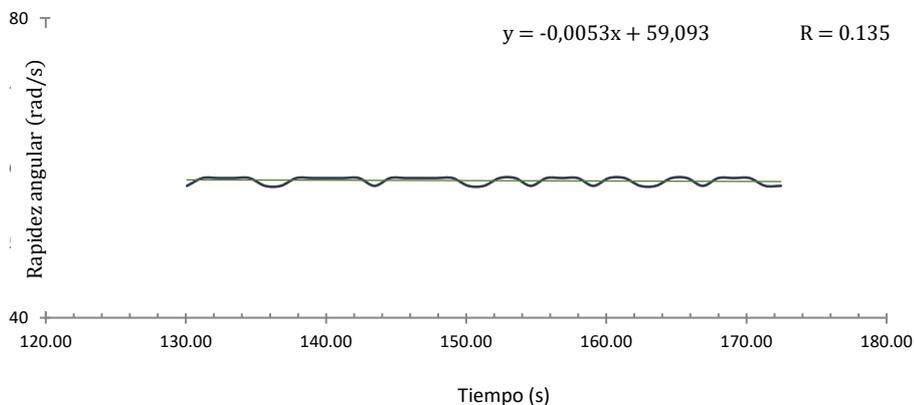
Rapidez angular en función del tiempo, tramo 4. La rapidez angular presenta una variación considerable a lo largo del tramo. Se puede considerar un movimiento circular acelerado

**Tramo 5**

En este tramo de la curva representado por la Figura 10, se observa una fluctuación consecutiva de la rapidez angular. A pesar de esta fluctuación, al realizar el ajuste de curva se puede evidenciar que la pendiente es mínima, con un valor absoluto de 0.0053, valor que tiende a cero y una rapidez angular promedio de 59,093 radianes por segundo.

Figura 10

Rapidez angular en función del tiempo, tramo 5. La rapidez angular no presenta variación considerable, su valor medio oscila en los 59.093 rad/s. Se considera un movimiento circular constante



El coeficiente de correlación R para la Figura 10, es 0.135. Este valor indica que existe una relación directamente proporcional entre las variables, es una correlación positiva y débil. Se estima que si se incrementa el tiempo, podría presentar un decremento de la rapidez angular de forma gradual y muy lenta.

La tendencia general de la relación entre el tiempo y la rapidez angular en el recorrido del disco es creciente y mantiene esta tendencia en su proyección. Al realizar las estimaciones se comprueba que la tendencia es creciente. En el recorrido total del disco, se observa que en los tramos 1,3,4,5 son crecientes los valores de la rapidez angular, y en el tramo 2 son decrecientes. En el tramo 4 se nota un crecimiento más acelerado de la rapidez angular en relación al tiempo.

Discusión

Los tipos de gráfico representados en cada tramo de la curva son básicos y fundamentales, pero ofrecen grandes posibilidades para el análisis, e interpretación de datos. Dependiendo de las necesidades de análisis, el sistema es adaptable para monitorear en tiempo real la aceleración angular, el desplazamiento y rapidez lineal. La data almacenada a través del sistema permite la interpretación gráfica del movimiento circular. La Tabla 1 muestra los resultados consolidados a lo largo de la experimentación.

Tabla 1

Consolidación de resultados. Tipos de movimiento circular y ecuaciones que rigen en cada movimiento

Tramo	Ecuación de la recta Ajuste de curva	Aceleración angular [rad/s ²]	Tipo de movimiento	Rapidez angular media [rad/s]
1	0,0191x + 152,13	0,0191	MC Uniforme	152,13
2	-9,2376x + 748,02	-9,2376	MCUV - Desacelerado	
3	0,0033x + 8,17	0,0033	MC Uniforme	8,17
4	5,4399x - 640,84	5,4399	MCUV - acelerado	
5	-0,0053x + 59,09	0,0053	MC Uniforme	59,09

En este trabajo no se ha considerado el análisis de todas las variables que describen el movimiento circular, tal como el desplazamiento, la aceleración angular, la rapidez lineal, pero con la data almacenada se puede lograr la cuantificación de esas variables. Además, se puede realizar el análisis gráfico de la aceleración angular vs tiempo. El sistema permite capturar los datos en lapsos cortos de tiempo, en el orden de los milisegundos; por consiguiente, se puede obtener rapidez y aceleraciones instantáneas durante el desplazamiento, tal como lo rige las ecuaciones 6 y 7.

$$w_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (6)$$

La rapidez angular instantánea representa el desplazamiento angular efectuado por un móvil en un tiempo muy pequeño que casi tienda a cero. Cuando los intervalos de tiempo tienden a cero, la aceleración angular del disco es instantánea; por medio de la ecuación (7) se puede determinar la aceleración instantánea.

$$\alpha_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (7)$$

El sistema puede ser remplazado por un encoder de mayor o menor radio y número de ranuras. Esto permitirá que el sistema tenga mayor o menor resolución y precisión. En el trabajo desarrollado no se ha considerado gráficos automáticos con el objetivo de que el docente y alumno exploren la información, realicen un análisis cuantitativo y gráfico, y expliquen sus conclusiones. El sistema de adquisición de datos posibilita utilizarlo en prácticas de laboratorio y clases teóricas demostrativas, mediante la elaboración previa de guías.

Conclusiones

El sistema de adquisición de datos permite detectar las interrupciones generadas por las ranuras del disco. Mediante el número de interrupciones y considerando como unidad de tiempo el segundo se establece la frecuencia de giro del disco. Utilizando las relaciones de lógica matemática que rigen este movimiento se establece la rapidez angular del disco.

A través del sistema de adquisición de datos se logra obtener datos reales e instantáneos del movimiento circular. Con la data almacenada se elabora la gráfica de rapidez angular en función del tiempo mediante la cual se realiza el análisis gráfico del movimiento. Este análisis permite identificar tres casos de movimiento circular: uniforme, acelerado y desacelerado.

Mediante el ajuste de curvas, se estableció las ecuaciones que rigen para cada tramo. La presencia o ausencia de la aceleración o desaceleración se establece a través del valor de la pendiente que muestra cada recta. Si la pendiente muestra un valor que tiende a cero, el movimiento es uniforme. Si la pendiente tiene un valor negativo y decreciente, el movimiento es desacelerado y si el valor de la pendiente es positivo y creciente, el movimiento es acelerado.

Aplicando el método de observación directa para el análisis del movimiento, se concluye que el sistema real de movimiento circular no genera movimiento uniforme de forma concreta. Pero al realizar el análisis matemático se puede interpretar que los tramos 1, 3, 5 tienen tendencia al movimiento uniforme considerando que el coeficiente de correlación R tiene un valor mínimo que tiende a cero. Las variaciones de rapidez angular a pesar de ser mínimas, pueden ser un tema de estudio particular que permita rectificar sistemas reales que requieran precisión en su sistema de giro. Las fluctuaciones de rapidez angular se deben al diseño intrínseco del motor de corriente continua.

Para el diseño y construcción del prototipo se utilizó conocimientos de electrónica, programación y matemática los cuales permitieron poner en marcha el sistema. Pero sin duda para trabajos futuros relacionados al prototipo, es recomendable someter al dispositivo a un procedimiento de validación de confiabilidad para garantizar la calidad del producto.

Referencias

- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación y Economía*. Bogotá, Colombia: Pearson Educación Colombia. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Cruz, A., Portilla, E., & Silva, R. (12 de 2008). Multiplicador Electrónico para encoder incremental. *Researchgate*, 1-5. doi:10.17562/PB-38-7
- Gobierno de España. (22 de 05 de 2018). *datos.gob.es*. Recuperado el 1 de 10 de 2019, de Iniciativa de datos abiertos del Gobierno de España: <https://datos.gob.es/es/noticia/la-importancia-de-la-visualizacion-grafica-de-los-datos>
- Gonzales, J., Nuñez, B., & Vilorio, P. (2012). Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Sistemas de Información Científica*, 128-131.
- Ingeniería Mecafenix. (28 de 04 de 2017). *ingmecafenix.com*. Recuperado el 2 de 10 de 2019, de Ingeniería Mecafenix: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/>
- Jordi O. (24 de 09 de 2019). *Conceptosclaros*. Recuperado el 18 de 10 de 2019, de <https://conceptosclaros.com/como-analizar-datos/>
- Posada, J. (25 de 07 de 2005). Modulación por ancho de pulso PWM. *El hombre y la máquina*, 72-73. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/478/47802507.pdf>
- Products Motion Control. (2019). *Resolution, Accuracy, and Precision of Encoders*. Vancouver: US Digital. Obtenido de https://www.rls.si/eng/encoder-handbook/resolution-accuracy-repeatability?gclid=EAIaIQobChMIx4e2kIDD9AIVwfezCh1NfgveEAAYASAAEgJTnvD_BwE
- SPS. (2017). *Universidad de San Pedro Sula*. Recuperado el 18 de 10 de 2019, de <http://www.usap.edu/campus-universitario/laboratorios/laboratorio-de-fisica/>

Young, H., Fredman, R., & Ford, L. (2009). *Física Universitaria Sears Zemansky*. México: Pearson.

Sistema de radiación doble banda con polarización circular

Double band radiation system with circular polarization

Frank Seguí Camacho¹ <https://orcid.org/0000-0003-4588-421X>,

Francisco Marante Rizo¹ <https://orcid.org/0000-0003-3277-1371>

¹Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), La Habana, Cuba
fseguil6@gmail.com, marante@tele.cujae.edu.cu

Enviado: 2021/11/07

Aceptado: 2022/05/18

Publicado: 2022/06/30

Resumen

El progresivo desarrollo de las comunicaciones inalámbricas a nivel mundial, y la necesidad de que los dispositivos puedan ser utilizados en distintas bandas de frecuencia de forma simultánea para satisfacer los servicios que se brindan en ellas, pone en marcha investigaciones con el fin de buscar soluciones económicas, sencillas y con la calidad requerida. Ante esta situación las antenas de microcinta por sus características resultan una de las opciones más indicadas para lograr una solución. En este artículo se propone el diseño y simulación de una antena multibanda con polarización circular empleando una alimentación de microcinta en las bandas de frecuencias de 1800 MHz y 2.4 GHz. La misma, atendiendo a los resultados que arrojó la investigación puede ser empleada para telefonía celular LTE en la banda 3 de 1800 MHz y aplicaciones WLAN como Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz. Todo el proceso de diseño, simulación y optimización se realizó en el software CST Studio Suite 2017.

Palabras clave: antena, microcinta, multibanda, polarización circular.

Abstract

The progressive development of wireless communications worldwide, and the need for devices to be used simultaneously in different frequency bands to satisfy the services provided in them, has triggered research to find economical, simple solutions with the required quality. In this situation, microstrip antennas, due to their characteristics, are one of the most suitable options for achieving a solution. This paper proposes the design and simulation of a multiband antenna with circular polarization using a microstrip feed in the 1800 MHz and 2.4 GHz frequency bands. According to the research results, this antenna can be used for LTE cellular telephony

Sumario: Introducción, Metodología, Propuesta, Discusión de Resultados y Conclusiones.

Como citar: Seguí, F., & Marante, F. (2022). Sistema de radiación doble banda con polarización circular. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 64-84.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/876>

in the 1800 MHz band 3 and WLAN applications such as Wi-Fi and Bluetooth in the 2.4 GHz band. The entire design, simulation, and optimization process were conducted in CST Studio Suite 2017 software.

Keywords: antenna, microstrip, multiband, circular polarization.

Introducción

La necesidad de los sistemas de comunicaciones móviles actuales de soportar múltiples servicios inalámbricos como la conmutación hacia otros canales, mejoras de las velocidades de transmisión, calidad de voz y video, menos llamadas perdidas y transmisión de mayores volúmenes de información, ha traído consigo un gran incremento en el desarrollo de antenas que trabajen con un mayor ancho de banda y resuenen en varias frecuencias.

Este rápido crecimiento de las comunicaciones móviles demanda antenas de ligero peso, bajo costo y pequeñas dimensiones. Ante las exigencias actuales, las de microcinta son una de las opciones más recomendadas para las aplicaciones inalámbricas debido principalmente a su sencillo diseño, variedad de formas y fácil instalación como se ve en Balanis (2016).

Las antenas de microcinta típicas resuenan en una sola banda, pero el desarrollo actual de las comunicaciones requiere de dispositivos que sean capaces de brindar varios servicios de forma simultánea, es decir que puedan trabajar en varios rangos de frecuencias para satisfacer las exigencias de nuestros días; ejemplos de ellos son: 1575.42/1227.60/1175.45 MHz para los Global Positioning System (GPS) como plantea Doust (2008), 900/1800 MHz para Global System for Mobile Communication (GSM), 2.4/5.2/5.8 GHz para Wireless Local Area Networks (WLANs) y 2.5/3.5/5.5 GHz para Interoperability for Microwave Access (WiMAX) (H. Liu et al., 2014).

Múltiples antenas pueden lograr operación en multibanda, pero de esta forma también se incrementarían los costos, tamaño de los dispositivos, complejidad de los sistemas y pueden surgir problemas de acoplamiento; influyendo de forma negativa en el rendimiento de las mismas. Debido a su tamaño compacto, fácil fabricación, bajo peso y poco costo las antenas de microcinta son candidatas ideales para aplicaciones aéreas, bélicas o balísticas, radares y comunicaciones móviles entre otras, planteado en Balanis (2016); Oulhaj (2016); Kumar (2017) y Garg (2000).

Entre las soluciones para lograr doble banda de resonancia se encuentran modificar la estructura de una antena que trabaje inicialmente en una sola banda de manera asimétrica, hacer slots en el parche radiante o en el plano tierra como se recoge en Varma (2017), empleo de dos o más parches apilados entre uno o más dieléctricos planteado en Kumar (2011), utilizar más de un elemento radiante con diferentes tamaños que resuenen en diferentes frecuencias como se evidencia en Kumar (2014), cargas reactivas con stubs, ejemplificado en Heidari (2009) o realizando muescas en el parche como muestra Singh (2015).

Además, en esta investigación se presentan dos modelos de antenas doble banda que poseen polarización circular posibilitando que sean muy efectivas combatiendo las interferencias producidas por desvanecimientos y las multitrayectorias, de forma que no requieran una orientación estricta en su transmisión y recepción, lo cual es útil para las comunicaciones satelitales móviles donde se dificulta que exista una orientación constante entre las antenas.

Metodología

Durante los años recientes grandes progresos en investigación y desarrollo se han logrado gracias al empleo de antenas polarizadas circularmente, y actualmente, se están convirtiendo en piezas claves para el desarrollo de los sistemas inalámbricos, incluyendo comunicaciones satelitales, móviles, sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), sensores inalámbricos, identificación por radiofrecuencia (RFID), redes de área local inalámbricas (WLAN), redes de área personal inalámbricas (WPAN), interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), entre otras aplicaciones recogidas en Gao (2014).

Generación de Campo Circular

La polarización de una antena en una dirección dada está definida por la polarización de la onda transmitida (radiada) por ella; ésta a su vez es la propiedad de la onda electromagnética que describe la dirección variable en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico en su dirección de propagación.

Cuando la dirección no es conocida se asume la polarización de la onda en la dirección de máxima ganancia. En la práctica, la polarización de la energía radiada varía con la dirección del centro de la antena; así, diferentes partes del patrón pueden tener diferentes polarizaciones planteado por Carrazana (2019).

La polarización se puede clasificar como lineal, circular o elíptica. Si el vector que describe el campo eléctrico en un punto en el espacio en función del tiempo se encuentra siempre a lo largo de una línea, se dice que está linealmente polarizado. Por lo general la figura que describe el campo eléctrico es una elipse y se dice que está elípticamente polarizado. La polarización lineal y la circular son casos especiales de la elíptica, y pueden ser obtenidos cuando la elipse se convierte en una línea recta o en un círculo, respectivamente, como se afirma en Balanis (2016.).

Polarización Circular

La polarización circular puede ser obtenida solamente si el campo eléctrico posee dos componentes ortogonales con la misma magnitud y diferencia de fase de 90° entre ellas.

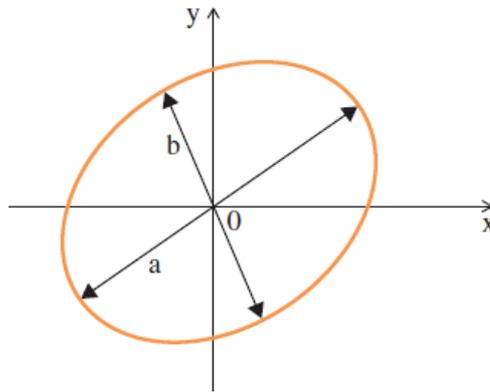
Para una onda polarizada circularmente, el vector de campo eléctrico en un punto dado en el espacio trazado en función del tiempo es un círculo. El sentido de rotación puede determinarse observando la dirección de la rotación temporal del campo como una onda que está vista a lo largo de la dirección de propagación de la onda: si el campo de rotación está en sentido horario, se dice que está con polarización circular de la mano derecha (RHCP), y si se encuentra en sentido contrario a las manecillas del reloj, la onda está con polarización circular de la mano izquierda (LHCP).

En realidad, es imposible lograr una perfecta polarización circular por lo que la curva trazada en una posición dada en función del tiempo es usualmente una elipse, como se muestra en la Figura 1. Las rectas a y b denotan el eje mayor y menor de la elipse, respectivamente. La razón del eje mayor con el menor de la elipse determina la relación axial.

La relación axial es el parámetro fundamental para medir la polarización circular. Se utiliza como convenio que sea inferior a los 3 dB para el caso de las antenas circularmente polarizadas.

Figura 1

Elipse con centro en el origen de coordenadas con sus ejes mayor y menor trazados



Ventajas de las antenas polarizadas circularmente

Braasch (1996) y Counselman (1999) muestran que las antenas polarizadas circularmente son muy efectivas combatiendo las interferencias producidas por desvanecimientos y las multitrayectorias. La señal de radio reflejada proveniente de la tierra u otros objetos posee polarización circular reversa al incidente; es decir, si la onda posee RHCP tendrá una reflexión LHCP. Una antena RHCP presentará rechazos a señales reflejadas LHCP reduciendo las interferencias por multitrayectorias.

Según Brookner (1985) y Davies (1965) la segunda ventaja es que las antenas polarizadas circularmente son capaces de reducir la rotación de Faraday, efecto producido en la ionosfera. Este efecto causa pérdidas significativas en la señal que pueden superar los 3 dB si son empleadas señales linealmente polarizadas. Las antenas polarizadas circularmente son inmunes a este problema, por tanto, son empleadas ampliamente en aplicaciones satelitales, cápsulas espaciales y misiles balísticos.

Las antenas polarizadas circularmente no requieren una orientación estricta en su transmisión y recepción; mientras que las polarizadas linealmente están sujetas a pérdidas si hay un incorrecto alineamiento entre las antenas transmisora y receptora. Esto es útil para las comunicaciones satelitales móviles donde se dificulta que exista una orientación constante entre las antenas. Con polarización circular la fuerza de la señal recibida es prácticamente la misma sin importar la orientación de la antena. Estas ventajas hacen muy atractivas el empleo de antenas polarizadas circularmente en muchos sistemas inalámbricos como afirma Gao (2014).

Desventajas de las antenas polarizadas circularmente

Por lo general las antenas con polarización circular presentan una estructura más compleja para lograr el desfase de los campos ortogonales.

En cuanto a la ganancia, la señal con polarización circular sufre pérdidas al recibir señales con polarización lineal de hasta 3 dB en potencia.

Existen dificultades para incrementar el ancho de banda de relación axial como se afirma en García (2017).

Antena Doble Banda con Polarización Circular para Aplicaciones WLAN

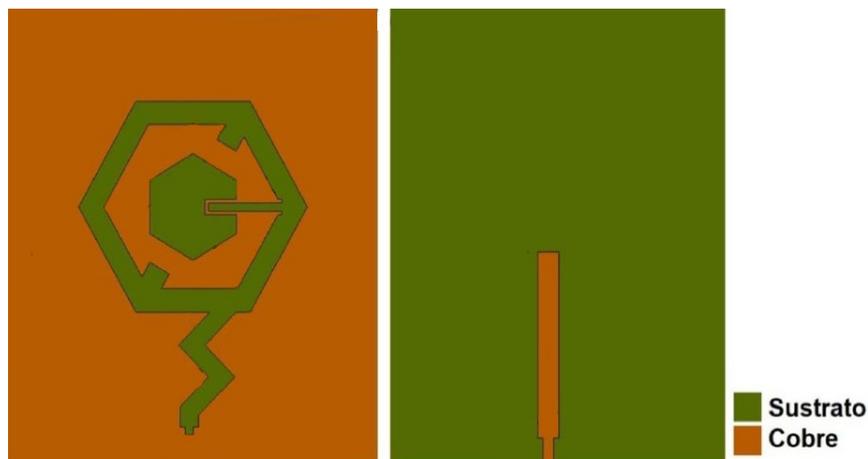
Para el desarrollo de esta investigación se analizaron un grupo de propuestas antenas de microcinta de años recientes con características similares a la que queremos desarrollar, entre ellas la de Cabrera et al (2018), que reflejaremos de forma breve para que el lector conozca los principios que tomamos como base en el diseño.

Esta antena está conformada por una línea de microcinta en la cara superior del sustrato, la cual alimenta por proximidad una serie de ranuras en el plano tierra que, al combinar correctamente sus dimensiones y geometría, facilitan el sintonizado de este elemento radiante.

En la misma, se empleó un sustrato FR4 de 0.8 mm y dimensiones $70 \times 50 \text{ mm}^2$. Al anillo hexagonal exterior de la figura se le incorporó una ranura en forma de rayo, donde su distancia total es aproximadamente $\lambda/4$ a 2.4 GHz, con el fin de proporcionar polarización circular en la banda inferior y, al incorporarle muescas en el interior fue posible lograr simultáneamente polarización circular en la banda superior. El diseño se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Estructura de la Antena

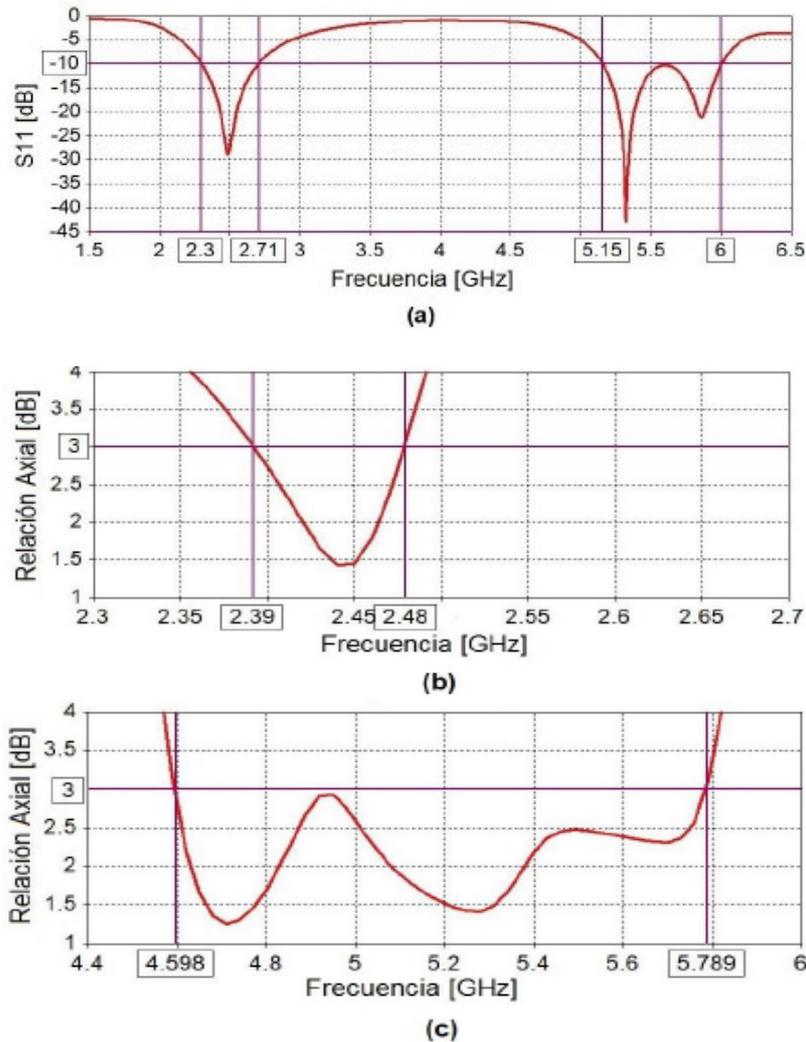


En la Figura 3 se recogen los resultados de las pérdidas de retorno y la relación axial para esta antena. En el caso de las pérdidas de retorno las mediciones que resultan por debajo de -10 dB se consideran como la banda de resonancia de la antena, y en el caso de la relación axial, ésta tiene que ser inferior a 3 dB para afirmar la existencia de polarización circular, como se planteó anteriormente.

Este diseño analizado posee patrones de radiación bidireccionales en las bandas de trabajo de 2.4 GHz y 5.2 GHz, ganancias de aproximadamente 3.45 dB en las dos frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 90 MHz en 2.4 GHz y 630 MHz en 5 GHz, lo que representa un 3.83 % y 11.5 % respectivamente, suficientes para cubrir los requerimientos de aplicaciones WLAN.

Figura 3

a) Pérdidas de retorno b) Relación axial en la banda inferior c) Relación axial en la banda superior



Breve descripción del software empleado

CST Studio Suite se utiliza en empresas líderes de tecnología e ingeniería de todo el mundo. Es un software de alto rendimiento empleado para diseñar, analizar y optimizar componentes y sistemas electromagnéticos.

Entre los objetos más comunes del análisis en este software se incluyen el rendimiento y la eficiencia de antenas y filtros, la exposición del cuerpo humano a campos electromagnéticos, los efectos electromecánicos en motores y generadores, y los efectos térmicos en dispositivos de alta potencia como describe su página oficial.

Ventajas de este software

Una interfaz gráfica atractiva y sencilla de utilizar.

CST Studio Suite emplea el método de las diferencias finitas, que converge a la simulación con mayor rapidez que el método de los elementos finitos usado en HFSS, lo cual permite un uso más económico del poder de cómputo.

El motor de optimización del software utilizado permite además una convergencia más rápida seleccionando de forma sencilla una variedad de métodos para realizar las optimizaciones en los diseños planteados en Guerra (2020).

Propuesta

Para los modelos que se proponen utilizar en este artículo se utiliza como sustrato dieléctrico el RT/Duroid 5880 con una altura $h = 1.575$ mm, tangente de pérdidas de 0.0009 y permitividad relativa $\epsilon_r = 2.2$ cubierto por dos capas de cobre de grosor $t = 35$ μm y conductividad $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m.

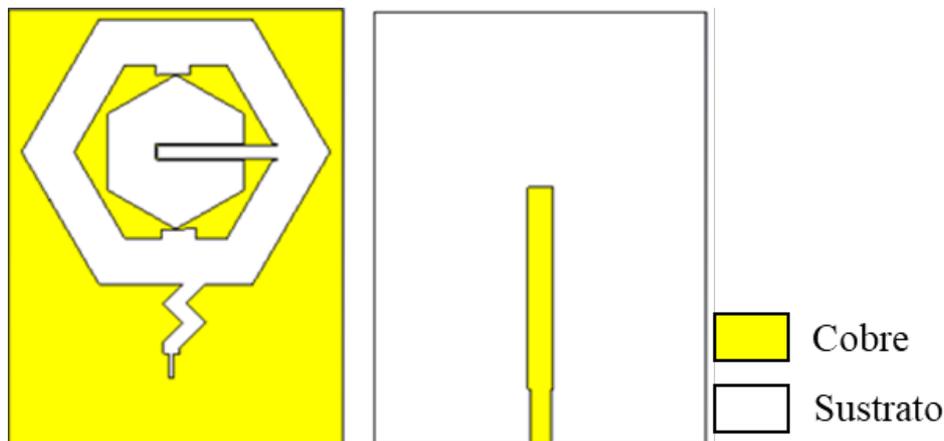
Al poseer la pérdida dieléctrica más baja de cualquier material de PTFE reforzado, pueden ser considerados como sustratos ideales para aplicaciones de alta frecuencia y banda ancha donde se requiera reducir al mínimo la dispersión y las pérdidas, logrando así que se alcance mejor radiación hacia el espacio como plantea Collazo (2020) y se recoge en la hoja de datos de este componente (2021).

Después de modelar y analizar mediante simulaciones diferentes diseños de antenas de microcinta se procedió a tomar como base el del plano tierra ranurado alimentado por proximidad mostrado en Cabrera et al (2018), con el cambio del sustrato empleado como se expresó anteriormente, porque fue de esta forma que se arrojaron los mejores resultados.

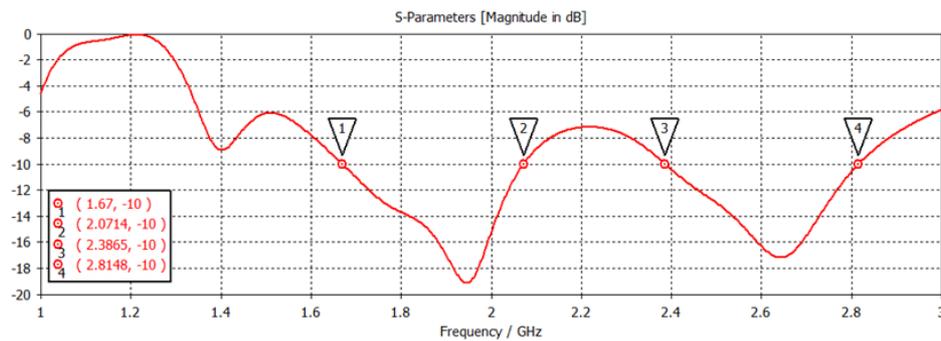
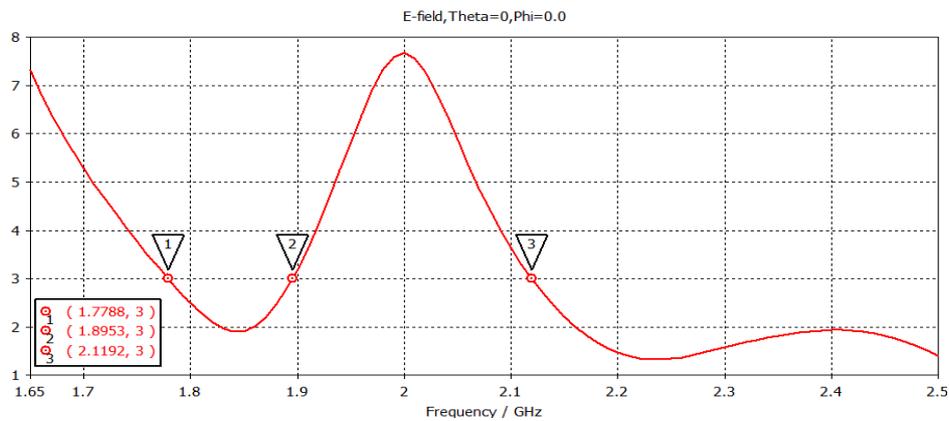
A partir de una serie de parametrizaciones y optimizaciones realizadas en la estructura del mismo, con el fin de adaptarlo a nuestros requerimientos se obtiene el diseño que se muestra en la Figura 4. Inicialmente el centro del plano ranurado se encuentra desplazado verticalmente una distancia equivalente a la mitad del radio exterior del anillo hexagonal.

Figura 4

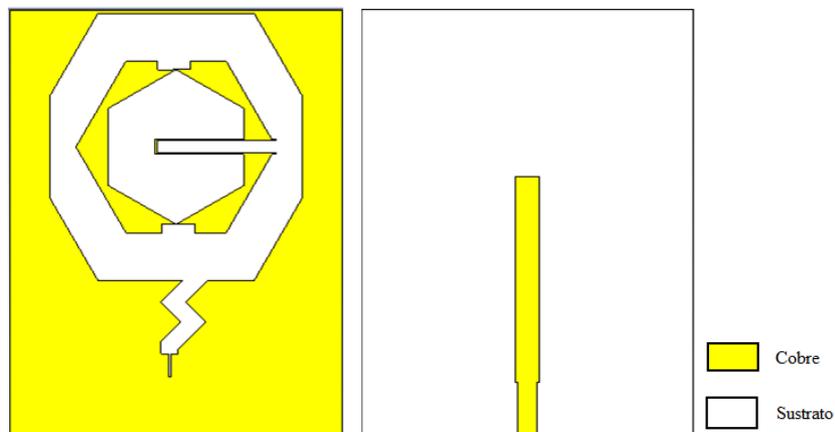
Diseño Inicial del Modelo Propuesto



Con este modelo inicial se logra una antena multibanda que satisface las especificaciones de anchos de banda requeridas en la investigación; pero es necesario seguir realizando cambios en la estructura con el fin de mejorar el ancho de banda de polarización circular en la banda de los 1800 MHz. La Figura 5 muestra las pérdidas de retorno para este diseño y la Figura 6 su relación axial.

Figura 5*Parámetro S11 para el modelo inicial***Figura 6***Relación Axial para el modelo inicial*

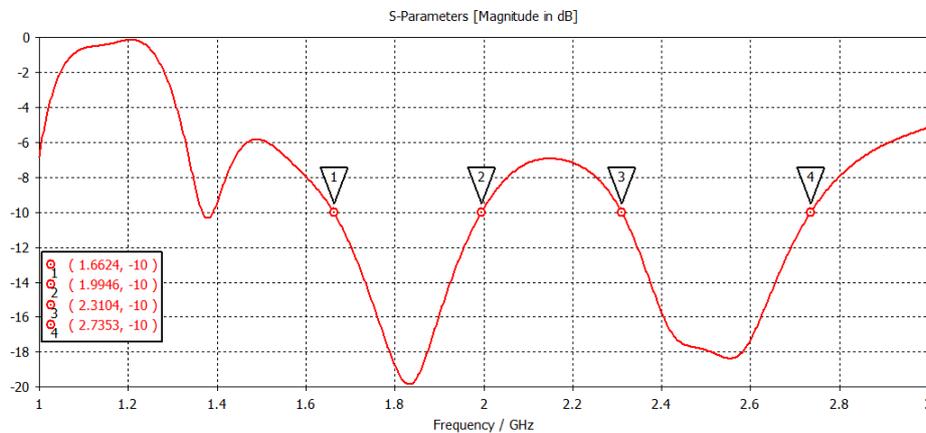
A partir del análisis del comportamiento del campo eléctrico en el software para la banda de 1800 MHz se decide modificar el borde exterior de la ranura en forma de anillo hexagonal, y se procede a optimizar la nueva estructura, quedando tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 7*Antena optimizada después de modificar borde exterior de la ranura en forma de anillo hexagonal*

En la Figura 8 y la Figura 9 se muestran las pérdidas de retorno y la relación axial simuladas, respectivamente.

Figura 8

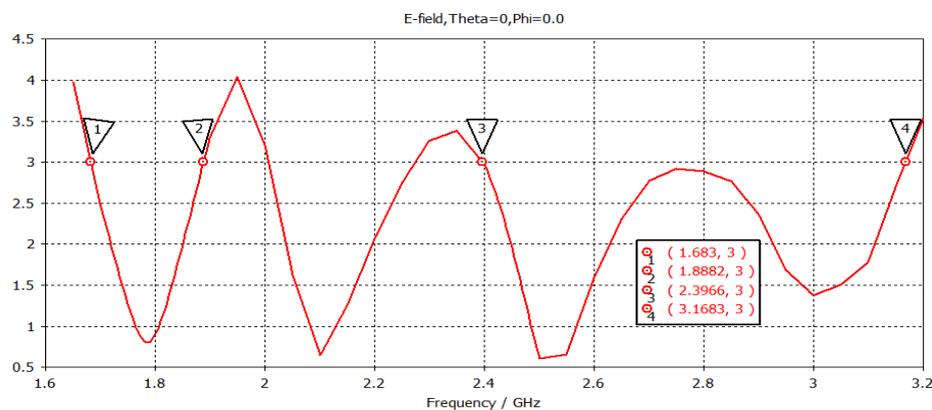
Pérdidas de retorno



De la Figura 8 se puede concluir que para la frecuencia de 1800 MHz se logra un ancho de banda de 332.2 MHz (1.6624-1.9946 GHz) y en la de 2.4 GHz se logra un ancho de banda 424.9 MHz (2.3104-2.7353 GHz).

Figura 9

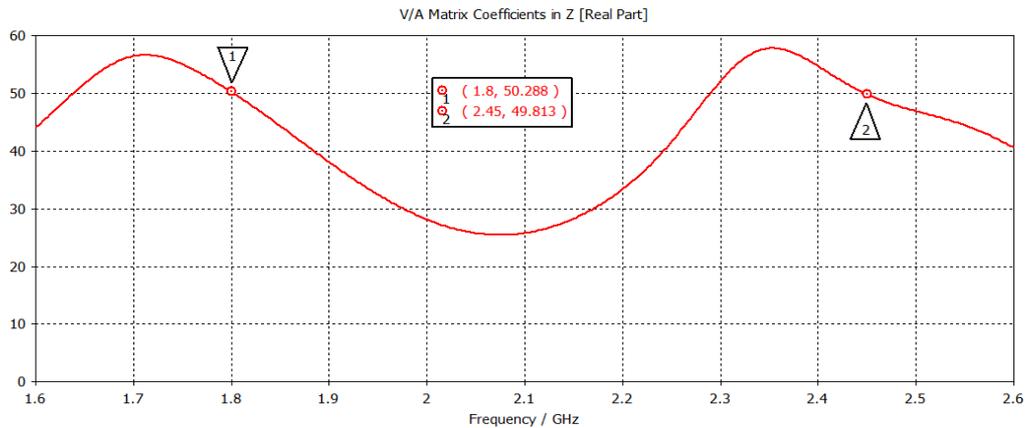
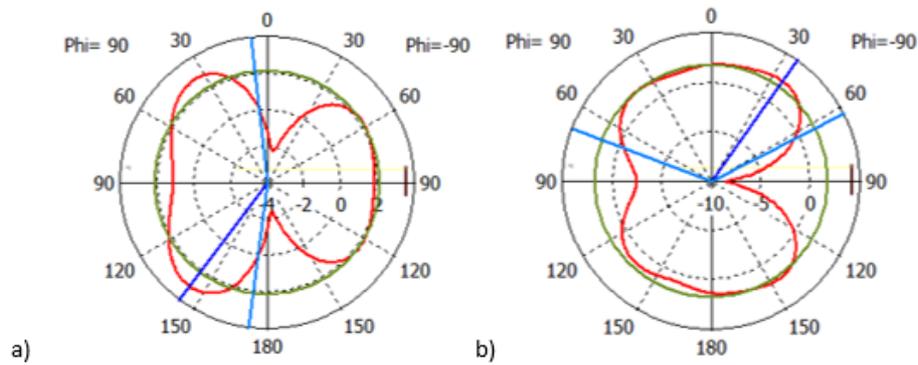
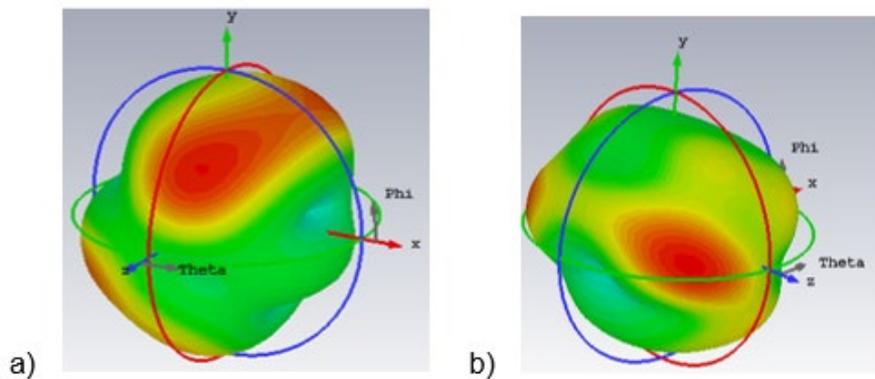
Relación Axial



En el caso de la Figura 9 se logran anchos de banda de polarización circular en la banda inferior de 199 MHz (1.683-1.882 GHz), y 771.7 MHz (2.3966 - 3.1683 GHz) en la banda superior.

En la Figura 10 se muestra la impedancia de entrada de esta antena, donde los valores son muy cercanos a 50Ω para las frecuencias de interés, lo que demuestra el correcto acople del sistema.

En la Figura 11 a) y b) se muestran los patrones de radiación en 2D para este diseño en las frecuencias de 1.85 GHz y 2.45 GHz, respectivamente; en la Figura 12 a) y b) se pueden apreciar dichos patrones en 3D para las mismas frecuencias antes mencionadas en igual orden. Para este diseño se obtienen ganancias de 3.39 dB en 1.85 GHz y 4.43 dB en 2.45 GHz.

Figura 10*Parte real de la impedancia de entrada***Figura 11***a) Patrón de radiación 2D para 1.85 GHz b) Patrón de radiación 2D para 2.45 GHz***Figura 12***a) Patrón de radiación 3D para 1.85 GHz b) Patrón de radiación 3D para 2.45 GHz*

Como se ha mostrado hasta ahora, la antena diseñada posee un patrón de radiación bidireccional. Debido a los bajos valores de ganancia alcanzados característicos de este tipo de antenas, el elevado precio del sustrato empleado, y con el objetivo principal de poseer un mayor control sobre la directividad de la misma, aprovechando de mejor forma su patrón de radiación y evitar así que se pierda potencia en radiar una señal que puede considerarse en algunos casos

como no deseada, se hace necesario buscar vías para adaptar el diseño a una antena unidireccional.

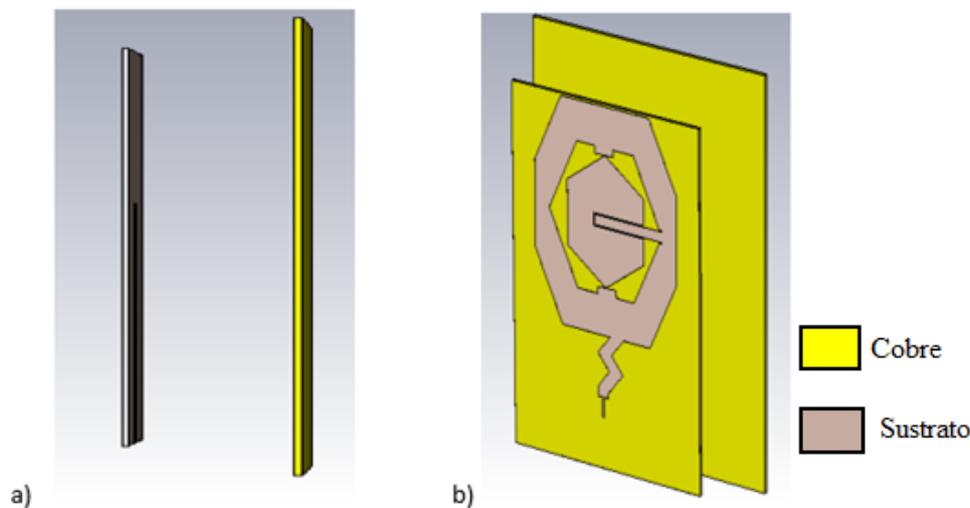
Adaptando el modelo diseñado a una antena de patrón de radiación unidireccional

A la antena que se diseñó se le añadió un plano tierra de cobre de conductividad $5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$, cuyo grosor es de 2 mm . El mismo como muestra la Figura 13 se encuentra “frente a la línea de alimentación”, inicialmente a una distancia de 3.8 cm del sustrato y será unido a la antena por medio de tornillos de teflón.

Las dimensiones del plano tierra que se añadió, así como su distancia inicial a la antena antes diseñada, se tomaron a partir de diferentes simulaciones que se realizaron previamente.

Figura 13

a) Vista lateral derecha del nuevo modelo b) Vista en perspectiva del nuevo modelo



En la Figura 14 y Figura 15 se muestran las pérdidas de retorno y la relación axial para este nuevo modelo.

Figura 14

Pérdidas de retorno

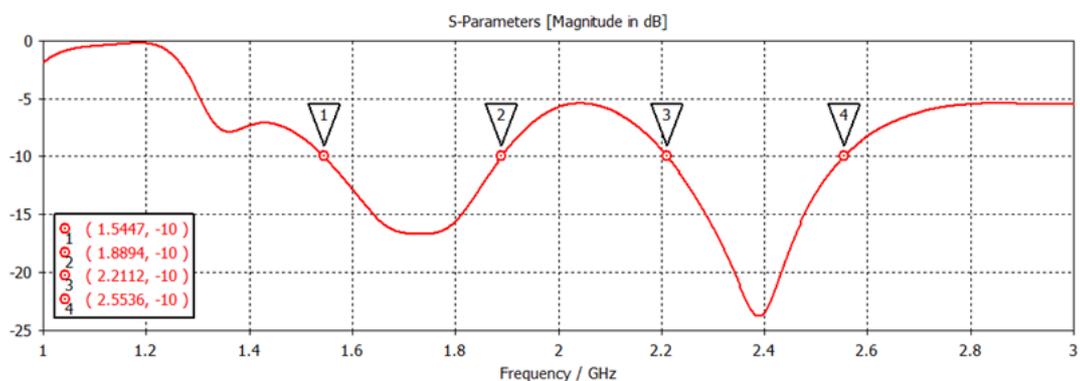
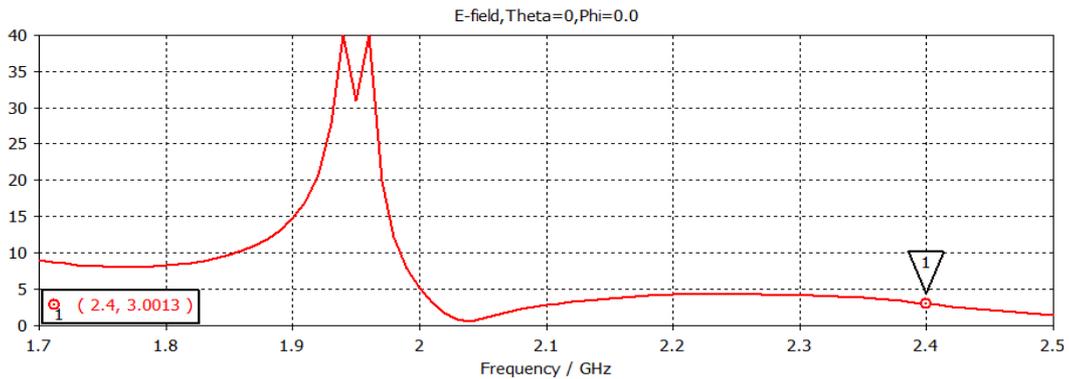


Figura 15*Relación axial*

En las gráficas anteriores se puede observar que al agregar el plano tierra se obtiene un ancho de banda que cubre las frecuencias de interés, pero carece de polarización circular la banda inferior, mientras que en la superior todavía es necesario seguir haciendo ajustes para lograrla completamente.

Siguiendo la lógica de la investigación que se tuvo en cuenta para la construcción del modelo de antena de radiación bidireccional expuesto anteriormente, se decidió modificar nuevamente el exterior de la ranura en forma de anillo octogonal que se tenía; pero además se apreció que mover horizontalmente la línea de microcinta en la zona inferior del sustrato, la separación de la antena al plano tierra que se añadió, así como el desplazamiento vertical del “dibujo” ranurado influían significativamente en el ancho de banda de polarización circular. Finalmente se obtiene el diseño de la Figura 16, con sus correspondientes gráficas de pérdidas de retorno y relación axial en la Figura 17 y la Figura 18, respectivamente.

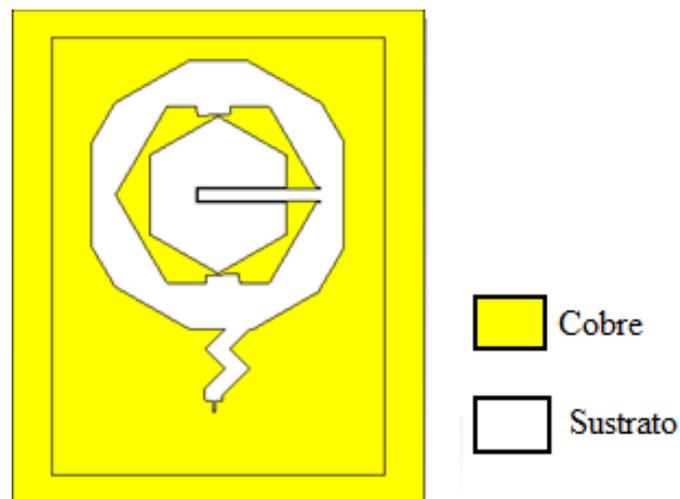
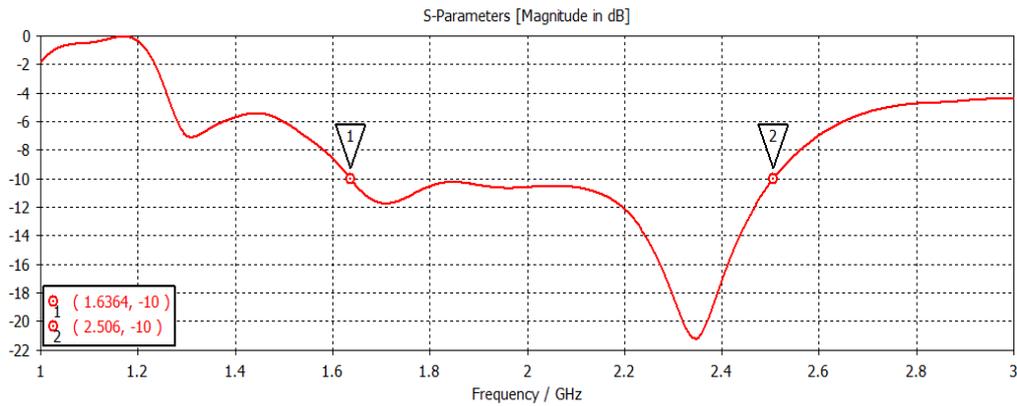
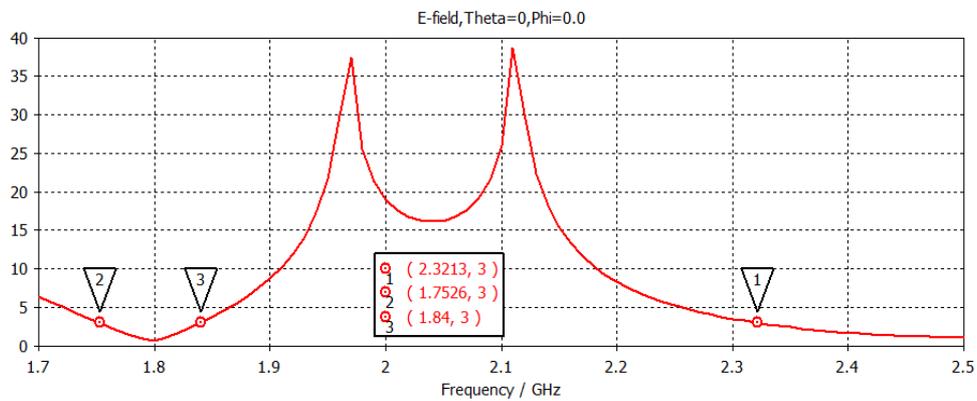
Figura 16*Antena con modificaciones en las ranuras*

Figura 17*Pérdidas de retorno***Figura 18***Gráfica de la relación axial*

Las pérdidas de retorno anteriormente mostradas cubren el ancho de banda que se requiere para los servicios, y ya la banda superior posee la polarización circular completamente, mientras que en la banda de los 1800 MHz se ha logrado este objetivo de forma parcial. Realizando una optimización de las variables antes mencionadas se mejoran los resultados, quedando como se aprecia en el nuevo modelo de la Figura 19 con sus correspondientes resultados en Figura 20 y la Figura 21.

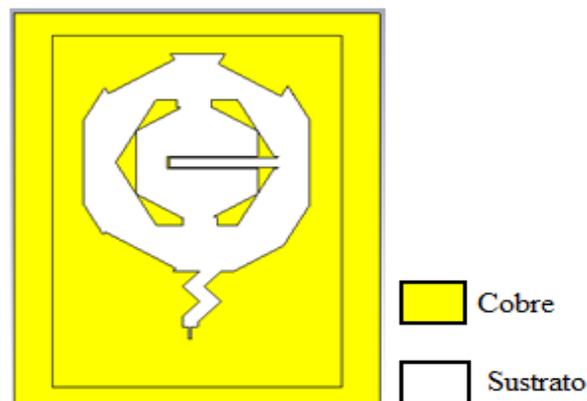
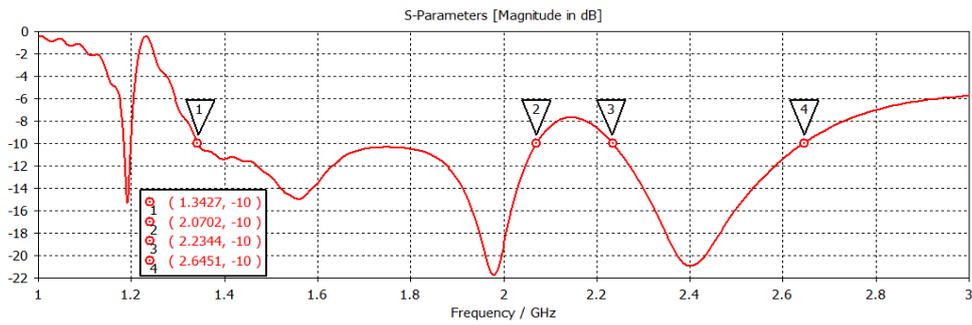
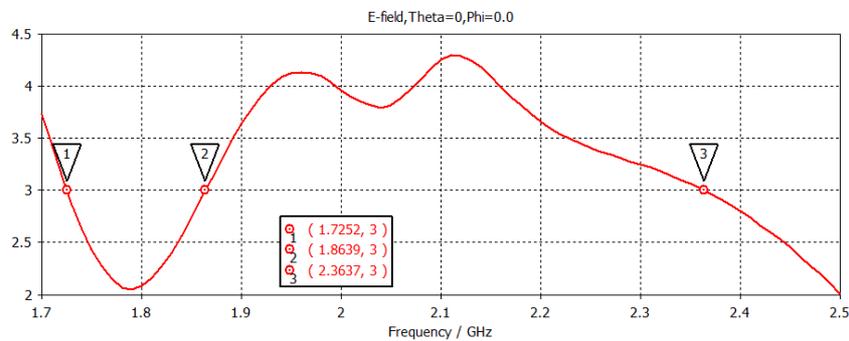
Figura 19*Modelo optimizado de la antena*

Figura 20

Gráfica de los parámetros S11 para el modelo optimizado de la antenna

**Figura 21**

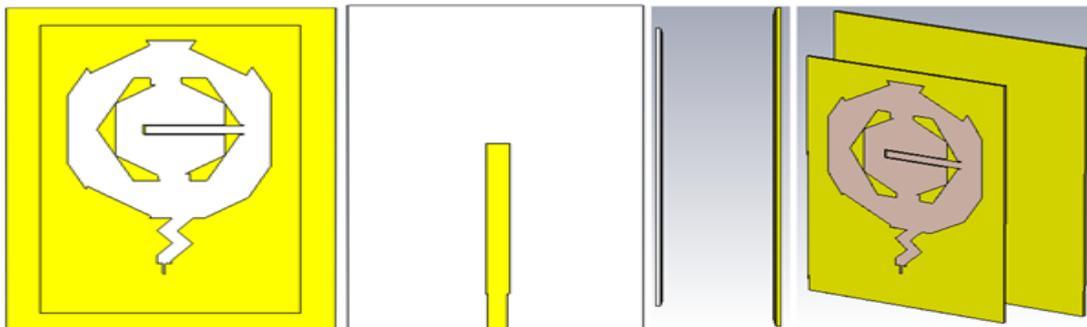
Gráfica de la relación axial para el modelo optimizado de la antenna



Después de haber cumplido prácticamente los objetivos de anchos de bandas requeridos y relación axial con el modelo propuesto, se siguen realizando simulaciones en la antenna hasta encontrar una forma sencilla de ampliar el ancho de banda de relación axial que incluya las frecuencias faltantes de la banda inferior. A partir del análisis del campo eléctrico y de las gráficas de relación axial de las simulaciones realizadas se decide combinar dos parámetros que de cierta forma se complementaban entre sí para lograr el cumplimiento de la totalidad de los objetivos. Los mismos fueron: la distancia de separación entre la antenna y el plano tierra y el desplazamiento de la línea de alimentación. El diseño final se muestra en la Figura 22.

Figura 22

De Izquierda a Derecha Vista Frontal, Vista Trasera del Sustrato, Vista Lateral y en Perspectiva

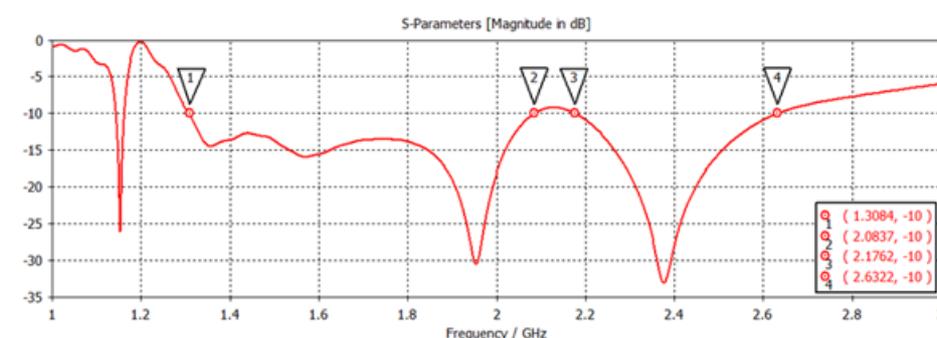


De la Figura 23 se puede observar que la antenna diseñada posee un ancho de banda en la banda de 1800 MHz de 775.3 MHz (1.3084-2.0837 GHz) y en la de 2.4 GHz de 456 MHz

(2.1762-2.6322 GHz), lo que hace posible su uso para las aplicaciones que se perseguían con su diseño.

Figura 23

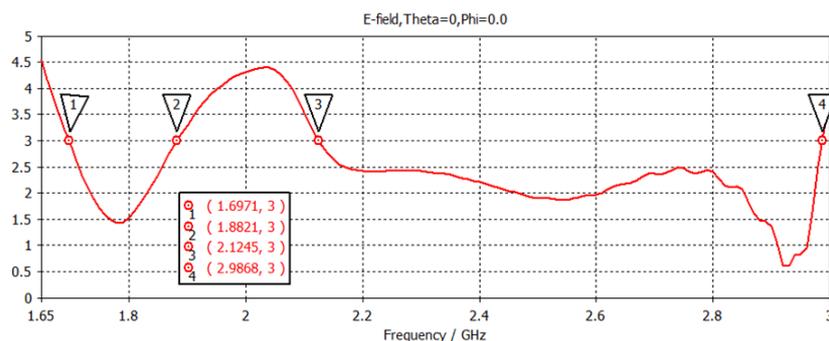
Pérdidas de Retorno



La Figura 24 muestra la relación axial, donde se logra un ancho de banda en la banda inferior de 185 MHz (1.6971-1.8821 GHz), mientras que en la banda superior es de 862.3 MHz (2.1245-2.9868 GHz), abarcando completamente las frecuencias necesarias de los servicios para los que fue diseñada la antena.

Figura 24

Relación Axial



En las Figura 25 y Figura 26 se puede apreciar que este modelo presenta un buen acoplamiento de impedancia, al tener valores cercanos a los 50Ω en el caso de la parte real, y a cero en el caso de la parte imaginaria para las bandas de frecuencia de interés.

Figura 25

Parte Real de la Impedancia de Entrada

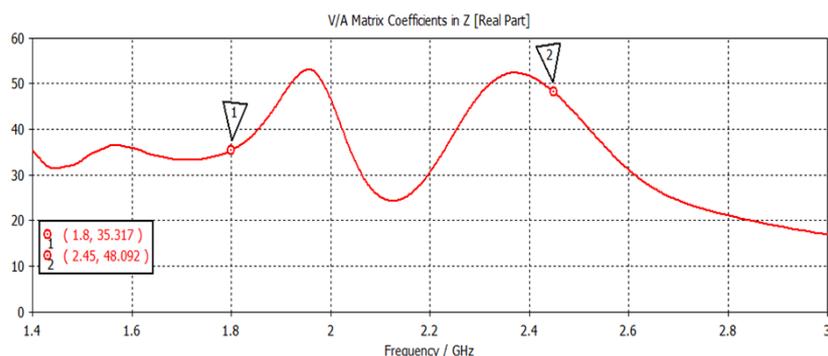
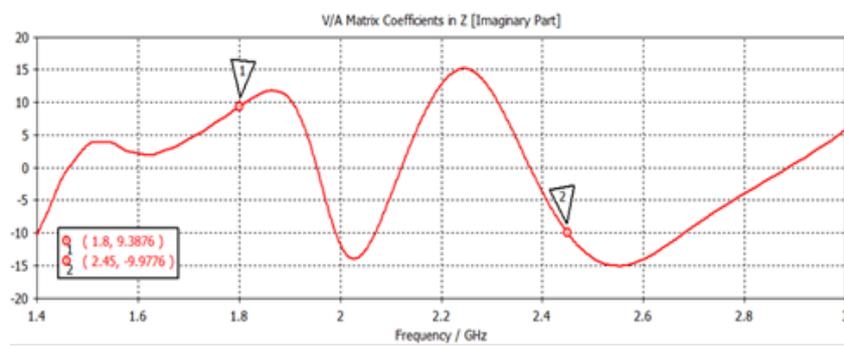
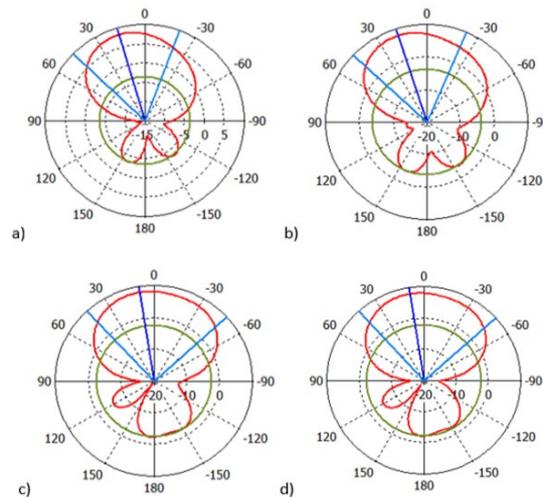
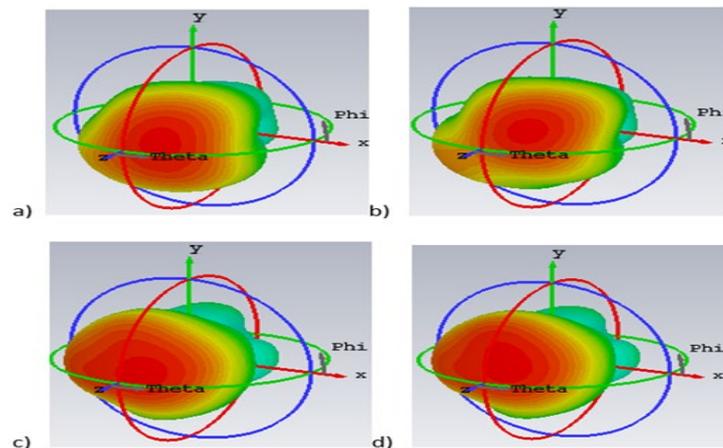


Figura 26*Parte Imaginaria de la Impedancia de Entrada*

En la Figura 27 y la Figura 28 se muestran los patrones de radiación de la antena optimizada para un grupo de frecuencias en 2D y 3D, respectivamente. A partir de su análisis se puede afirmar que este modelo logra un patrón de radiación de forma unidireccional, con ganancias de 8.19 dB en 1.75 GHz y 8.22 dB en 2.45 GHz. En el caso de la directividad para todas las frecuencias que se muestrearon, la misma fue siempre superior a 8.1 dBi.

Figura 27*Patrones de radiación en 2D a) 1750 MHz, b) 1850 MHz, c) 2400 MHz y d) 2450 MHz***Figura 28***Patrones de radiación en 3D a) 1750 MHz, b) 1850 MHz, c) 2400 MHz y d) 2450 MHz*

Con el fin de facilitar la construcción de la antena propuesta, a continuación se exponen las dimensiones del diseño optimizado en mm. Para ello el análisis se apoyará en la Figura 29 y en la Tabla 1 para el caso de las variables utilizadas en el plano ranurado y en el añadido, y en la Figura 30 y la Tabla 2 donde se recogen las medidas empleadas en la vista trasera del sustrato.

Dimensiones de la antena en el plano ranurado y del plano tierra añadido

Figura 29

Distribución de las Variables Utilizadas en el Plano Tierra Ranurado para el Modelo de Antena Final

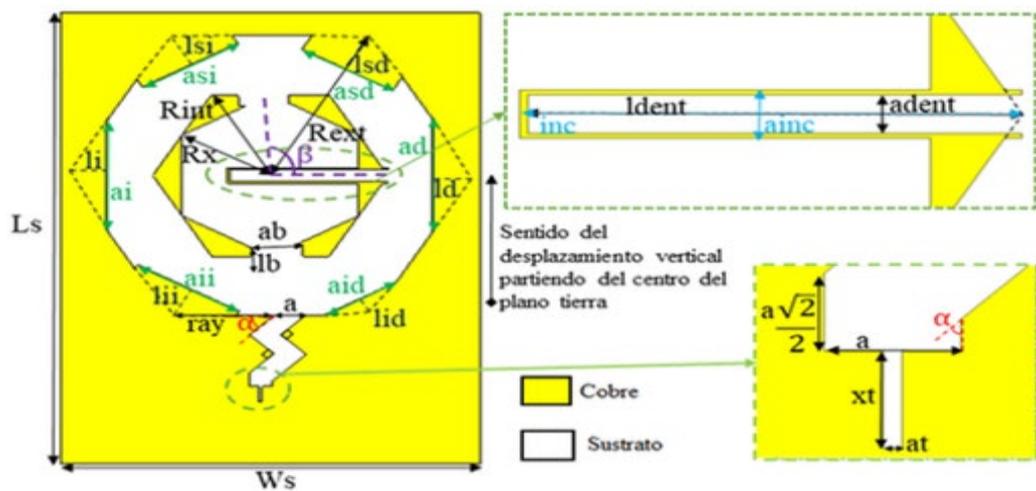


Tabla 1

Dimensiones de la Antena en el Plano Ranurado y del Plano Tierra Añadido

PARÁMETROS	VALOR (mm)	PARÁMETROS	VALOR (mm)
Largo plano tierra añadida	162.802	ai	33.60
Ancho plano tierra añadido	134.749	ad	35.441
Ls	142.748	ldent	39.616
Ws	105.089	adent	3.912
Desplazamiento vertical	19.907	inc	40.275
Rext	51.023	ainc	4.838
Rint	29.497	li	9.7
at	0.802	ld	10.231
xt	5.042	lid	6.022
ab	12.59	lii	9.923
lb	7.085	lsd	12.452
Rx	25.589	lsi	10.732
aid	24.299	ray	26.409
aii	29.531	a	5.685
asd	26.246	asi	27.569

La rotación de las muescas es de $\beta = 91.39^\circ$. El vértice de dicho ángulo lo constituye

el centro que fue desplazado como se explicó anteriormente, mientras que uno de sus lados es utilizado como referencia para medir la amplitud de la rotación. Tomando como centro de una circunferencia dicho punto de la figura, la otra muesca es diametralmente opuesta a la antes mencionada. En el caso del ángulo α su valor es de 45° . La longitud total de la estructura en forma de rayo es de aproximadamente $\lambda/4$ para una frecuencia de 1.8 GHz.

Dimensiones de la cara inferior del sustrato

Figura 30

Distribución de las Variables Utilizadas en la Cara Inferior del Sustrato

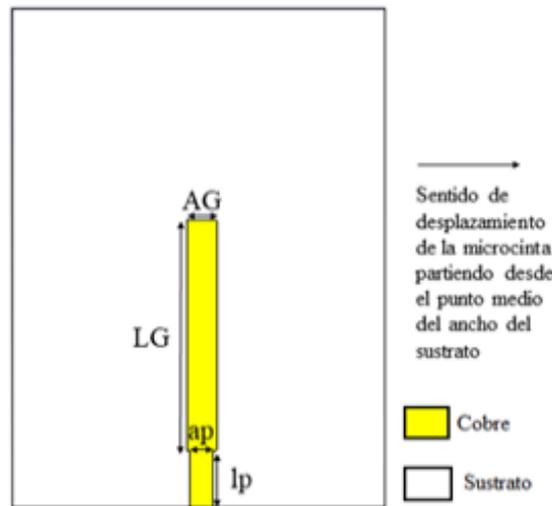


Tabla 2

Dimensiones de la Cara Inferior del Sustrato

PARÁMETROS	VALOR (mm)
AG	8.455
LG	65.931
ap	6.826
lp	16.221
Desplazamiento de la alimentación	0.75

Discusión de Resultados

Las antenas de microcinta convencionales con formas de parches rectangulares y circulares tienen estrecho ancho de banda y pobre eficiencia de radiación, lo que impide que sean capaces de satisfacer los principales requerimientos de los sistemas de comunicaciones modernos. El perfeccionamiento de los equipos de telecomunicaciones, y en este caso particular de las antenas de microcinta, es un proceso en constante evolución; por ello día a día grandes empresas, universidades, y profesionales vinculados directamente a estas áreas realizan contribuciones con técnicas modernas que toman como base, tanto los antiguos como los más novedosos conocimientos alcanzados en estas esferas y los adaptan a las condiciones futuras. En este apartado de la investigación se resumen los resultados obtenidos durante el desarrollo de los modelos propuestos anteriormente.

Algunos de los ejemplos de las técnicas utilizadas para la realización de las propuestas fueron la introducción de ranuras en el plano tierra de la antena; una de ellas en forma de rayo que fue la de mayor influencia en lo relacionado con la generación de polarización circular en la banda inferior junto a la del borde exterior; la generación de la polarización circular en la banda superior se logró gracias a la contribución que ejerció la correcta orientación de las muescas en la zona central del ranurado realizado, y el plano tierra añadido posteriormente proporcionó que el patrón de radiación de la estructura diseñada fuera unidireccional.

Partiendo de los resultados obtenidos mediante la simulación en el software CST Studio 2017 se puede afirmar que se ha logrado el diseño de dos antenas de microcinta multibanda que incorporan polarización circular en las bandas de frecuencia de interés. En la Tabla 3 se reflejan los rangos de frecuencia de los servicios de telefonía celular en la banda 3 de la LTE en 1800 MHz, Bluetooth y WiFi en 2.4 GHz, y a continuación cómo los mismos son cubiertos en su totalidad por cada uno de los modelos propuestos.

Tabla 3

Aplicaciones inalámbricas que se perseguían en el diseño

SERVICIOS	BANDAS DE FRECUENCIAS QUE REQUIEREN (MHz)	ANCHO DE BANDA ANTENA DE PATRÓN BIDIRECCIONAL (MHz)	ANCHO DE BANDA ANTENA DE PATRÓN UNIRECCIONAL (MHz)
Telefonía LTE Banda 3	1710-1785; 1805-1880	1683-1888.2	1697.1-1882.1
WiFi en 2.4 GHz	2400-2483.5	2396.6-2735.3	2176.2-2632.2
Bluetooth	2400-2483.5	2396.6-2735.3	2176.2-2632.2

Conclusiones

El estudio del contexto internacional y nacional sobre el diseño de antenas de microcinta, y el análisis de las técnicas más recientes, posibilitaron identificar aquellos métodos más viables para generar múltiples resonancias y polarización circular en las mismas, seleccionando la alimentación por proximidad al parche, así como la inserción de ranuras en el plano tierra.

Una vez analizados los resultados de la simulación mediante el software CST Studio 2017 para las dos antenas de microcinta diseñadas, se decidió optar por la que presenta un patrón de radiación unidireccional al brindar mayor control en la directividad de la misma.

Estas simulaciones demostraron que se alcanzan ganancias de aproximadamente 8.2 dB en las frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 185 MHz en la banda de 1800 MHz y 456 MHz en la de 2.4 GHz, y cubre totalmente los requerimientos de frecuencias de las aplicaciones WLAN en la banda de 2.4 GHz y telefonía LTE en la banda 3 para los que fue diseñada.

El diseño de estas antenas de ligero peso, bajo costo y pequeñas dimensiones, garantizará que los servicios de WiFi en 2.4 GHz y LTE en la banda de 1800 MHz sean utilizados simultáneamente sin necesidad de emplear un dispositivo de este tipo para cada prestación por separado.

La forma de describir los pasos del diseño de ambos modelos sugeridos facilitará a todos los interesados su futura construcción, teniendo en cuenta que se recogieron de forma detallada los modelos elaborados mediante imágenes tomadas del software, con sus

correspondientes gráficas, en un orden lógico de trabajo proporcionándole a éstos las medidas exactas del modelo final.

Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Departamento de Comunicaciones Inalámbricas de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) por brindarles bibliografía de los años recientes relacionada con el tema de investigación que se ha plasmado en este artículo, sin las cuales no hubiera sido posible el desarrollo del mismo.

Referencias

- Braasch, M. (1996). *Multipath effects, in Global Positioning System: Theory and Applications*.
- Brookner, E., Hall W., and Westlake R. (1985). *Faraday loss for L-band radar and communications systems*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol 21, No 4, pp. 459–469, <https://doi.org/10.1109/TAES.1985.310634>
- Collazo, C. (2020). *Diseño de antena reconfigurable en frecuencia para aplicaciones Wifi, Bluetooth y localización de dispositivos en la banda civil* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Balanis, C (2016), *Antenna Theory Analysis And Design*, Fourth Edition. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Antenna+Theory%3A+Analysis+and+Design%2C+4th+Edition-p9781118642061>
- Counselman, C. (1999). *Multipath rejecting GPS antennas*. Proceedings of the IEEE, Vol 87, No 1, pp. 86-91, <https://doi.org/10.1109/5.736343>
- CST STUDIO SUITE® (2021). <https://www.3ds.com>.
- Cabrera, A y Paz, N. (2018). *Antena de Microcinta Doble Banda con Polarización Circular para Aplicaciones WLAN*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Davies, K. (1965). *Ionospheric Radio Propagation*, NBS Monograph 80, 181, US Government Printing Office, Washington DC. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/MONO/nbsmonograph80.pdf>
- Doust, E., Hemmati, V. and Wight, J. (2008). *An aperture-coupled circularly polarized stacked microstrip antenna for GPS frequency bands L1, L2, and L5*. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp: 1-4, <https://doi.org/10.1109/APS.2008.461944020>
- Carrazana, G. (2019). *Diseño de una antena reconfigurable en frecuencia para operar en las bandas de servicios WiFi de 2.4GHz y 5GHz*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Liu H., et al. (2014). *A multiband planar antenna for GSM/UMTS/LTE and WLAN/WiMAX handsets*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 62, No 5, pp 2856–2860, <https://doi.org/10.1109/TAP.2014.2308525>
- Heidari, A., Heyrani, M., y Nakhkash, M. (2009). *A dual-band circularly polarized stub loaded microstrip patch antenna for GPS applications*, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 92, pp. 195–208, <https://doi.org/10.2528/PIER09032401>
- High Frequency Circuit Materials (2021). RT/duroid® 5880 Glass Microfiber Reinforced Polytetrafluoroethylene Composite Rogers Corporation Microwave Materials Division. ISO 9002 CERTIFIED <http://www.rogerscorp.com/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/rt-duroid-5870-5880-data-sheet.pdf>.

- García, H. y Núñez, J. (2017). *Arreglo de antenas de microcinta con polarización circular para la banda de 60 GHz*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Guerra, M. (2020). *Sistemas de Alimentación para 5G*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Oulhaj, O., Touhami, N., Aghoutane, M. y Tazon, A. (2016). *A miniature microstrip patch antenna array with defected ground structure*. International Journal of Microwave and Optical Technology, Vol. 11, No. 1, pp. 32-39.
https://www.researchgate.net/publication/298045954_A_miniature_microstrip_patch_antenna_array_with_defected_ground_structure
- Kumar, P. and Masa-Campos, J. (2017). *A novel dual polarized waveguide fed circular patch antenna for Ku band applications*. Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 59, pp. 1743-1750,
<https://doi.org/10.1002/mop.30622>
- Kumar, P. and Bisht, N. (2011). *Stacked coupled circular microstrip patch antenna for dual band. Applications*. Proceeding of Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp. 629-632.
https://www.researchgate.net/publication/266346102_Stacked_Coupled_Circular_Microstrip_Patch_Antenna_for_Dual_Band_Applications_PIERS_Proceedings_pp_629-632_Sept_2011
- Kumar, P. (2014). *Computation of resonant frequency of gap-coupled ring microstrip antennas*. International Journal of Automation and Computing, Vol. 11, No. 6, pp. 671-675.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11633-014-0814-5.pdf>
- Kumar, P. (2017). *Design of low cross-polarized patch antenna for ultra-wideband applications*. International Journal on Antenna Communications and Propagation, Vol. 7, No.4, pp. 265-270.
<https://doi.org/10.15866/irecap.v7i4.10435>
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. y Ittipiboon, A. (2000). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House Publishers. https://books.google.fr/books?id=_er1LO5pEnUC
- Varma, R., Ghosh, J. y Bhattacharya, R. (2017). *A compact dual frequency double U-slot rectangular microstrip patch antenna for WiFi/WiMAX*. Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 59, pp. 2174-2179.
<https://doi.org/10.1002/mop.30705>
- Singh, A., Aneesh, M., Ansari, J. (2015) *Slots and notches loaded microstrip patch antenna for wireless communication*. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 584-594. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v13i3.7282>
- Steven (Shichang) Gao, Q. L., Fuguo Zhu. (2014). *Circularly Polarized Antennas*. John Wiley & Sons.
<https://ieeexplore.ieee.org/book/6670809>
- Toh, B., Cahill, R. y Fusco V.(2003). *Understanding and measuring circular polarization*, IEEE Transactions on Education, Vol. 46, No. 3 pp. 313–318. <https://doi.org/10.1109/TE.2003.813519>

Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos

Reliability, availability and maintainability modeling of the telecommunications and data transmission platform

Cristhian Ronceros Morales¹ <https://orcid.org/0000-0001-8421-5217>

¹Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela
croncerosm@gmail.com

Enviado: 2022/02/06

Aceptado: 2022/05/19

Publicado: 2022/06/30

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue generar un modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, que permita el cálculo de la disponibilidad y la estimación de la confiabilidad de los conmutadores (switches), enrutadores (Routers), UPS (sistema de alimentación ininterrumpida), puntos de acceso (Access Point), puntos de acceso/puente (Access point/bridge) y equipos de radio enlace. Se tomó como caso de estudio la localidad de Maturín de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). El estudio consistió en una investigación de campo, con nivel descriptivo. La población estuvo constituida por ocho (8) trabajadores del área. Para la obtención de información se utilizó los reportes de fallas del centro de monitoreo de oriente (CIMOR) de los últimos dieciocho (18) meses, de los 106 equipos instalados en Maturín. Para el desarrollo del modelado se utilizó la metodología de análisis confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM) y el software Raptor 7.0. El modelo propuesto permite realizar los cálculos de disponibilidad y proyecciones de confiabilidad de la plataforma, como requerimiento importante para la realización de planes de mantenimiento y el apoyo en la toma de decisiones para la optimización del funcionamiento operativo de la organización. El modelo propuesto puede ser tomado como ejemplo para las plataformas de telecomunicaciones de cualquiera de las localidades que conforman a PDVSA, sólo realizando un análisis de la configuración y función de los componentes dentro del sistema (Diagrama de bloques de confiabilidad).

Palabras clave: Modelado, confiabilidad, disponibilidad, Análisis CDM, simulación.

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Ronceros, C. (2022). Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 85-104. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/914>

Abstract

The objective of this research was to generate a model of reliability, availability, and maintainability of the telecommunications and data transmission platform. This model allows the calculation of the availability and estimation of the reliability of the switches (switches), routers (Routers), UPS (uninterruptible power supply), access points (Access Point), access points / bridge (Access point / bridge), and radio link equipment. The location of Maturin de Petroleos de Venezuela S.A. (PDVSA) was taken as a case study. The study consisted of field research with a descriptive level. The population consisted of eight (8) workers in the area. Failure reports of the eastern monitoring center (CIMOR, acronym in Spanish) for the last eighteen (18) months of 106 equipment installed in Maturin were used to collect information. The reliability, availability, and maintainability (CDM) analysis methodology and the Raptor 7.0 software were used to develop the model. This proposed model allows availability calculations and reliability projections of the platform, as an essential requirement for the realization of maintenance plans and support in decision-making for optimizing the organization's operational performance. The proposed model is an example for the telecommunications platforms of any of the locations that make up PDVSA, only by analyzing the configuration and function of the components within the system (reliability block diagram).

Keywords: Modeling, reliability, availability, RAM analysis, simulation.

Introducción

En la actualidad las industrias buscan constantemente optimizar sus operaciones, con la finalidad de que sean seguras y rentables económicamente. Bajo este contexto, surge la confiabilidad como una herramienta útil para la gestión de integridad de activos en instalaciones industriales. Las herramientas de confiabilidad permiten un análisis detallado de las fallas potenciales del sistema, así como su operatividad y tiempos de reparación. Sobre este particular, Birolini (2017) menciona que, la confiabilidad especifica la probabilidad de que no ocurra ninguna interrupción operativa durante un intervalo de tiempo establecido.

Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado. Cuando se mantiene un bien, lo que se busca es preservar un estado en el que siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario, es decir, que el bien o equipo no presente una falla funcional. Moubray (1999), señala que los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario.

Bajo este escenario, se presenta la importancia de conocer la confiabilidad de los equipos electrónicos que conforman una plataforma de telecomunicaciones, los cuales pueden afectar positiva o negativamente la productividad y la seguridad de los procesos y personas en una empresa, razón por la cual han adquirido gran importancia dentro de las industrias petroleras. Al respecto, Gerard, I y Anzures, J. (2001), señalan que los dispositivos electrónicos en la actualidad tienen un mayor auge y dado que los sistemas cada vez son más complejos, por lo que es necesario estudiar la confiabilidad de esos equipos y componentes, con el fin de conocer qué tanto influye cada uno en el funcionamiento global del sistema, para que éste finalmente pueda ser confiable.

En este sentido, se ha considerado realizar un estudio basándose en el análisis probabilístico del tiempo para falla o historial de fallas, aplicando la teoría de confiabilidad de activos reparables para la obtención de la disponibilidad de la red; todo ello a través del cálculo de los parámetros del mantenimiento que nos brinda el análisis de confiabilidad, disponibilidad

y mantenibilidad (CDM). Yañez y otros (2007) definen a un sistema reparable como aquel que acepta reparaciones y sus funciones pueden ser restauradas por cualquier método de reparación sin tener que reemplazar todo el sistema.

El análisis CDM o *RAM* es una técnica que sirve para determinar cuantitativamente la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en un sistema; los indicadores obtenidos a través del análisis *RAM* permiten realizar el análisis del comportamiento de los componentes, subsistemas y sistemas, basándose en su configuración, políticas de mantenimiento, recursos disponibles y filosofía operacional. Sobre este particular, R2M (2015) señala que el análisis *RAM*, combina técnicas de la Ingeniería de Confiabilidad para equipos y sistemas para pronosticar la producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de producción, de acuerdo con la configuración del sistema que lo soporta, a la confiabilidad de sus componentes, a las políticas de mantenimiento, el recurso disponible y a la filosofía operacional.

El presente artículo tiene como objetivo generar un modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos tomando como caso de estudio los equipos que conforman la plataforma de telecomunicaciones de la localidad de Maturín de Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA), entre los cuales se encuentran los conmutadores, enrutadores, UPS, puntos de acceso, puntos de acceso/puente. Con el modelado se busca identificar el comportamiento general del sistema, tomando en cuenta la configuración de los equipos, las fallas aleatorias, las reparaciones, las paradas parciales y totales; y el mantenimiento planificado; base importante para las proyecciones de disponibilidad y confiabilidad del sistema, que van a permitir optimizar el funcionamiento del sistema, a través del apoyo en la toma de decisiones relacionadas con los planes de mantenimiento de la plataforma.

El modelo propuesto para la plataforma de telecomunicaciones es un instrumento que permite fortalecer las decisiones dirigidas a cumplir con los planes operativos de la empresa, debido a que se centran en los índices de mantenimiento de los diferentes equipos que conforman la plataforma, ayudando a fortalecer el manejo de datos e información dentro de la empresa y así poder apoyar en la obtención de los objetivos, garantizando la calidad de servicio.

La base fundamental de la propuesta se centra en el cálculo de los: Tiempo Promedio para Fallar (TPPF), Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) y Tiempo Promedio para Reparar (TPPR), que mejor caracterizan los diversos equipos del sistema bajo estudio; estos datos fueron tomados de bancos de datos del centro de monitoreo de oriente (CIMOR), y comprenden reportes de fallas de los últimos 18 meses, de los 106 equipos que conforman la plataforma de comunicaciones de PDVSA en Maturín.

El alcance para el modelo propuesto tiene una significancia relevante para el sector industrial de hidrocarburos. Partiendo de la premisa que cualquier equipo, parte o componente posee una confiabilidad, podemos obtener datos de confiabilidad para cualquier equipo que conforme una plataforma de telecomunicaciones y así, realizar el análisis posterior de acuerdo a la configuración del sistema por medio del diagrama de bloques de confiabilidad.

La metodología descrita en la realización del modelado permite adaptarlo a las diferentes plataformas de telecomunicaciones instaladas a lo largo de las instalaciones y áreas operacionales de PDVSA, las cuales son veintiocho (28) y se extienden por todo el territorio nacional, permitiendo obtener resultados positivos en términos de mantenimiento, resultados financieros (producción, costos de mantenimiento, etc.), ambientales (disminución de impactos negativos) y personales (disminución de fatalidades/accidentes).

Metodología

El presente trabajo se enmarca en una investigación de campo con un nivel descriptivo, tomando como estudio el comportamiento de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, al realizar proyecciones del sistema mediante la simulación de un modelo. La población se encuentra constituida por ocho (8) trabajadores que son los operarios de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín.

Para desarrollar el modelado de la plataforma de telecomunicaciones se requiere la aplicación de la metodología análisis *RAM*, la cual consta de 3 etapas:

Etapa I: Análisis de Datos

En esta etapa se busca conocer las tasas de fallas y mantenimientos de los equipos o componentes que conforman la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos. Para esta etapa se realizan los siguientes pasos:

- *Recopilación de Data Histórica Propia*: se recolecta información de campo sobre las fallas de tipo y frecuencia y los datos de reparación de los equipos que componen la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos.
- *Revisión y Validación de las Bases de Datos*: se valida la información de confiabilidad obtenida para los equipos del sistema (TPPF y TPPR). Aquí se incluyen entrevistas con personal vinculado con la plataforma, con la finalidad de intercambiar, aclarar la información obtenida, revisar y definir las filosofías de operación.
- *Estimaciones*: se utiliza la información proveniente de los pasos anteriores para obtener una estimación de las tasas de falla y reparación del sistema. Se obtiene aplicando fórmulas algebraicas que permiten usar las distribuciones de probabilidad y fundamentos matemáticos.

Etapa II: Diseño del Modelo

En esta etapa se procede a realizar la revisión y verificación de la arquitectura del modelo mediante las siguientes etapas:

- *Construcción del Diagrama de Bloque de Disponibilidad*: se realiza el modelado de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, para posteriormente realizar su revisión.
- *Revisión de la representatividad del modelo*: se verifica la validez del modelo realizado, sometiendo a pruebas en reuniones con expertos de dicha plataforma.
 - a) *Formulación del modelo*: Se desarrolla el modelo considerando los procesos involucrados en el mantenimiento de la plataforma.
 - b) *Codificación del modelo*: Se procede con la codificación del modelo en un software (raptor 7.0 para objeto de la presente investigación) donde se realizan las simulaciones necesarias del sistema.
 - c) *Revisión de la representatividad del modelo*: Se revisa en conjunto con analistas del área la representatividad del modelo para su posible corrección o aprobación.

Etapa III: Simulación

Una vez que se verifica el modelo, se procede a realizar la combinación de los resultados que se obtienen de las etapas anteriores; aquí es donde se introduce la información de las tasas de falla y reparación procesadas en el software raptor. En el siguiente paso se inicia

el proceso final de modelaje, con la generación de una cantidad de pre-establecidos escenarios, con la finalidad de observar la funcionalidad del modelo y por consiguiente generar un reporte de lo obtenido.

Resultados y Discusión

Etapa I: Análisis de los datos

La plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de las diferentes instalaciones y localidades que conforman a PDVSA, está compuesta por diferentes dispositivos electrónicos entre los que destacan: *routers*, *switches* y *access points*. El funcionamiento óptimo de estos dispositivos es de gran valor para que los trabajadores de PDVSA mantengan el flujo de información, para garantizar la continuidad operativa de la empresa.

Recopilación de Data Histórica Propia

La recopilación de la data histórica de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, se logró mediante la revisión de los informes mensuales de fallas de los diferentes equipos que la conforman, por un periodo de tiempo de dieciocho (18) meses que abarca desde marzo 2020 hasta agosto 2021. Esta información fue suministrada por CIMOR de la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT) de PDVSA. El presente estudio tomó en cuenta las siguientes áreas administrativas y operacionales de la localidad de Maturín:

- Edificio ESEM.
- Edificio Bermada.
- Centro de formación Socialista.
- Edificio PDVSA GAS.
- Sede de PDVSA en CCP.
- Edificio Doña trina.
- Clínica Emigdio Cañizales Guedez,
- Planta SISOR.
- Quiriquire.
- Caripito.

En la Tabla 1 se observa la información de los números de casos de incidentes reportados durante los meses de estudio, con su correspondiente total de horas y promedio de horas.

Tabla 1

Casos Incidentes Maturín

MESES	CASOS INCIDENTES	TOTAL DE HORAS	PROMEDIO DE HORAS
Julio 20	15	79.64	5.31
Agosto 20	31	327.68	9.93
Septiembre 20	33	957.18	29.01
Octubre 20	33	684.11	20.12
Noviembre 20	96	2204.83	22.49
Diciembre 20	57	1231.66	21.61

MESES	CASOS INCIDENTES	TOTAL DE HORAS	PROMEDIO DE HORAS
Enero 21	48	2055.83	41.12
Febrero 21	54	274.63	5.08
Marzo 21	72	218.72	5.08
Abril 21	36	87.86	2.31
Mayo 21	50	316.61	5.97
Junio 21	61	1125.23	18.45
Julio 21	60	180.68	3.01
Agosto 21	43	231.01	5.37
Total	819	11324.52	246.72

En la tabla anterior también se puede observar el total de horas que se recolectaron de los reportes de fallas en la localidad de Maturín, lo cual arrojó una cantidad de 11324.52 horas presentando un promedio de fallas de 12.98 horas durante los dieciocho (18) meses de recolección de datos. Para el siguiente paso, los equipos pertenecientes a la plataforma objeto de estudio se dividieron por marca y modelo (ver Tabla 2).

Tabla 2

Marca y modelo de los equipos de telecomunicaciones

MARCA	MODELO	CANTIDAD	CASOS	HORAS DE FALLA
Cisco	Router 2811	2	21	238.22
Cisco	Switch 2950	3	34	242.57
Cisco	SW red-adm 3512	1	5	101.75
Cisco	SW red-adm 3550	7	166	3116.63
Cisco	SW red-adm 3560	5	15	1287.12
Cisco	SW red-adm 3750	37	266	2313.87
Cisco	SW red-adm 4506	19	179	1641.52
Cisco	SW red adm 6513	2	0	0.00
ZTE	SW red-adm/zte 3928	1	0	0.00
ZTE	SW red-adm/zte 5928	4	16	180.94
ZTE	SW red-adm/zte	1	0	0.00
Cisco	Aironet 1310 Access Point/Bridge	2	82	625.02
Cisco	Aironet 1400 series Wireless Bridge	4	6	107.28
LANPRO	LP-5ai	4	0	0.00
Total		106	851	11324.52

Los reportes de fallas de los equipos (tipos de fallas y duración) se obtuvieron del CIMOR. Las fallas se agruparon en nueve (9) grupos como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3*Casos Incidentes por tipo de falla Maturín*

INCIDENTES	CASOS	TOTAL HORAS
Falla eléctrica	646	6668.79
Falla del equipo	25	916.28
Falla por otro equipo	16	188.93
Falla por mantenimiento	15	13.57
Se desconoce causas y acciones correctivas	146	1863.97
Sin acción correctiva	4	7.62
Otros	14	1665.35
Total	866	11324.51

Revisión y Validación de la Base de Datos

El plan de mantenimiento para la disciplina de redes abarca los equipos: *access point*, centrales telefónicas, *switch*, *router* y *transceiver*. Para efectos de esta investigación se tomaron en cuenta los planes de mantenimiento de *access point*, *switch* y *router*.

Estimaciones

Para las estimaciones fue necesario conocer la disponibilidad promedio de cada uno de los 106 equipos que forman parte del estudio. Los datos generados por CIMOR se obtuvieron sobre un periodo de dieciocho (18) meses. Luego se calculó el Tiempo Total (TT) de trabajo que fue equivalente a 12960 horas.

Posteriormente se procedió a calcular el tiempo en operación (TO) de los equipos y el tiempo fuera de servicio (TFS), ambos son equivalentes al tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR), los cuales fueron necesarios como insumo del modelo. Estos tiempos de disponibilidad (D) se obtuvieron mediante la ecuación (1):

$$D = TO / (TO + TFS) \quad (1)$$

$$TT = TO + TFS \quad (2)$$

El TT es el tiempo en el cual se buscó la disponibilidad; sustituyendo la ecuación (2) en la Ecuación (1), queda la ecuación (3):

$$TO = D \times TT \quad (3)$$

Una vez obtenido TO, se calculó el valor de TFS mediante la ecuación (4).

$$TFS = TT - TO \quad (4)$$

En la Tabla 4 se observan los cálculos obtenidos de los 106 equipos pertenecientes a la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín. Los cálculos realizados son en base a un TT de 12960 horas.

Tabla 4

Disponibilidad promedio, tiempo de operación y tiempo fuera de servicio de los equipos de la plataforma de telecomunicaciones

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
AP-SalaAITM3N1	0.983914737	13459.9536	220.0464
ap-bermada-p2	0.997367368	13643.9856	36.0144
ap-bermada-p3	0.995296316	13615.6536	64.3464
ap-bermada-p4	0.997176842	13641.3792	38.6208
ap-bermada-p5	0.996437368	13631.2632	48.7368
ap-bermada-pb	0.976409474	13357.2816	322.7184
ap-mun_ccp-cvp	0.975991579	13351.5648	328.4352
ap-mun_cfos	0.964487368	13194.1872	485.8128
ap-mun_esem-planif	0.993694211	13593.7368	86.2632
ap-mun_esem-salonqq	0.639258947	8745.0624	4934.9376
ap-mun_esem-torret	0.996509474	13632.2496	47.7504
ap-salagerencia	0.99587	13623.5016	56.4984
er-caripito1	0.975756316	13348.3464	331.6536
er-edif-bermada-pb	0.997394444	13644.356	35.644
er-mun_cfos	0.988116842	13517.4384	162.5616
er-mun_clinica-bg	0.998182105	13655.1312	24.8688
er-mun_dtrina	0.997023158	13639.2768	40.7232
er-mun_eimar-P2	0.975530526	13345.2576	334.7424
er-mun_pdvgas	0.996886842	13637.412	42.588
er-mun_ttelecom	0.998324737	13657.0824	22.9176
er-muncep01	0.996788947	13636.0728	43.9272
er-munese1	0.998441579	13658.6808	21.3192
er-munsis01	0.997817368	13650.1416	29.8584
er-quiriq1	0.998153684	13654.7424	25.2576
es-carfisca01	0.907536316	12415.0968	1264.9032
es-clicpto01	0.899247895	12301.7112	1378.2888
es-coremun1	0.998441579	13658.6808	21.3192
es-cptottelecom	0.975702632	13347.612	332.388
es-edif-bermada-p1	0.971130526	13285.0656	394.9344
es-edif-bermada-p2	0.997405263	13644.504	35.496
es-edif-bermada-p3	0.997125263	13640.6736	39.3264

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
es-edif-bermada-p4	0.997202105	13641.7248	38.2752
es-edif-bermada-p5	0.996442105	13631.328	48.672
es-edif-bermada-p6	0.995501579	13618.4616	61.5384
es-esemanexo01	0.995565263	13619.3328	60.6672
es-esemm1n101	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm1n102	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-esemm1n201	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm1n202	0.998091053	13653.8856	26.1144
es-esemm2n101	0.998189474	13655.232	24.768
es-esemm2n201	0.9982	13655.376	24.624
es-esemm2n4	0.995749474	13621.8528	58.1472
es-esemm3n101	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm3n201	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm4n101	0.998417895	13658.3568	21.6432
es-esemm4n102	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm4n201	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm4n202	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemsotanm201	0.998377368	13657.8024	22.1976
es-esemsotanom401	0.997765556	13649.4328	30.5672
es-mun-Mempet01	0.98174	13430.2032	249.7968
es-mun-cecom01	0.997932632	13651.7184	28.2816
es-mun-mvivienda-fp	0.924409474	12645.9216	1034.0784
es-mun_DTrina	0.996446316	13631.3856	48.6144
es-mun_ccp-p_mayores	0.990663158	13552.272	127.728
es-mun_cfos-pna	0.979207368	13395.5568	284.4432
es-mun_eimar-P1	0.968272105	13245.9624	434.0376
es-mun_eimar-PB	0.971155263	13285.404	394.596
es-mun_esem-central_tele	0.816641053	11171.6496	2508.3504
es-mun_hangar	0.991416316	13562.5752	117.4248
es-mun_jubilados	0.984087895	13462.3224	217.6776
es-mun_pdvgas-pa	0.995631579	13620.24	59.76
es-mun_psc-aeropuerto	0.963805263	13184.856	495.144
es-mun_qtafurrial	0.984813158	13472.244	207.756
es-mun_hangar	0.991416316	13562.5752	117.4248

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
es-mun_jubilados	0.984087895	13462.3224	217.6776
es-mun_pdvgas-pa	0.995631579	13620.24	59.76
es-mun_psc-aeropuerto	0.963805263	13184.856	495.144
es-mun_qtafurrial	0.984813158	13472.244	207.756
es-mun_servidor01	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-mun_servidor02	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-munccp01	0.996272632	13629.0096	50.9904
es-munccp_D_Urb	0.989646842	13538.3688	141.6312
es-munccp_P-Agr01	0.994635789	13606.6176	73.3824
es-munccp_pcp	0.996782632	13635.9864	44.0136
es-muncfosAg01	0.967443158	13413.0744	266.9256
es-munsis_EdfAdmin	0.997506842	13234.6224	445.3776
es-munsis_SControl	0.997757895	13645.8936	34.1064
es-munsis_TMecanico	0.984384211	13649.328	30.672
es-munsis_Ttelecom	0.997554737	13466.376	213.624
es-munsis_autogas	0.990917368	13646.5488	33.4512
es-qq_TMecanico	0.931032105	13555.7496	124.2504
es-qq_Ttelecom	0.998149474	12736.5192	943.4808
es-qq_casa180	0.954559474	13654.6848	25.3152
es-qq_casa181	0.953260526	13058.3736	621.6264
es-qq_construpatria	0.975461579	13040.604	639.396
es-qq_trailer-piump	0.913883158	13344.3144	335.6856
es-qqadmin01	0.973844211	12501.9216	1178.0784
es-qqnucleoteca01	0.973936842	13322.1888	357.8112
es-qqtelecom01	0.997975789	13323.456	356.544
es-qrqli01	0.973342105	13315.32	364.68
es-semisotano-M3	0.993039474	13584.78	95.22
es-sotano-activos	0.997837368	13650.4152	29.5848
es-torretelemun	0.998246316	13656.0096	23.9904
es_edif-bermada_PCP_p1	0.971135789	13285.1376	394.8624
ew-Mcptorefineria	0.908799474	12432.3768	1247.6232
ew-Rcptoclinica	0.900933158	12324.7656	1355.2344
ew-dt-fp	0.749022105	10246.6224	3433.3776
ew-dt_eimar	0.990169474	13545.5184	134.4816

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
ew-cimar_dt	0.980562632	13414.0968	265.9032
ew-fp-dt	0.947693158	12964.4424	715.5576
ew-mun_dt-hangar	0.992162632	13572.7848	107.2152
ew-mun_dt-psc	0.996993684	13638.8736	41.1264
ew-mun_hangar-dt	0.991491053	13563.5976	116.4024
ew-mun_psc-dt	0.964458947	13193.7984	486.2016
ew-refineriacpto	0.902697895	12348.9072	1331.0928
ew-torrepto	0.973572632	13318.4736	361.5264
es-qq_casa2-1	0.721900526	11114.7048	2565.2952
es-qq_casa20	0.812478421	10451.1816	3228.8184
es-qq_escuela-lb	0.763975263	10451.1816	3228.8184
es-qqlibertador02	0.733472105	10033.8984	3646.1016

Etapa II: Construcción del modelo

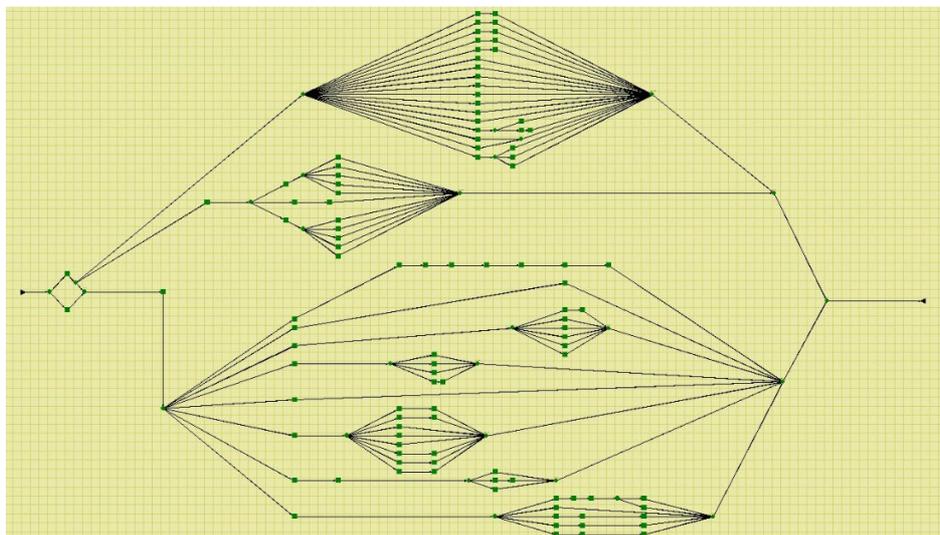
Construcción del diagrama de bloque de disponibilidad

Al recolectar la información necesaria para el modelamiento del sistema, se procedió a establecer el diagrama de bloques de confiabilidad para el sistema estudiado en el espacio de trabajo (*workspace*) del software Raptor 7.0. Este diagrama se diseñó teniendo en cuenta las conexiones lógicas del sistema y, a cada bloque, le corresponde sus tiempos promedios de falla y reparación que fueron calculados previamente.

Al culminar con la inserción de los bloques y nodos de todos los equipos de la red de telecomunicaciones a nivel de conmutadores, enrutadores y puntos de acceso, se colocó el nodo de enlace final, el cual es el que conecta todas las sedes de PDVSA Maturín. En base a lo anterior fue necesario configurar en el nodo, el número de enlaces que llegan a éste para que el nodo se encuentre en funcionamiento.

Figura 1

Modelo de la plataforma de Telecomunicaciones PDVSA Maturín



Cabe destacar que la gerencia de AIT, para el cálculo de la disponibilidad de la plataforma de telecomunicaciones, hace un promedio con los tiempos de fallas de cada equipo pertenecientes a una red LAN, lo cual permite observar la disponibilidad de sus equipos de telecomunicaciones. Luego de agregarse los 107 bloques y 25 nodos que conforman la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín, el modelo obtiene la topología mostrada en la Figura 1.

Inserción de parámetros de falla y reparación

Luego de realizar la representatividad del modelo de la plataforma, el paso siguiente fue la inserción de los parámetros de falla y reparación, donde cada bloque de la plataforma representa un equipo, a los cuales se les ingresó los datos de falla y reparación correspondientes a cada equipo.

Posteriormente se seleccionó la distribución estadística “exponencial” ya que es una normativa establecida por PDVSA, que tiene como requerimiento la utilización de la distribución estadística exponencial en el mantenimiento de los equipos electrónicos. Esta distribución describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos, tal como el tiempo entre fallas de equipos electrónicos. Posterior a la selección de la distribución estadística, se introdujeron los tiempos de falla y reparación. Este procedimiento se repitió en cada bloque perteneciente a la plataforma con sus respectivos datos para cada equipo.

Etapa III: Simulación

Simulación del Modelo

Se realizaron las simulaciones del modelo de la plataforma, con la finalidad de obtener las proyecciones de confiabilidad y disponibilidad en los siguientes periodos:

- **Semanal:** 168 horas
- **Mensual:** 720 horas
- **Trimestral:** 2160 horas
- **Semestral:** 4320 horas
- **Anual:** 8640 horas

Entre las posibles decisiones que se pueden tomar en base a los resultados de las proyecciones tenemos:

- Aumento o disminución de la frecuencia de mantenimiento en equipos o subsistemas.
- Variación en la duración de los mantenimientos.
- Reasignación de recursos para realizar el mantenimiento.
- Aumentar, mantener o disminuir personal para el mantenimiento de los equipos.
- Incorporación y/o desincorporación de equipos o sistemas del plan de mantenimiento.

Las proyecciones semanales apoyan la toma de decisiones a nivel operativo para aminorar aquellos posibles inconvenientes que se presenten semanalmente. La proyección semanal permite identificar aquellos equipos con mayor frecuencia de fallas semanales y que pueden afectar tanto el comportamiento global como local a nivel de redes.

Las proyecciones mensuales permiten observar el posible comportamiento futuro de los equipos mes a mes, facilitando a los planificadores del mantenimiento visualizar si la ejecución del calendario de mantenimiento va según lo planificado. Las proyecciones

trimestrales y semestrales, facilitan a los planificadores la toma de decisiones a nivel táctico, debido a que, el resultado de las proyecciones ayuda a realizar un estudio de la efectividad de las reparaciones realizadas, permitiendo la elaboración de un plan de mantenimiento ajustado a los resultados obtenidos.

Las proyecciones anuales soportan la toma de decisiones a nivel estratégico, en razón de que, el plan de mantenimiento de la plataforma de telecomunicaciones es actualizado anualmente en conjunto con el plan de negocios, en el cual se encuentra contemplado el análisis del crecimiento del Distrito.

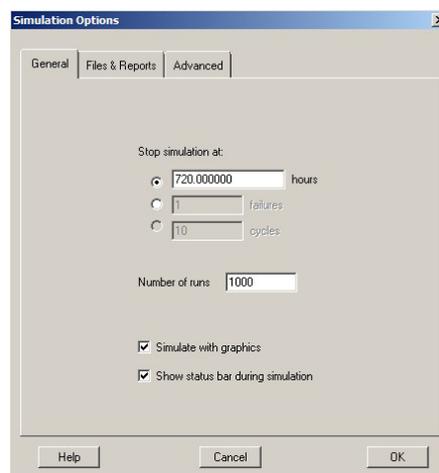
Con la finalidad de obtenerse la disponibilidad promedio de los equipos, los canales de los enlaces de los nodos se ajustaron de la siguiente manera:

- Nodo_Fin_ESEM: 10 de 19
- Nodo Union_suiche_serv: 1 de 2
- Nodo Fin_QQ: 6 de 11
- Nodo Fin_CCP: 3 de 6
- Nodo Fin_CFOS: 2 de 4
- Nodo Fin_Bermada: 4 de 8
- Nodo Fin_Sisor: 2 de 3
- Nodo Fin_Doña_Trina: 3 de 6
- Nodo Fin_Nodo_Fin_Distri: 4 de 8
- Nodo Fin_ESEM_QQ: 1 de 2
- Nodo Fin: 1 de 2

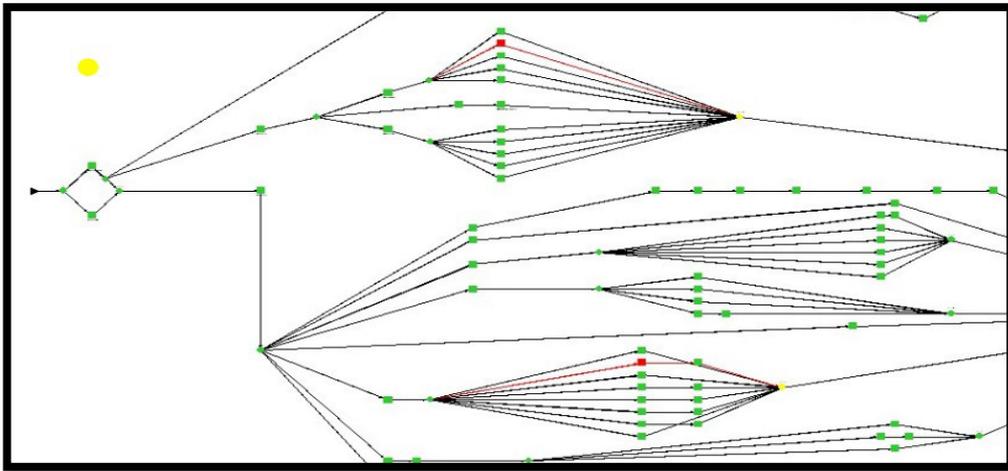
Después de culminar con la construcción del modelo de la plataforma, el siguiente paso fue configurar en el software raptor las opciones para la simulación, para lo cual se procedió a establecer la cantidad de 720 como las horas de las proyecciones y, el número de corridas requeridas configurado fue 1000, como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Selección de horas de proyección y número de corridas



Posterior a la configuración de las opciones del simulador, se procedió con la simulación del modelado de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de PDVSA Maturín, obteniéndose el despliegue que generó la simulación del modelo del sistema mostrado en la Figura 3.

Figura 3*Simulación del modelo*

En el proceso de la simulación (ver Figura 3) se observa que el software muestra tres colores que indican la disponibilidad de cada componente, de acuerdo con el rango de porcentaje del mismo. El color verde está indicando que el elemento se encuentra en perfecto estado, en este caso indica que la disponibilidad del elemento está por encima de 0.998450 que es el rango de disponibilidad aceptable por la empresa.

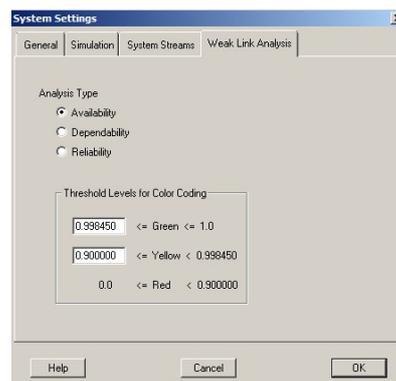
El color amarillo en un bloque o nodo indica que algún elemento o combinación de elementos está empezando a fallar o a bajar su nivel de disponibilidad, es decir, tiene una disponibilidad por debajo de 0.998450 y por encima de 0.900000. El color rojo significa que algún elemento o combinación de elementos ha fallado o causado una falla en una línea de comunicación, originando una falla en el sistema; lo cual significa que el valor de disponibilidad de ese elemento se encuentra por debajo del valor 0.900000. Por lo tanto, el rango de porcentaje fue establecido y configurado en los siguientes valores:

$0.998450 < Verde < 1.0$ (Rango aceptable)

$0.900000 < Amarillo < 0.998450$ (Rango mejorable)

$0.0 < Rojo < 0.900000$ (Rango no aceptable)

En la Figura 4, se muestra una ventana con la configuración de los rangos de disponibilidad establecidos:

Figura 4*Configuración de los rangos de disponibilidad*

Análisis de los resultados

a) Interpretación de los resultados: de las proyecciones realizadas en los periodos semanal, mensual, trimestral, semestral y anual; se obtuvieron los datos de disponibilidad y confiabilidad mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultado de las proyecciones

PROYECCIÓN	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
Semanal (168 Hrs)	0.997393332	0.979
Mensual: 720 Hrs	0.997312877	0.892
Trimestral: 2160 Hrs	0.996797642	0.723
Semestral: 4320 Hrs	0.99701426	0.548
Anual: 8640 HRS	0.996911521	0.273

En los resultados de disponibilidad mostrados en la Tabla 5, el sistema se encuentra dentro de la banda mejorable, por lo cual es necesario tomar acciones para tratar de mitigar estas disminuciones en la disponibilidad y así poder obtener el resultado esperado por la gerencia. Con respecto a la confiabilidad del sistema en la proyección semanal, se observa que arrojó un valor de 0.979, lo que indica que está por debajo de la banda de aceptación, razón por la cual se requiere una revisión de la funcionalidad de los equipos que conforman el sistema. En la confiabilidad de la proyección mensual se puede observar un valor de 0.892, lo cual genera una alerta para la revisión de los planes de mantenimiento y de las estrategias orientadas al mantenimiento de la plataforma.

Las proyecciones trimestral y semestral arrojaron una confiabilidad de 0.723 y 0.548 respectivamente, lo cual denota que el sistema se encuentra fuera del rango mejorable, debido a que, muchos equipos presentan deterioro por cumplimiento de su vida útil y otros equipos presentan fallas ocasionadas por fallas en el suministro de energía eléctrica. Para la proyección anual, el valor de confiabilidad obtenido fue de 0.273, lo que indica que la gerencia de AIT al finalizar el año debe evaluar las estrategias tomadas, con la finalidad de adecuar un plan de negocios ajustado a sus necesidades, considerando una correcta evaluación de los factores que influyen en las fallas presentadas por los equipos, que permitan tomar las decisiones correctas para que la empresa logre alcanzar las metas planificadas.

b) Validación de Resultados: en esta etapa se comparó los resultados de la simulación del modelo con los datos reales del sistema. Para realizar la comparación de los resultados se seleccionó un periodo determinado de un mes, este periodo abarcó desde el 01 de julio de 2021 hasta el 01 de agosto de 2021. El margen de error utilizado para la comprobación de los resultados fue del 5%.

En la Tabla 6 se muestran los equipos seleccionados de la plataforma de telecomunicaciones para su comparación con los datos reales del sistema. Los valores de disponibilidad reales fueron tomados en el mismo periodo de tiempo de la proyección realizada. Los cálculos de disponibilidad del modelo se proyectaron a un (1) mes que equivale a 720 horas.

Tabla 6
Comparación de disponibilidades

EQUIPO	PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD REAL	DIFERENCIA REAL VS PROYECTADA
ap-bermada-pb	0.997117097	0.9974	0.0282903%
ap-mun_esem-planif	0.994359313	0.99525	0.0890687%
ap-mun_esem-torret	0.998787952	0.99864	0.0147952%
ap_bermada-p4	0.998914114	0.99879	1.24114%
er-caripito1	0.963259628	0.95733	0.5929628%
er-mun_dtrina	0.995908168	0.99686	0.0951832%
er-munccp01	0.997690461	0.99881	0.1119569%
er-quiriq1	0.999999986	1	0.0000014%
es-cptottelecom	0.963068706	0.9573	0.5768706%
es-esemm2n201	0.999256838	0.99923	0.0026838%
es-esemsotanom401	0.998658002	1	0.1341998%
es-munccp01	0.998618393	0.99887	0.0251607%
es-munsis_autogas	0.999049783	0.99886	0.0189783%
es-mun_eimar-P1	0.995851882	0.99554	0.0311882%
es-muncfosAg01	0.998756725	0.99873	0.0026725%
es-qq_casa180	0.927718158	0.88783	3.9888158%

En función de los resultados mostrados en la Tabla 6, se puede concluir que el modelo construido para representar la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de PDVSA Maturín es un modelo que se asemeja a la realidad, ya que, al comparar los datos proyectados con los datos reales, éstos presentan una diferencia dentro del margen de error del 5 % lo cual es aceptable para la gerencia objeto de estudio.

Síntesis de los resultados

Los resultados obtenidos por medio de las proyecciones del modelo de la plataforma en el software Raptor 7.0 y los datos calculados de manera manual, servirán de apoyo a la empresa para hacer una revisión de su plan de mantenimiento y, observar qué factores pueden mejorar para aumentar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos de la plataforma.

Las proyecciones y el histórico del comportamiento de la plataforma pueden arrojar como resultado: el aumento o disminución de la frecuencia del mantenimiento, variación en la duración de los mantenimientos, reasignación de recursos, incorporación o desincorporación de equipos o sistemas del plan de mantenimiento, incorporación de unidades para el respaldo del servicio eléctrico, incorporación de unidades para el soporte de las funciones de los sistemas de redes de la empresa.

Con los resultados de las proyecciones y la revisión detallada de los reportes de alarmas, se busca obtener el mejoramiento de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad, con la finalidad de que la empresa pueda reducir costos evitando fallas inesperadas en los equipos o

sistemas; así como también optimizar el funcionamiento de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA en Maturín.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se basa en experimentar con la creación de ciertos escenarios, el impacto de los componentes del sistema en la disponibilidad, confiabilidad y el funcionamiento del proceso en estudio. Para este análisis los actores principales son todos los nodos finales del modelo estudiado, en el cual se incluyen los nodos que están al final de cada sede que contienen a todos los equipos enrutadores, conmutadores y *access point* y el nodo final que conecta a todas sedes de la empresa en Maturín, Quiriquire y Caripito.

Los escenarios de simulación utilizados para el estudio de sensibilidad fueron enmarcados en tres partes como lo son el escenario mínimo, escenario promedio y máximo.

a) **Escenario Mínimo:** en este escenario se configuraron los canales de enlace al mínimo número de rutas necesarias para que los nodos estén operando.

- Nodo_Fin_ESEM: 1 de 19
- Nodo Union_suiche_serv: 1 de 2
- Nodo Fin_QQ: 1 de 11
- Nodo Fin_CCP: 1 de 6
- Nodo Fin_CFOS: 1 de 4
- Nodo Fin_Bermada: 1 de 8
- Nodo Fin_Sisor: 1 de 3
- Nodo Fin_Doña_Trina: 1 de 6
- Nodo Fin Nodo_Fin_Distri: 1 de 8

El resultado de la proyección del escenario mínimo dio valores que están dentro de la banda mejorable de disponibilidad y confiabilidad de los equipos de telecomunicaciones de la empresa.

b) **Escenario promedio:** Para este caso se seleccionó el número inmediato superior al promedio y se buscó observar y analizar las diferencias entre los escenarios extremos que son el escenario mínimo y el máximo.

- Nodo_Fin_ESEM: 10 de 19
- Nodo Union_suiche_serv: 1 de 2
- Nodo Fin_QQ: 6 de 11
- Nodo Fin_CCP: 3 de 6
- Nodo Fin_CFOS: 2 de 4
- Nodo Fin_Bermada: 4 de 8
- Nodo Fin_Sisor: 2 de 3
- Nodo Fin_Doña_Trina: 3 de 6
- Nodo Fin Nodo_Fin_Distri: 4 de 8

Para los resultados del escenario promedio se tomó en cuenta que la mitad de los enlaces de los nodos estuviesen en funcionamiento, dando como resultado valores elevados de probabilidad y confiabilidad, pero dentro del promedio mejorable.

c) **Escenario Máximo:** para este escenario se estableció que el funcionamiento de los nodos de enlace no falle ningún bloque, por lo tanto, se establecieron el mayor número de conexiones posibles para cada nodo. La finalidad de este escenario es observar cómo se comporta el sistema cuando todos los equipos se encuentran conectados.

- Nodo_Fin_ESEM: 19 de 19
- Nodo Union_suiche_serv: 2 de 2
- Nodo Fin_QQ: 11 de 11
- Nodo Fin_CCP: 6 de 6
- Nodo Fin_CFOS: 4 de 4
- Nodo Fin_Bermada: 8 de 8
- Nodo Fin_Sisor: 3 de 3
- Nodo Fin_Doña_Trina: 6 de 6
- Nodo Fin_Nodo_Fin_Distri: 8 de 8

Los datos de las proyecciones del escenario máximo arrojaron una disponibilidad y una confiabilidad con valores dentro del rango no aceptable, esto originado a que, con simplemente fallar un equipo en el sistema, afecta su funcionamiento por completo.

El objetivo principal de realizar el análisis de sensibilidad, es conocer el comportamiento del sistema de telecomunicaciones al realizar cambios en los canales de transmisión de los equipos, realizando una configuración en los nodos de recepción de bloques y nodos, con la finalidad de obtener una configuración confiable del sistema para poder obtener proyecciones aceptables del modelo de la plataforma de telecomunicaciones.

Conclusiones

A base de resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

- De los 106 equipos estudiados se pudo constatar que, en la localidad de Maturín se generaron un total de 866 reportes de alarmas durante el periodo estudiado, dentro de los cuales el 74.59% de los reportes fueron generados por fallas del suministro eléctrico.
- Se verificó la representatividad del modelo mediante proyecciones realizadas desde el 01 de julio de 2021 hasta el 01 de agosto de 2021 contra los datos reales tomados en el mismo periodo de tiempo, arrojando una diferencia de 3.0442394% el cual es un margen de error aceptable, debido a que se encuentra dentro del rango del 5% asignado por la Directiva de AIT. Con lo anteriormente mencionado se pudo constatar que el modelo de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín representa la realidad del sistema bajo estudio, con lo que la gerencia de AIT tendrá la posibilidad de calcular la disponibilidad de la totalidad del sistema y de sus equipos por separado.
- El análisis de sensibilidad arrojó que el nodo con menor disponibilidad fue Fin_QQ que es el nodo que representa el nodo final que conecta a los equipos de la sede de Quiriquire. Esto se debe a que en la zona de Quiriquire se presentan muchas fallas en el servicio eléctrico y la duración de las fallas eléctricas sobrepasan la autonomía de los equipos de respaldo de energía (UPS).
- El modelo de la plataforma realizado en el software Raptor 7.0 permite inferir en la probabilidad del comportamiento de los equipos y de la totalidad del sistema en los

distintos escenarios de simulación, basados en la configuración de los sistemas y la confiabilidad de sus componentes.

- El modelo propuesto permitirá disminuir las consecuencias asociadas a la pérdida de comunicación tanto para las redes administrativas como las redes de producción, debido a que apoyará la generación de nuevos planes de mantenimiento; lo cual facilitará el control sobre los equipos, a fin de aumentar la confiabilidad del sistema y de esta forma evitar consecuencias negativas en el proceso productivo.
- Las proyecciones del modelo servirán de apoyo a la empresa para hacer una revisión de su plan de mantenimiento y observar el comportamiento de factores como la frecuencia de los mantenimientos, duración de los mantenimientos, recursos necesarios para realizar el mantenimiento, equipos a los cuales se les realiza el mantenimiento, prevenir fallas futuras y evaluar la incorporación de nuevos equipos a fin de garantizar el funcionamiento óptimo de la plataforma.
- La metodología descrita en la realización del modelado permite adaptarlo a cualquiera de la plataforma de telecomunicaciones existentes en las distintas localidades e instalaciones donde PDVSA tiene operaciones, permitiendo obtener resultados positivos en términos de mantenimiento, resultados financieros, ambientales y personales.

Referencias

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (6a. Edición)*. Caracas: Episteme C.A.
- Barcelo, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid: Isdefe.
- Bajunescu, T y Bazu, M. (1999). Reliability of Electronic Components: A Practical Guide to Electronic Systems Manufacturing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-58505-0_1
- Birolini, A (2017). *Ingeniería de Confiabilidad: Teoría y Práctica (Reliability Engineering: Theory and Practice 8th ed.)*. Berlin; Springer-Verlag.
- Castro, M. (2003). *El proyecto de investigación y su esquema de elaboración. (2ª.ed.)*. Caracas: Uyapal.
- Gerard, I y Anzurez, J. (2001). Análisis de Confiabilidad de Circuitos Electrónicos Usando Matlab. https://www.iiis.org/CDs2011/CD2011CSC/CISCI_2011/PapersPdf/CA326DF.pdf
- Martínez, M. (2006). Análisis de Confiabilidad Operacional en el Sistema Microondas de la Gerencia de AIT Oriente de PDVSA, trabajo de grado presentado ante la Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Mendez, C. (2011). *Metodología: Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales. (4ª ed)*. Caracas: Limusa.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*. Editorial: Industrial Press, Inc
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-02-02. *Administración de Planes de Mantenimiento Preventivo*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-01-00. *Contexto Operacional para el Sistema de Gestión y Control de Mantenimiento*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-02-01. *Elaboración de Planes de Mantenimiento Preventivo*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-01-01-03. *Niveles de Mantenimiento*.
- R2M (2005). *Confiabilidad Integral*.
<http://reliarisk.com/sites/default/files/Archivos/Cap%C3%ADtulo1%20LibroConfiabilidad%20Integral.pdf>

- Sabino, C. (2000). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.
- Sexto, L. (2005). *Confiabilidad Integral del Activo*. Ponencia presentada en el Seminario Internacional de Mantenimiento celebrado en Perú-Arequipa-TECSUP.
- Tamayo, M. y Tamayo (2004). *El proceso de la investigación Científica*. Mexico: Limusa.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006). *Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL
- Vergara, E (2007). *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad del sistema de crudo diluido de PETROZUATA*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Simón Bolívar, Caracas
- Yañez, M.; Gómez, H. y Valbuena, G. (2007). *Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo*. (1ª ed.). Maracaibo: Reliability and Risk Management.



Constructo teórico para la gestión de proyectos de tecnología de información

Theoretical construct for information technology project management

Cristhian Ronceros Morales¹ <https://orcid.org/0000-0001-8421-5217>,
Carmen Arias Delgado² <https://orcid.org/0000-0001-7805-5966>

¹Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela
croncerosm@gmail.com

²Plexus. Gestión de Proyectos, Madrid, España
ariascy@gmail.com

Enviado: 2022/02/06

Aceptado: 2022/05/09

Publicado: 2022/06/30

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar un constructo teórico para la gestión de proyectos de tecnología de información (TI), tomándose como caso de estudio la Gerencia de AIT Región Oriente Sur perteneciente a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). El trabajo se enmarca dentro una investigación con modalidad proyecto factible, con un nivel de investigación descriptivo y de tipo de campo. Las técnicas de recolección de datos utilizadas fueron la revisión documental, la observación directa y las entrevistas no estructuradas. La muestra estuvo representada por los líderes de proyectos adscritos a la gerencia. El constructo teórico se encuentra soportado en una oficina de proyectos y en un modelo de madurez (basado en el OPM3 - Organizational Project Management Maturity Model) en gestión de proyectos compuesta por cinco (5) niveles, desde el más bajo (nivel 0) hasta lograr el objetivo deseado (nivel 4), es decir, el mejoramiento continuo y el uso de las mejores prácticas. Este efecto permite identificar, implementar y optimizar las capacidades críticas de manera ordenada. El constructo teórico para la gestión de los proyectos TI provee una representación sencilla de este proceso, lo cual guía y facilita la ejecución de proyectos a los diferentes actores que intervienen en el mismo, asegurándose la comprensión de los subprocesos y relaciones que lo componen. De esta manera se garantiza el óptimo funcionamiento requerido para proveer y mantener los servicios y soluciones integrales de tecnologías de información.

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Ronceros, C. & Arias, C. (2022). Constructo teórico para la gestión de proyectos de tecnología de información. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 105-124.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/915>

Palabras clave: Proyectos, Gestión de Proyectos, Modelo de Madurez, Mejoramiento Continuo, Mejores Prácticas, Constructo Teórico.

Abstract

The objective of this research was to develop a theoretical construct for the management of information technology (IT) projects, taking as a case study the Management of AIT South East Region belonging to Petroleos de Venezuela S.A. (PDVSA). The work is framed within research with a feasible project modality and a descriptive and field-type research level. The data collection techniques used were documentary review, direct observation, and unstructured interviews. The sample was represented by project leaders assigned to management. The theoretical construct is supported by a project office and a maturity model (based on the OPM3 - Organizational Project Management Maturity Model) in project management composed of five (5) levels, from the lowest (level 0) to achieve the desired objective (level 4), i.e., continuous improvement and the use of best practices. This effect makes it possible to identify, implement and optimize critical capabilities in an orderly manner. The theoretical construct for IT project management provides a simple representation of this process, which guides and facilitates the execution of projects to the different actors involved, ensuring the understanding of the sub-processes and relationships that compose it. In this way, the optimal operation required to provide and maintain information technology services and integrated solutions is guaranteed.

Keywords: Project, Project Management, Maturity Model, Continuous Improvement, Best Practices, Theoretical Construct.

Introducción

Las empresas en diversas áreas desde el gobierno, sistema bancario, defensa nacional, industrias petroleras, comercios, entre otros, han adoptado los proyectos como un medio para organizar sus recursos eficientemente encaminados para ejecutar sus metas. No solo utilizan los conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas de esta disciplina; sino que crean departamentos o áreas especializadas encargadas de la administración de los mismos durante todo su ciclo de vida: iniciación, planificación, ejecución, control y cierre. Sobre este aspecto, Palacios (2000) opina: “la estructura final dependerá de las exigencias propias del negocio, del contexto conductual de la empresa en base a los modelos mentales de sus empleados, del personal actualmente contratado y laborando en la empresa y de las condiciones del mercado laboral” (p. 96).

En este sentido, los proyectos constituyen una de las herramientas por excelencia desarrolladas para este fin, lo cual se puede evidenciar desde miles de años atrás, en construcciones remotas como las pirámides de Egipto, las antiguas catedrales de Europa y muchos otros elementos de la infraestructura como acueductos, caminos, canales y castillos. De manera discreta surge en los años cincuenta del siglo pasado, en la industria de la construcción y en épocas más recientes y se aplica en una gran diversidad de campos (Cleland y Ireland, 2001: 16-17).

Bajo este contexto, el mundo se encuentra inmerso en un acelerado proceso de cambio, que ha influido notablemente en todas las esferas del quehacer humano. Los avances de la ciencia y de la tecnología, sobre todo referidos a los medios de comunicación y transporte han permitido que las relaciones entre los diferentes países se hagan cercanas, las distancias más cortas y las regiones se conectan entre sí. Así también, existe un esparcimiento del mercado caracterizado por la reorganización espacial de la producción, la interpenetración de las

industrias a través de las fronteras y la difusión de los productos a nivel de todo el planeta, donde el verdadero motor económico es la competencia y la persecución de las ganancias.

Bajo estos escenarios, surge en el manejo de los proyectos un proceso de evolución, que partiendo de principios básicos de la administración se ha llegado a la conformación de una disciplina conocida como Gerencia o Gestión de Proyectos (GP), logrando a través del diseño de nuevos enfoques, esquemas y renovación de paradigmas. Se crea una filosofía distinta que se refleja en la bibliografía de esta ciencia, donde su uso y perfeccionamiento se han documentado y difundido durante décadas. Además, permite a las organizaciones cumplir sus planes estratégicos en un mundo globalizado, cada vez más complejo, donde la flexibilidad y capacidad de adaptación son indispensables para la sobrevivencia.

En efecto, se involucra la aplicación de áreas distintas y forma un ciclo dinámico que transcurre desde el planteamiento a la ejecución y control del proyecto, a través de la conformación de estructuras livianas, flexibles y de carácter temporal. Disminuye los costos y hace más sencillo la consecución de los resultados. Sobre este particular el Project Management Institute (PMI), señala “la dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo” (PMI, 2021:s/n). No obstante, la capacidad de manejo y administración durante la gestión de los proyectos, ha evidenciado problemas de rendimiento sobre la forma que se llevan a cabo. Los retrasos o incumplimiento en la entrega de los productos o servicios, el incremento de los costos, cambios constantes en la planificación de las actividades, engorrosos procedimientos de compra y contratación son algunos de los inconvenientes más comúnmente presentados.

Con base en lo mencionado anteriormente, se desarrolla un constructo teórico para la gestión de proyectos, tomando como caso de estudio la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT) Región Oriente Sur, adscrita a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Sus funciones contemplan tanto la ejecución de la cartera de proyectos, como las actividades de una oficina de proyecto basada en estándares internacionales, leyes, regulaciones nacionales, la normativa y procedimientos internos de PDVSA. Se toma en consideración el mundo cambiante en lo referente a los aspectos técnico, político, social y económico, de tal manera que permitan agregar valor y estar al día y en concordancia con el entorno tecnológico.

Metodología

En este apartado se establece el marco metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de información que se utilizaron para abordar el objeto de estudio.

Tipo, Nivel y Modalidad de Investigación

El presente trabajo se enmarca en una investigación de campo, donde los hechos, fenómenos y situaciones fueron observados y tomados para su estudio directamente de la Gerencia de AIT para su posterior análisis e interpretación. Al respecto, Arias (2016) señala que la investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todo, directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p. 31)

Con respecto al grado de profundidad con que se aborda la situación problema estudiada, la presente investigación es de nivel descriptivo, dado que se dirigió a la búsqueda

de la información y descripción de las situaciones y procesos de la gestión de proyectos en la organización bajo estudio.

Méndez (2006) señala que la investigación descriptiva:

...se dirige a la búsqueda de información acerca de un hecho, fenómeno, situación o proceso, para describir sus implicaciones, sin interesarse mucho en conocer el origen o causa de la situación, pues básicamente se orienta a establecer cómo opera y cuál es la característica del hecho o fenómeno. (p.135)

Esta investigación se enmarca en la modalidad proyecto factible, ya que propone el desarrollo de un constructo teórico para la gestión de proyectos TI, con la finalidad de solucionar problemas de funcionamiento organizacional existente dentro de la Gerencia AIT Región Oriente Sur. La Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2006) señala:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales.... El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p. 21)

Población y Muestra

La población estudiada estuvo conformada por diecinueve (19) líderes de macro proyectos y diez (10) responsables de las gerencias y departamentos de soporte a los mismos. Dada las características de esta población pequeña y finita, se tomaron como unidades de estudio las 29 personas.

Procedimiento de la Investigación

El procedimiento que se llevó a cabo en la presente investigación es una metodología propuesta por los autores, la cual contempla las siguientes fases:

Definición Operacional

Comprendió las investigaciones relacionadas con la gestión de los proyectos en las organizaciones, se verificaron las mejores prácticas existentes en estas disciplinas que se adaptaban mejor a la gerencia en estudio. Para este fin, se tomó como base el modelo del OMP3 (Organizational Project Management Maturity Model).

Descripción del sistema actual

Durante esta etapa se documentaron, analizaron y caracterizaron los procesos actuales que contempla la gestión de los proyectos en la Gerencia de AIT Oriente Sur.

Análisis de brechas

Con base en la información de las fases 1 y 2, se definieron las brechas existentes entre la situación actual y las mejores prácticas establecidas en cuanto a la gestión de proyectos.

Elaboración del constructo teórico

En este punto se desarrolló el constructo teórico propuesto para la gestión de los proyectos de tecnología de información, como producto de la información obtenida de las etapas anteriores y la visión estratégica de la organización.

Validación del Modelo

La validez del instrumento se fundamentó en el grado de exactitud que muestra el proceso en estudio; así como, el nivel en que la herramienta mide las variables que se avalúan. El constructo teórico propuesto fue validado con base en las mediciones de las variables en la gestión de proyecto de la organización con respecto a lo que contempla la teoría y por opinión de expertos en esta disciplina.

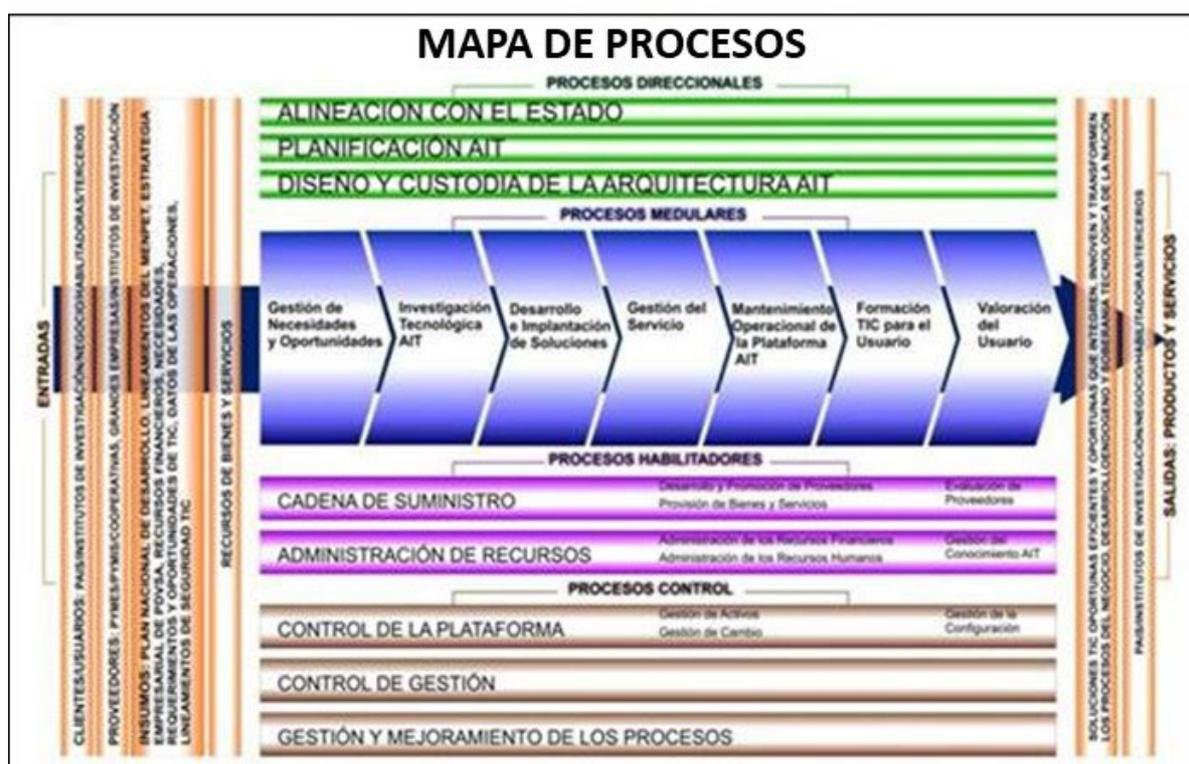
Resultados y Discusión

Descripción del Sistema Actual

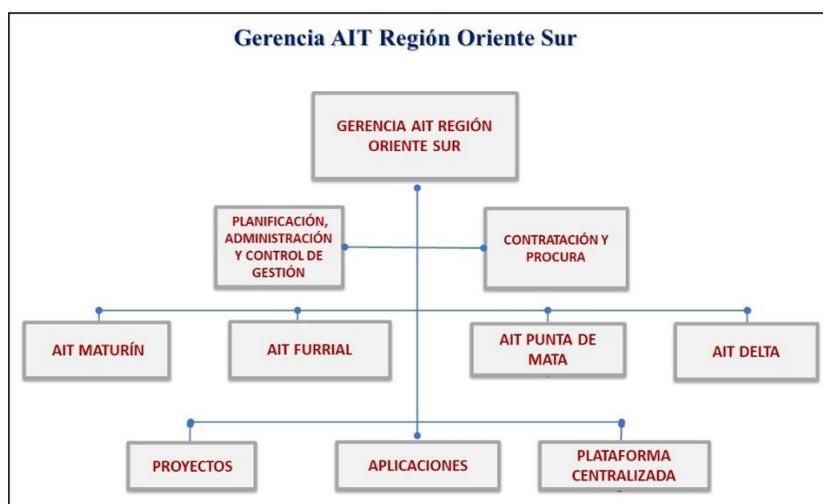
La Gerencia de AIT Región Oriente Sur forma parte de la Junta Directiva de PDVSA como una dirección interna, y es la responsable de brindar soporte y soluciones de orden tecnológico en el área de control automatizado, informática y redes de telecomunicaciones a PDVSA. En la Figura 1 se puede apreciar el mapa de procesos de la gerencia bajo estudio.

Figura 1

Mapa de Procesos de la Gerencia de AIT Región Oriente Sur. Tomado de PDVSA en Manual de Procesos AIT



Actualmente la Gerencia se encuentra estructurada como se muestra en la Figura 2. La organización bajo estudio, cuenta con un departamento encargado de los proyectos, sin embargo, no esta estructura de manera acorde para el manejo de los proyectos. La consecución exitosa del macro proyecto depende directamente de la gestión de los proyectos que lo conforman y la medición del avance físico global; no obstante, el procedimiento en este sentido no se encuentra estandarizado, depende del criterio del líder.

Figura 2*Estructura de la Gerencia de AIT Región Oriente Sur***Modelo de Madurez de Gestión de Proyectos en la Gerencia AIT**

Se realizó un diagnóstico de madurez de los procesos que conforman la organización bajo estudio, con base al OPM3, de acuerdo a la metodología planteada. Es importante señalar, que se tomó como punto de partida una fuente original cualitativa, que fue codificada y cuantificada a través de matrices de ponderación, con la finalidad de obtener un valor porcentual que fue comparado con un grado de madurez organizacional establecido en este sentido, de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1*Criterios de Valoración del Grado de Madurez de la Gestión de Proyectos*

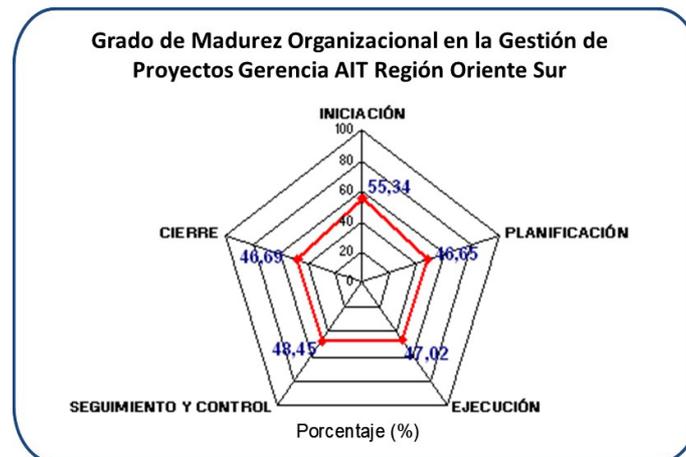
GRADO DE MADUREZ ORGANIZACIONAL	
VALOR PORCENTUAL (%)	CRITERIO DE EVALUACIÓN
0 – 15%	Muy baja
16 – 33%	Baja
34 – 50%	Intermedia - baja
51 – 66%	Intermedia – alta
67 – 89%	Alta
90 – 100%	Óptima

El análisis permitió conocer el grado de satisfacción de los participantes en la gestión de los proyectos, con respecto a los departamentos que le brindan soporte y su conocimiento en los procesos. Así como también, la alineación de la cartera de la Gerencia AIT con los objetivos estratégicos y el nivel de interrelación entre los proyectos que la conforman. El valor porcentual del grado de madurez obtenido por la organización bajo estudio fue de 49%, ubicándose en nivel intermedia – baja según el criterio de evaluación mostrado en la Tabla 1.

En la Figura 3, se observa el grado de madurez organizacional presente en los diferentes procesos (iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre) que se llevan a cabo en gestión de los proyectos dentro de la Gerencia AIT Región Oriente Sur.

Figura 3

Grado de Madurez Organizacional Gerencia de AIT Región Oriente Sur



En la figura anterior se muestra que los procesos de planificación, ejecución, seguimiento, control y cierre, se encuentran en el límite superior del nivel intermedio bajo y los de iniciación en el límite inferior del nivel intermedio alto; resaltando el hecho que la planificación y el cierre obtuvieron la puntuación más baja, lo que es consecuencia de la inexistencia de procedimientos formales y escritos para llevarlos a cabo.

Elaboración del Constructo Teórico

Premisas

La definición y diseño del constructo teórico para la gestión de los proyectos partió de un conjunto de premisas, que permitirán favorecer la implementación exitosa del mismo. A continuación, se presentan dichas proposiciones:

1. Compromiso de la alta dirección para su puesta en marcha.
2. Se fundamenta en una visión sistémica de la organización.
3. Basado en las mejores prácticas de la gestión de los proyectos, en los diferentes modelos de madurez existentes en esta disciplina.
4. Implementación gradual por niveles, a través de un proceso de mejoramiento ordenado, referenciado, evaluable y controlable.
5. Acompañado de un proceso de gestión del cambio planificado.
6. Evaluación periódica de los logros alcanzados, con la finalidad de valorar los resultados obtenidos hasta la fecha y tomar las acciones que sean requeridas para el cumplimiento de las metas.

Cabe agregar, que el constructo teórico esta soportado en una estructura organizacional propuesta, una oficina de proyectos y un modelo de madurez en gestión de proyectos, elementos fundamentales para su implementación:

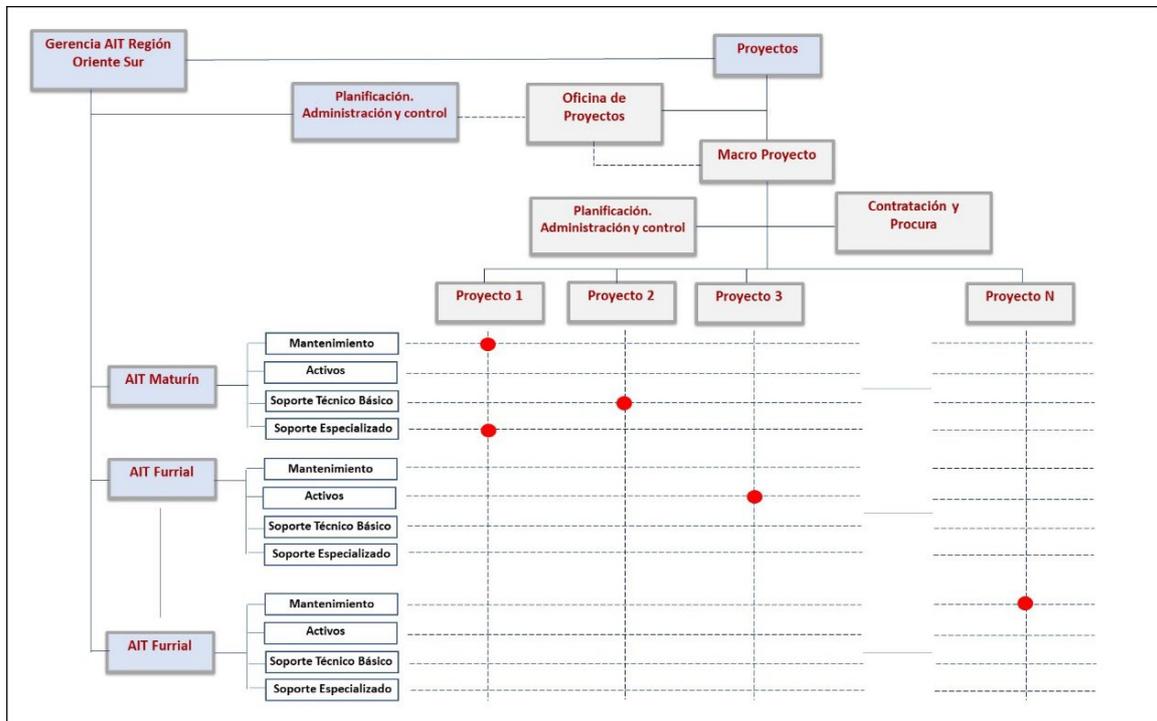
Estructura organizacional propuesta

Uno de los aspectos resaltante del diagnóstico de la madurez fue el relacionado a la eficiencia y efectividad de la estructura organizativa actual para la gestión de los proyectos. En este sentido, se plantea una propuesta (ver Figura 4) que permita establecer de manera clara las interacciones de los distintos departamentos y niveles de la organización con la gestión de los proyectos, simplificar el esquema de relación y comunicación entre los diferentes participantes, reconocer la gestión de los proyectos dentro de una estructura aprobada, mejorar la integración

entre los grupos interdisciplinarios, establecer el desarrollo profesional formal y adaptarse al enfoque de macro proyectos.

Figura 4

Estructura Organizacional Propuesta para la Gestión de Proyectos

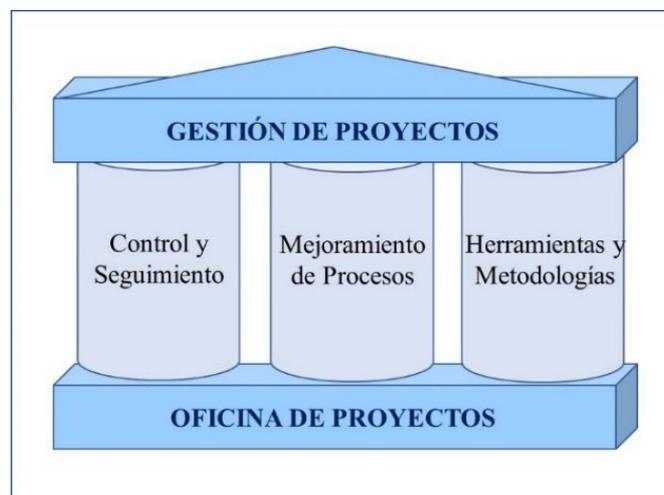


Oficina de Proyectos

La oficina de proyectos es un departamento que apoyará al líder del proyecto y sus responsables de proyectos en el ejercicio de sus funciones, permitiendo la administración centralizada y coordinada, a través de servicios administrativos, capacitación, asesorías, estándares, herramientas, entre otros. La Oficina de Proyectos está conformada por tres (3) procesos principales (Ver Figura 5) que están relacionados y adaptados a las necesidades reales de la organización, determinadas en el diagnóstico realizado.

Figura 5

Procesos Oficina de Proyectos Gerencia AIT Oriente



- **Control y Seguimiento**

Incluye todos los procesos que garantizan que las actividades relacionadas con la gestión de los proyectos se ejecuten lo más cercano a los parámetros previamente establecidos, tal como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Procesos de Control y Seguimiento Oficina de Proyectos



- **Mejoramiento de procesos**

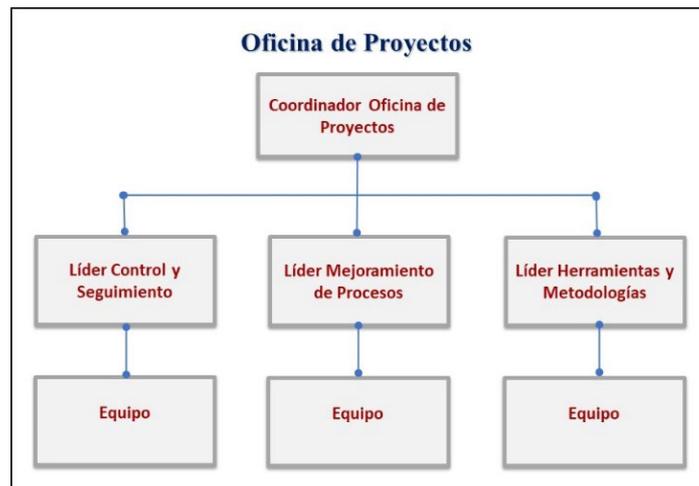
Con base al modelo de madurez establecido para la gestión de los proyectos de la Gerencia de AIT, se llevarán a cabo permanentes procesos de cambios con miras a contribuir a mejorar las debilidades y afianzar las fortalezas; que conlleva evaluaciones, de manera de validar los avances en la implantación de dicho modelo y tomar las acciones correspondientes en el caso de existir desviaciones. También considera, la formación de personal, gestión del conocimiento y del cambio.

- **Herramientas y metodologías**

Referida al desarrollo de herramientas y metodologías, basadas en las mejores prácticas de gestión de proyectos para la organización; fundamentadas y coordinadas con los dos (2) procesos anteriores. Adicionalmente, comprende la implantación y administración de los mismos.

Propuesta de estructura para la oficina de proyectos

El éxito de la Oficina de Proyectos dependerá en gran medida del nivel de los productos y servicios que ofrezca a los proyectos; debe funcionar como un catalizador, estableciendo lazos internos y transformando las informaciones dispersas en conocimientos organizacional. En este sentido, debe poseer una estructura organizativa que favorezca su gestión, de manera que los procesos se lleven a cabo de manera más sencilla. En la Figura 7 se puede apreciar la estructura propuesta.

Figura 7*Estructura organizativa Oficina de Proyectos*

Con referencia a lo anterior, se describen de manera general responsabilidades de los miembros de la oficina de proyectos:

• **Coordinador Oficina de Proyectos**

Se encarga de planificar, administrar y controlar la gestión del departamento, para lo cual debe:

1. Establecer lineamientos y guías de acción sobre el proceso de planificación y control de los macro proyectos y proyectos, con el fin de proveer metodologías, estándares y herramientas para el logro de los objetivos del trabajo.
2. Dirigir y controlar las actividades de planificación de proyectos.
3. Coordinar las actividades de los controladores de proyectos, con el fin de asegurar la eficiente gestión de los mismos.
4. Informar al equipo regional de proyectos y al departamento de Planificación, Administración y Control de AIT Oriente, sobre la ejecución física y financiera de los macro proyectos de manera oportuna, con el fin de proveer información confiable y oportuna que sirva de base para la toma de decisiones.
5. Monitorear los parámetros de control físico y financieros de los proyectos, con el fin de identificar factores de riesgo y alertar a los líderes de macro proyectos sobre posibles desviaciones.
6. Administrar canales de comunicación interna y externa del departamento, a fin de garantizar la oportunidad y calidad de la información de los proyectos.
7. Planificar, dirigir y controlar los recursos (humanos, materiales y financieros) a su cargo, con el objeto de optimizar su administración y funcionamiento.

• **Líder Control y Seguimiento**

Se encarga de planificar, administrar y controlar la gestión del departamento; realizando las siguientes funciones:

1. Establecer lineamientos y guías de acción sobre sus procesos, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de sus objetivos.
2. Planificar, coordinar y controlar las actividades, de manera de asegurar la ejecución en tiempo, costo y calidad los planes establecidos en esa sección.

3. Informar al coordinador de la oficina de proyectos el avance de las tareas y logros alcanzados, para su respectivo control y toma de decisiones con respecto de las actividades que desempeña el equipo.
4. Participación activa en el desarrollo y acciones de los equipos de los proyectos, a través de un proceso de acompañamiento en las actividades de mejoramiento de los procesos.
5. Administrar los recursos humanos, materiales y financieros bajo su responsabilidad.

• **Líder de Mejoramiento de Procesos**

Responsable de planificar, dirigir y controlar la mejora a los procesos de la gestión de los proyectos, basados en el modelo de madurez establecido; llevando a cabo las funciones de:

1. Planificar las actividades de identificación, desarrollo e implantación de mejoras a los procesos, con el fin de establecer guías de acción y controles que orienten el logro de los objetivos.
2. Dirigir y controlar la implantación de mejoras, con la finalidad de garantizar el cumplimiento del plan en términos de costo, tiempo y calidad.
3. Identificar, evaluar, seleccionar, desarrollar e implantar políticas, lineamientos, procedimientos y herramientas estándar, con el fin de asegurar la mejora continua en la ejecución de proyectos.
4. Recomendar acciones y/o lineamientos en el área, con el fin de apoyar la gestión de los líderes de macro proyectos y proyectos.

• **Líder de Herramientas y Metodologías**

Se encarga de desarrollar, implantar y administrar herramientas y metodologías que permiten la gestión oportuna de los proyectos, con la finalidad de apoyar en el proceso de control, integración y centralización de la información física y financiera. Lo que permite cumplir con los estándares, procesos y lineamientos definidos por la Oficina de Proyectos. Tiene como funciones:

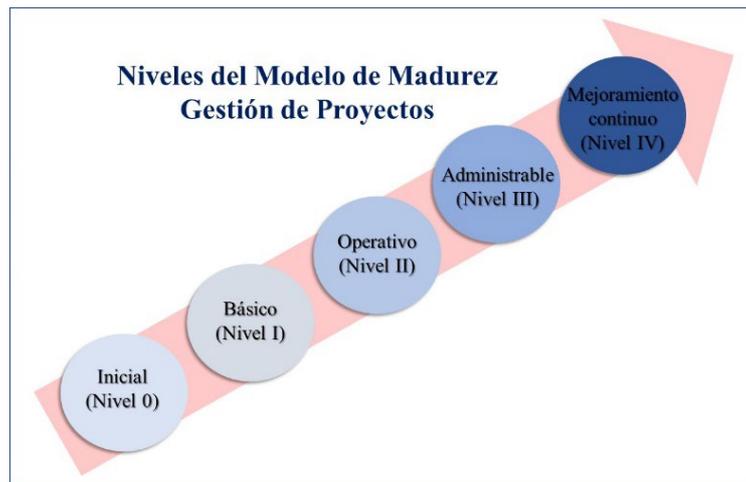
1. Analizar, diseñar e implantar mejoras a las aplicaciones de control y seguimiento de proyectos, en todos sus módulos, a fin de garantizar alineamiento con los procesos corporativos.
2. Coordinar la implementación de las metodologías y estándares definidos por el equipo de mejoramiento de procesos.
3. Coordinar con el equipo de desarrollo de software la construcción de las herramientas y/o mantenimientos a las mismas.
4. Garantizar capacitación a los líderes de proyectos en el manejo de las herramientas y metodologías, con la finalidad de asegurar el uso correcto de las mismas.
5. Canalizar los requerimientos de los usuarios de las herramientas y metodologías, brindando soporte especializado e identificando áreas de mejoras.
6. Garantizar la documentación de los procedimientos para el manejo efectivo de las herramientas, proporcionando una guía para el uso óptimo de las mismas.

Modelo de Madurez Propuesto

El modelo de madurez definido para la gestión de los proyectos de la Gerencia de AIT Región Oriente Sur, está compuesto por cinco (5) niveles, como se puede observar en la Figura 8, desde el más bajo (nivel 0) hasta lograr el objetivo deseado (nivel 4) referido al mejoramiento continuo. Cada uno de estos, refleja en qué estado se encuentra la gerencia con relación a la gestión de los proyectos.

Figura 8

Niveles del Modelo de Madurez Propuesto para la Gestión de los Proyectos



Cada etapa refleja un estado de madurez que se manifiesta mediante un conjunto de características (ver Tabla 2), que definen en que escala se encuentra la organización, lo cual es visible a través de un proceso de evaluación y retroalimentación a medida que se avance en su implementación.

Tabla 2

Características de los niveles de madurez del modelo propuesto

NIVEL	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
0	Inicial	No hay procesos ni metodologías estándares definidas
		No se usan o se utilizan muy poco los procesos de la Gestión de Proyectos
I	Básico	Procesos fundamentales definidos e implantados
		Procesos adicionales en proceso de implantación o se usan poco
		Disciplina para repetir el éxito en proyectos similares
		Herramientas implantadas para el seguimiento y control
		Roles y Responsabilidades definidos
		Plan de carrera diseñado
		Establecimiento de un esquema de comunicación estándar
II	Operativo	Procesos estándares definidos, documentados e integrados
		Establecimiento de metodologías únicas

NIVEL	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
		Uso del esquema de comunicación estándar
		Administración de los riesgos
		Aseguramiento de Calidad
		Procesos utilizados por la mayoría del personal de proyectos
		Proceso de formación basado en el plan de carreras
		Gestión particular para las acciones correctivas
III	Administrable	Procesos estandarizados y configurados a todos los proyectos
		Base de datos histórica estructura con información de los proyectos, lecciones aprendidas y métricas disponible para toda la organización
		Evaluación de los procesos
		Herramientas para la gestión de proyectos integrados con los sistemas corporativos
		Identificación, definición y documentación de los factores críticos de éxito conocidos por todos
IV	Mejoramiento continuo	Realización permanente de evaluaciones y mejoras en la gestión de los proyectos
		Revisión y actualización del plan de carrera del personal
		Perfeccionamiento del instrumento de medición de la madurez
		Evaluaciones e implementación de mejoras a las herramientas

Cabe agregar, que puede existir solapamiento entre los niveles, dado que la organización puede comenzar a desarrollar características de las próximas etapas, antes de lograr la total madurez en el nivel donde se encuentra. Esta situación, es completamente normal y lo importante es identificar y gestionarla de manera adecuada.

Constructo Teórico para la Gestión de Proyectos TI

El constructo teórico propuesto para la gestión de los proyectos, se encuentra estructurado en eventos, actividades y resultados. A continuación, se describe cada uno de ellos:

Eventos

• **Leyes, normativas, regulaciones y permisos**

Como empresa perteneciente al Estado Venezolano, PDVSA debe regirse por las leyes, normativas y regulaciones establecidas por el gobierno para el desarrollo de los proyectos y la adquisición de bienes y servicios; y la Gerencia de AIT como parte de la misma, también debe acatar este marco legal.

- ***Lineamientos y presupuestos aprobados***

La Gerencia de Planificación de AIT Corporativa establece los lineamientos de índole administrativos y financieros para los macro proyectos. Así también, con base al presupuesto solicitado por las regiones, hace la redistribución de los recursos asignados, de acuerdo a lo aprobado a la gerencia a nivel nacional. Significa entonces que decide cuánto dinero le corresponde a cada área tomando en consideración las prioridades del negocio, avances en la implementación y las estrategias de ejecución.

- ***Lineamientos tecnológicos***

Las líneas de servicio proveen los lineamientos tecnológicos para asegurar que las soluciones que se generen de los proyectos cumplan con la orientación estratégica de AIT y con las políticas, prácticas y estándares establecidos para tal fin.

- ***Retroalimentación, lineamientos y estrategias***

La Gerencia de AIT oriente, a través del departamento de Planificación, Administración y Control, hace seguimiento continuo del avance físico y financiero de los macro proyectos; en este propósito, da retroalimentación de la gestión, emite lineamientos y formula propuestas y estrategias de los mismos a la gerencia regional de proyectos.

- ***Cartera de proyectos y lineamientos***

El equipo de planificación de AIT oriente tiene la responsabilidad de la generación de la cartera de proyectos, tanto de gastos como inversiones de esta región; la cual debe realizar conjuntamente con la gerencia regional de proyectos y los departamentos funcionales, con base en las pautas establecidas por AIT corporativo y las líneas de servicios. Una vez completada y aprobada, por parte del Gerente AIT oriente, será sometida a planificación corporativo para su aprobación definitiva. Una vez recibida la respuesta, se informa a los equipos y a la oficina de proyectos para dar inicio a la iniciación y planificación de los macro proyectos.

- ***Bienes y Servicios***

El departamento de procura y contratación, previa solicitud de los líderes de los macro proyectos y proyectos, debe garantizar la provisión de los materiales, bienes, equipos y contratos de servicios e ingenierías requeridos para la construcción de la solución tecnológica.

- ***Requerimientos y solicitudes de adecuación de la plataforma***

Los diferentes departamentos funcionales de la gerencia de AIT (mantenimiento de la plataforma, soporte técnico básico, soporte especializado y control de activos) de las diferentes localidades envían a la gerencia regional de proyectos nuevas necesidades y solicitudes de adecuaciones requeridas en la plataforma, que son producto del día a día de sus operaciones y del contacto directo que tienen con los usuarios.

- ***Requerimientos y Cambios de Alcance***

Los usuarios generan los requerimientos tecnológicos específicos, que demanda soluciones en este orden; los cuales serán canalizados a través de la cartera de proyectos. Así también, durante el desarrollo de los macro proyectos, pueden solicitar cambios y/o ajustes sobre su alcance, dichas solicitudes deberán ser validadas y aprobadas por la gerencia regional de proyectos.

Actividades

Para el desarrollo de los proyectos se pueden utilizar dos tipos de metodologías dependiendo de las características intrínsecas de los mismos, lo que va a determinar distintas formas de gestión.

- **Waterfall (cascada)**

PDVSA cuenta con una Guía de Gerencia de Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC) para los proyectos mayores y la Guía de Proyectos Menores (GPM), el cual contienen las mismas fases con diferentes alcances en sus actividades, donde se establecen guías, reglas y prácticas que permiten navegar ordenadamente a través de todo el ciclo de vida de los proyectos. En este sentido, la Gerencia de AIT ejecuta sus proyectos basándose en la misma, no obstante, dadas las características particulares como organización de tecnología debe realizar adaptaciones a los procesos allí manejados, de tal manera que se aproxime con mayor eficiencia y eficacia a sus requerimientos. A continuación, se describen brevemente las actividades que se desempeñan:

1. Visualizar. En la visualización se identifican los objetivos y propósitos del proyecto, se verifica su alineación con las estrategias corporativas y su desarrollo preliminar, a través de la elaboración del alcance, el estimado de costos clase V y la evaluación de la factibilidad.
2. Conceptualizar. En esta fase se elaboran, evalúan y seleccionan las mejores opciones; estableciendo costos, tiempos de ejecución y conformando la organización para las fases siguientes.
3. Definir. En la definición se realizan detalladamente el alcance y costos del proyecto, los riesgos y el plan estratégico de ejecución de la opción seleccionada. Para esto se desarrolla el paquete de definición (análisis de riesgo, diseño básico, estimado de costos clase II, evaluación del grado de definición, guías para el control y plan de aseguramiento tecnológico), se establece el plan de contratación y se prepara la documentación requerida para la aprobación.
4. Implantar. Corresponde a las actividades de ingeniería de detalle, procura de materiales, contratación, construcción y pruebas de la solución; de acuerdo al plan estratégico de ejecución, contratación y gestión del proyecto.
5. Operar. Concerniente a la preparación, pruebas de arranque, operación inicial y entrega de la solución, pruebas de garantía, elaboración de los informes finales y cierre del proyecto.

Es importante resaltar que, en cada fase antes mencionada, existe un denominado punto de decisión clave, donde un autorizador y el equipo de proyecto tomarán la decisión de pasar o no a la próxima fase. Los elementos de juicio que soportan la disposición están contenidos en un documento denominado Documentos de Soporte de Decisiones (DSD), los cuales consisten en una recopilación de la información más importante desarrollada en cada etapa. Antes de pasar a la implantación, se deberá evaluar el grado de definición del proyecto.

- **Ágiles**

Se utiliza un enfoque iterativo y basado en equipos para el desarrollo, enfatizando la entrega rápida de una solución en componentes funcionales completos. A este respecto, se han adoptado las siguientes metodologías:

1. Scrum. Caracteriza por planificar las tareas de un proyecto complejo en distintas fases (sprints), intervalos establecidos para generar un producto entregable, obteniendo resultados relativamente pronto, ajustados al costo y plazos. Contempla las siguientes etapas: gestión del backlog, planificación de sprint, sprint (etapa de desarrollo), revisión del sprint, retroalimentación.
2. Kanban. Consiste en la planificación y el control de las tareas que requiere el proyecto y ver el estado en el que se encuentra (Working in progress WIP). Bajo

tres estados, normalmente “por hacer”, “haciendo” y “hecho”, se van mostrando en tarjetas de colores y visuales las tareas exponiendo así el flujo de trabajo.

Resultados

La Gerencia de Proyectos genera una serie de salidas durante todo el ciclo de vida de los macro proyectos que son entradas o insumos a otros procesos de la organización, y representan información relacionada con su gestión y desarrollo. A continuación, se señalan:

• Soluciones Tecnológicas

Son la principal salida y el producto resultante del desarrollo del proyecto; que corresponde a una solución tecnológica de automatización, informática y/o telecomunicaciones. Comprende todos los productos, así como, la documentación requerida para implantar y operar. Incluye el material de soporte al usuario final, ingeniería básica y de detalle y/o arquitectura de la solución, manuales técnicos y requerimientos de seguridad lógica y protección física. La misma es entregada para su mantenimiento y/o soporte a los equipos de mantenimiento de la plataforma, soporte básico, soporte especializado y/o control de activos de la Gerencia de AIT de las localidades según corresponde el caso y al usuario final para su utilización.

• Documentación, lecciones aprendidas y métricas

A medida que se va ejecutando el proyecto se deben ir generando documentación técnica – administrativo, conocimientos derivados de las experiencias que está suficientemente fundamentado y puede generalizarse para ofrecer posibilidades de mejorar la acción; además de, mediciones realizadas a las actividades. Esta información es de importancia significativa para el desarrollo de los actuales y futuros proyectos, ya que servirá de base de datos histórica que soportará la toma de decisiones y la definición de estrategias.

• Información de gestión de los proyectos

El equipo que conforman los macro proyectos deberá enviar información físico-financiera, uso de mejoras prácticas, cumplimiento de procedimientos, como cualquier otra información de su gestión a la Oficina de Proyectos; para su análisis, revisión y generación de los informes.

• Cartera de iniciativas, anteproyecto y visualizaciones

La Gerencia Regional de Proyectos es responsable de la generación de la cartera de iniciativas, el anteproyecto anual y las visualizaciones, partiendo de la información recibida de los departamentos funcionales, los usuarios y los proyectos de levantamiento de nuevas necesidades que llevan a cabo; las cuales deben enviar al equipo de planificación oriente para su consolidación, análisis, revisión y solicitud de aprobación.

De la misma manera, la Oficina de proyectos debe generar salidas que son producto de los procesos ejecuta en la gestión de los macro proyectos. Seguidamente, se especifican:

• Informes de Gestión

Con base en la información de la gestión de los proyectos, la oficina llevará a cabo el análisis, procesamiento, proyección de los datos y genera los informes de avances correspondientes. Además, de reportar las otras actividades que están bajo su responsabilidad, como son el mejoramiento de procesos y la implementación y/o administración de las herramientas y metodologías. Los reportes serán remitidos a planificación oriente, a la gerencia regional de proyectos y los líderes de macro proyectos y proyectos que los conforman.

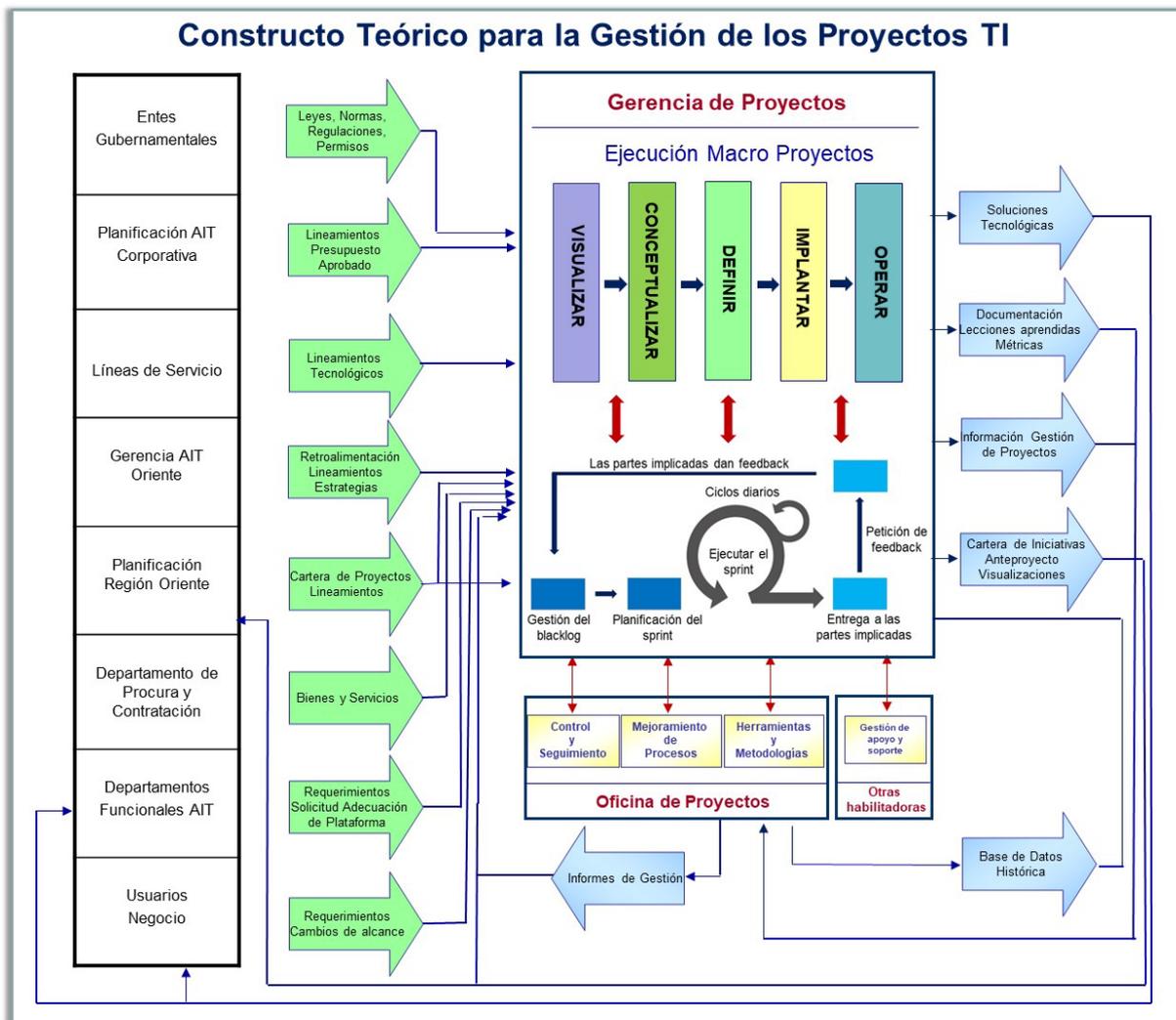
• **Base de datos histórica**

Con la información relevante de la ejecución de los proyectos la oficina genera una base de datos histórica, la cual estará disponible para el uso de toda la organización.

En la Figura 9, se puede observar un esquema gráfico sobre el funcionamiento general del proceso con sus respectivos eventos, actividades y resultados:

Figura 9

Constructo Teórico Propuesto para la Gestión de los Proyectos TI



Validación de la propuesta

Una vez desarrollado el constructo teórico para la gestión de proyectos de tecnología de información, fue necesario realizar la validación del mismo, con la finalidad de determinar su confiabilidad y validez con respecto al caso en estudio, de manera de establecer si los resultados se encontraban dentro de los valores esperados; y en el caso que sea requerido, hacer ajustes para la corrección de cualquier posible falla, antes de su presentación e implementación.

En el Tabla 3, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la validación realizada tres (3) asesores en materia de proyectos de la organización, quienes tienen aproximadamente 20 años de experiencia y amplios conocimientos teóricos en esta disciplina:

Tabla 3

Resultados de la evaluación del constructo teórico de gestión de proyectos propuesto

NIVEL	Cumple	No cumple
La investigación está basada en estándares de gestión de proyectos	Si	
La caracterización de la gestión de los proyectos es adecuada	Si	
El instrumento de medición de la madurez organizacional considera todos los elementos requeridos para determinar el nivel	Si	
Los resultados obtenidos en el diagnóstico de la madurez corresponden con la realidad actual de la gestión de los proyectos	Si	
Se incluyeron todos los elementos requeridos de la gestión de proyectos para la generación de la propuesta	Si	
Las premisas formuladas para el desarrollo de la propuesta son suficientes para garantizar el éxito en la implantación del modelo	Si	
La estructura organizativa de la Oficina de Proyectos está fundamenta en aspectos teóricos y cumple con los requerimientos para soportar la gestión efectiva y eficiente de los proyectos; así como, la implementación del modelo de madurez	Si	
El modelo de madurez propuesto cumple con los requerimientos para lograr el fortalecimiento de la cultura en gestión de proyectos	Si	
El modelo de madurez considera el desarrollo de la gestión de proyectos por niveles, que se ejecutan de manera ordenada, referenciada, evaluable y controlable	Si	
Se estableció un esquema para la determinación del nivel de madurez con base al propuesto	Si	
El constructo teórico propuesto se caracteriza principalmente por su sencillez, facilidad de aplicación y adaptación	Si	
En el diseño del diagrama macro interfuncional se establecieron las relaciones de los involucrados en la gestión de los proyectos	Si	
El diseño del diagrama macro interfuncional es de fácil comprensión	Si	

Por las consideraciones anteriores, se observa que el constructo teórico propuesto cumple en un 100 % con todos los aspectos evaluados, se infiere que tiene validez, ya que todos los elementos que lo conforman están en concordancia con las necesidades reales de la organización y está diseñado de tal manera que le permitirá a la Gerencia de AIT la construcción de una cultura en la gestión de los proyectos. Se partirá de un estado actual hasta llegar al deseado, de manera progresiva, planificada, organizada y evaluable, con la capacidad de ser adaptado a los cambios que surgen permanente en este sentido.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos y a los objetivos planteados en la presente investigación sobre la gestión de los proyectos de la Gerencia de AIT oriente, se concluye lo siguiente:

1. Las principales características del diseño son la sencillez, flexibilidad, facilidad de aplicación, consideración de los estándares internacionales e inclusión de elementos básicos de gestión del conocimiento.

2. La propuesta establece herramientas que no solo valoran donde está la gerencia en un momento determinado, sino que permiten el desarrollo de estrategias para identificar, implantar y optimizar las capacidades críticas para la gestión de los proyectos; logrando construir gradualmente una cultura en este sentido.
3. La flexibilidad del constructo teórico permite realizar ajustes acordes al avance en su implementación y emplear diferentes técnicas y herramientas de acuerdo a las necesidades reales de la organización.
4. La propuesta motoriza el cambio hacia una forma estándar en la gestión de los proyectos, con una implementación de los aspectos más simples a lo más complejos, soportado a través de una estructura organizacional, que incluye la conformación de una oficina de proyectos.
5. El constructo teórico propuesto permite fortalecer los procesos y los instrumentos de la gestión de los proyectos en la Gerencia de AIT Región Oriente Sur, a través una evolución gradual y controlada, permitiendo obtener resultados tempranos.
6. La propuesta desarrollada proporciona todos los elementos necesarios para garantizar la gestión efectiva y eficiente de la gestión de los proyectos, el cual debe ir acompañado de la estructura organizativa y modelo de madurez planteados.
7. La implantación del constructo teórico se soporta en una gestión de cambio que abarca a todos los miembros de la organización, trabajen o no con proyectos.

Referencias

- Arias, F. (2016). *El Proyecto de Investigación*. (7ma.Ed). Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Briones G. (2003). *Métodos y Técnicas de Investigación para las Ciencias Sociales*. (4ª ed). México: Trillas
- Cleland, D. y Ireland, L. (2001). *Manual Portátil del Administrador de Proyectos*. Naucalpan de Juaréz: Pearson Educación de México.
- Francés, A. (2006). *Estrategias y Planes para la Empresa con el Cuadro de Mando Integral*. Naucalpan de Juaréz: Pearson Educación de México.
- Martínez, M. (2002). *Ideas para el Cambio y el Aprendizaje Organizacional*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- González, F., Rodríguez I. y Sbragia R. (2002). Oficina de Proyectos: teoría y práctica [Documento en línea]. Disponible en <http://www.revistaespacios.com/a02v23n02/02230251.html> [Consulta: 2021, Marzo 11].
- Guarneros, J. (2010). *Enfoque basado en procesos para la gestión empresarial* [Documento en línea]. Disponible en <http://www.suite101.net/content/enfoque-basado-en-procesos-para-la-gestion-empresarial-a19776> [Consulta: 2021, Marzo 14].
- Guzmán, A. (2007). Modelo para la planificación y control de proyectos en el área de telecomunicaciones en PDVSA Occidente [Resumen en línea]. Trabajo de grado de maestría no publicado, Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Disponible en: <http://www.urbe.edu/portal-biblioteca/> [Consulta: 2011, Marzo 03].
- ISO (2004). *Orientación sobre el concepto y uso del Enfoque basado en Procesos para los sistemas de gestión*. ISO/TC 176/SC 2/N 544R2.
- Kerzner, H. (2000). *Project Management*. New York: Wiley&Sons, Inc., Hoboken.
- Khawam, P. (2006). *Grado de madurez organizacional en gerencia de proyectos en la unidad objeto de estudio de CVG Venalum*. [Tesis en línea]. Trabajo de grado de especialización, Universidad Católica Andrés Bello. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ9473.pdf> [Consulta: 2021, Marzo 15].
- Llorens, J. (2006). *Gerencia de Proyectos de Tecnología de Información*. Caracas: Editorial CEC, SA.

- Lizardo, C. (2006). Diseño de una oficina de gestión de proyectos: caso de una empresa perteneciente a la industria de bebidas alcohólicas y espirituosas [Tesis en línea]. Trabajo de grado de especialización, Universidad Católica Andrés Bello. Disponible en: http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ798_3.pdf [Consulta: 2021, Marzo 15].
- Méndez, C. (2006). *Metodología: Diseño y desarrollo del proceso de investigación*. Bogotá: Mc Graw-Hill.
- Mosley D., Megginson L. y Pietro P. (2005). *Supervisión: la práctica del empowerment, desarrollo de equipos de trabajo y su motivación*. Distrito Federal México: Thomson Editores.
- Palacios, L. (2000). *Principios Esenciales para realizar Proyectos*. Caracas: Publicaciones UCAB.
- Project Management Institute (2021). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK)*. Pennsylvania: Autor.
- Project Management Institute (2003). *Organizacional Project Management Maturity Model (OPM3)*. Pennsylvania: Autor.
- Sabino, C. (2000). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.
- Schwaber K y Sutherland J (2020). *La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego*. Disponible en: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf> [Consulta: 2021, octubre 20].
- Triola, M. (2000). *Estadística Elemental*. Naucalpan de Juárez: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
- UPEL (2006). *Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL

Evaluación de sitios turísticos mediante análisis de sentimientos de comentarios emitidos por usuarios en redes sociales

Evaluation of tourist sites through sentiment analysis of comments issued by users on social networks

Nelson Herrera Herrera^{1, 2} <https://orcid.org/0000-0002-5781-6444>,
Nelson Salgado Reyes^{1, 3} <https://orcid.org/0000-0001-8908-7613>

¹*Instituto Superior Tecnológico Japón, Quito, Ecuador*
nherrera@itsjapon.edu.ec, nsalgado@itsjapon.edu.ec

²*Universidad UTE, Quito, Ecuador*
nelson.herrera@ute.edu.ec

³*Pontificia Universidad Católica, Quito, Ecuador*
nesalgado@puce.edu.ec

Enviado: 2022/02/28

Aceptado: 2022/05/09

Publicado: 2022/06/30

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo presentar la utilidad del análisis de sentimientos en los comentarios emitidos por usuarios de servicios turísticos en redes sociales (Twitter y Trip Advisor), que permita calificar el nivel de dichos servicios. La ciudad de Quito-Ecuador es considerada como caso de estudio para este trabajo. La investigación se muestra en función del desarrollo de un sistema informático utilizando herramientas Big Data (Python, Node.js, Mongo DB), que permiten recolectar, almacenar y procesar gran cantidad de información. Las librerías del lenguaje de programación Node.js: Puppeteer y Sentiment, permiten obtener los comentarios de las redes sociales Twitter y Trip Advisor, y determinar un puntaje sobre el destino turístico evaluado. Entre los aspectos novedosos de la investigación está el uso de la red social Twitter como fuente de origen de datos, también la utilización de técnicas de web scraping del sitio de Trip Advisor. Para este estudio se emplea la interfaz de programación de aplicaciones de Twitter (Application Programming Interface, API), la cual permite tomar datos de esta red social en tiempo real que facilita evaluar los servicios turísticos ofertados. Como resultado se puede determinar que la herramienta permite generar conocimiento que ayuda a

Sumario: Introducción, Trabajos Relacionados, Materiales y Métodos, Metodología, Selección de las herramientas, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Herrera, N. & Salgado, N. (2022). Evaluación de sitios turísticos mediante análisis de sentimientos de comentarios emitidos por usuarios en redes sociales. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 125-139. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/921>

tomar decisiones, relacionadas con el nivel de calidad de las prestaciones recibidas en los sitios visitados.

Palabras clave: Big Data, redes sociales, turismo, análisis de sentimientos.

Abstract

This research aims to present the usefulness of sentiment analysis in the comments issued by users of tourism services on social networks (Twitter and Trip Advisor), which allows rating the level of such services. This case study is set in the city of Quito-Ecuador. The research develops a computer system using Big Data tools (Python, Node.js, Mongo DB) to collect, store, and process large amounts of information. The Node.js programming language libraries, Puppeteer and Sentiment, make it possible to obtain comments from the social networks Twitter and Trip Advisor and determine a score for the observed tourist destination. Among the novel aspects of this research is the use of the social network Twitter as a source of data origin and web scraping techniques from the Trip Advisor site. This study uses the Twitter Application Programming Interface (API) to obtain data from this social network in real-time, facilitating the evaluation of the tourist services. Results determine that this tool allows the generation of knowledge to decide the quality level of the services received in the visited sites.

Keywords: Social Networks, Tourism, Sentiment Analysis, Big Data.

Introducción

En la economía de cualquier país del mundo, el turismo constituye un factor importante que origina múltiples oportunidades de empleo y permite mejorar el nivel de vida de los habitantes. Ecuador consiente de esta realidad desarrolla un plan estratégico institucional, que establece lineamientos que ubica al turismo entre las primeras fuentes de ingreso del país (Ministerio de Turismo del Ecuador, 2019).

Mejorar la calidad de los servicios turísticos depende, entre otros aspectos, del criterio de los usuarios. Sin embargo, este criterio muchas veces se lo recibe en función de encuestas, entrevistas informales y otros mecanismos, que no ofrecen información útil para poder tomar decisiones en tiempo real. Esto constituye un problema a la hora de determinar acciones de rediseño y mejora de los servicios ofertados por los destinos turísticos.

Existen algunas páginas web o redes sociales que recomiendan destinos turísticos. Se basan en una calificación de los usuarios, pero no en una evaluación basada totalmente en el comentario de los consumidores de un servicio, sino al análisis de sentimientos en los comentarios emitidos por los mismos a través de las redes sociales. Al no usar el gran volumen de comentarios generados por varios usuarios, se pierde información muy valiosa que puede ayudar a tomar las mejores decisiones o conocer si un destino turístico puede mejorar en algún área específica para atraer turistas.

En función a la problemática planteada se requiere un sistema que permita: recolectar, almacenar, procesar y visualizar información semi estructurada y no estructurada en tiempo real; que facilite analizar la calidad de los servicios turísticos. El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un sistema para la evaluación de destinos turísticos, mediante el análisis de sentimientos en los comentarios emitidos por usuarios de servicios turísticos, provenientes de redes sociales. Las fuentes de datos que la aplicación utiliza son las redes sociales: Twitter y Trip Advisor. El análisis de sentimientos permite obtener un puntaje donde se determina la calidad de dichos servicios.

Twitter dispone de una Application Programming Interface (API) abierta que permite a los desarrolladores integrar esta red social como un servicio en sus aplicaciones web, de escritorio o móviles. Esta compañía se caracteriza por mantener poca o casi ninguna protección del contenido publicado por los usuarios en su red social, lo cual es una ventaja para el desarrollador, pero ha ocasionado inconvenientes para sus usuarios con referencia al tema de seguridad de datos (Rik & Tim de Boer, 2011).

Por otra parte, Trip Advisor es una herramienta utilizada mundialmente y desde 2018, se considera una red social ya que se puede seguir a otros usuarios y compartir opiniones sobre sitios turísticos que se encuentran alrededor del mundo. En Ecuador Trip Advisor ofrece una gama amplia de noticias vinculadas con la cultura, gastronomía, hotelería y turismo de las diferentes ciudades, centrandolo en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca y Manabí. En la actualidad, esta red social es el sitio más reconocido, utilizado y confiable para los viajeros que buscaban diferentes opiniones sobre destinos, hoteles, atracciones turísticas, entre otras. Estadísticas manifiestan que la página recibe alrededor de 280 millones de visitas mensuales al igual que millones de comentarios y calificaciones de diferentes atracciones turísticas (Escribano, 2017).

El artículo realiza una presentación técnica del sistema y sus componentes; sin embargo, la investigación efectuada incluye que todos los elementos deben ser considerados. De acuerdo a lo mencionado se realiza la fundamentación teórica que se basa en el estudio, aplicación de técnicas y estrategias utilizadas en el análisis de sentimientos.

El presente trabajo tiene el contexto de una investigación Big Data (Zicopoulos et al., 2011), debido a que los elementos tecnológicos se conjugan perfectamente:

Volumen: gran cantidad de datos son generados mediante la red social Twitter y la proporcionada por el sitio Trip Advisor.

Variedad: datos generados por la red social Twitter y el sitio Trip Advisor.

Velocidad: a diario se generan datos mediante la red social Twitter a una considerable velocidad, lo cual requiere que el procesamiento y análisis posterior se lo realice en tiempo real, que permite tomar decisiones adecuadas (Aguilar, 2013).

Veracidad: la información de la red social Twitter, debe ser filtrada para elegir, información útil para la investigación.

Trabajos Relacionados

En el ámbito mundial se han realizado varias investigaciones relacionadas con la utilización de herramientas tecnológicas en el sector turístico.

- Acceso a una descripción del perfil del turista, mediante el análisis de miles de datos generados a cada instante, el visitante deja su huella digital, lo cual permite conocer sus preferencias y gustos que ayudan a los sitios turísticos a ofertar productos y servicios personalizados logrando fidelizar y atraer nuevos clientes (Tello, 2019).
- Sistema para tomar decisiones, para cualquier tipo de organización, incluido el sector hotelero. Contar con información de comportamientos del consumidor, información de reservas, formas de pago entre otras características. Genera conocimiento que al momento de tomar decisiones podría representar una

herramienta de gran valor es, en el caso puntual, de los servicios de hospedaje (Padilla, 2019).

- Sistema para análisis de mercado mediante el uso de Redes Sociales. Para realizar estudios de mercado las empresas deben buscar alternativas para extraer información y posterior análisis de datos, que permita a las organizaciones conseguir una ventaja competitiva. El trabajo concluye que las 4 plataformas que mayor beneficio ofrecen para esta investigación son: Google Trends, Facebook, YouTube y Twitter (Fajardo et al., 2021).
- Turismo y Big Data. Analizar perfiles, etiquetas y ubicaciones, así como metadatos que ofrece la plataforma Instagram para realizar estudios relacionados con el sector turístico. También se plantea un análisis automatizado de las imágenes exportable a grandes conjuntos de datos que suministrarán información necesaria para conseguir un cuadro de mando integral propicio y útil en la toma de decisiones en el sector turístico (Martínez & Piñeiro, 2020).
- Plataforma para el Análisis de Mercado a través de datos de Redes Sociales. Este estudio muestra el beneficio de la utilización de redes sociales al momento de realizar estudios de mercado (Fajardo et al., 2021).

En este ámbito otra de las redes sociales potentes que admiten el análisis de datos en tiempo real, de los mensajes expuestos y poder realizar acciones de mejora a los servicios turísticos, es la red social Twitter. Un insumo adicional importante al momento de obtener comentarios de los servicios ofertados es el sitio Trip Advisor, que concentra opiniones de quienes reciben los servicios de hoteles, restaurantes y operadores turísticos. La utilización de estas dos fuentes de datos permite tener dos criterios previos que, finalmente mediante contraste, ayuda a la generación de información y conocimiento frente a la creación o rediseño de los servicios ofertados.

Materiales y Métodos

Herramientas utilizadas

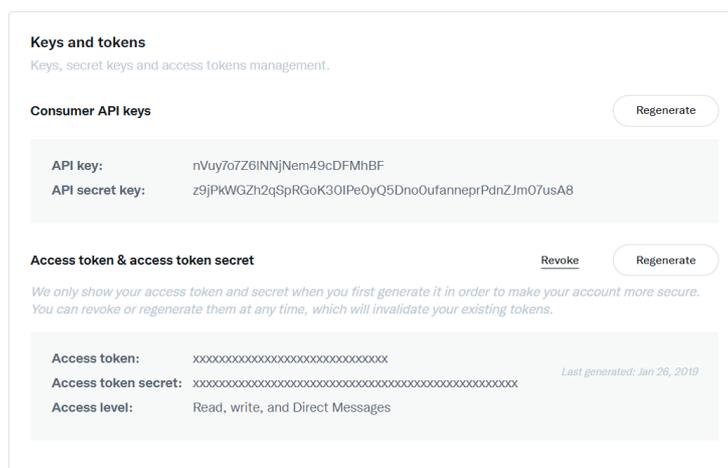
Para evaluar la oferta de los servicios de lugares turísticos, se considera la red social Twitter por su utilidad y relevancia. Por otra parte, se incluye al sitio web Trip Advisor debido a ser considerada una red social exclusiva para obtener información de lugares turísticos, que resulta valiosa al momento de realizar, análisis de sentimientos con los comentarios emitidos por los usuarios.

Datos de Twitter

La primera fuente de datos empleada para el estudio es Twitter, estos datos sirven para el análisis de la información rescatada de los usuarios de esta red social, para ello, se requiere tener una cuenta en dicha red; además debe estar activo el servicio de GPS en el dispositivo. Esta red social guarda comentarios de los clientes de los diversos sitios turísticos que están registrados, lo que permite tomar esta información para su posterior análisis para el efecto se usa la API de Twitter.

Para poder utilizar la API de Twitter se debe tener una cuenta de desarrollador en esta red social, que permite obtener un token o llave que se usa para tener acceso a la información pública de Twitter. Cada usuario tiene la decisión de otorgar permisos adicionales a todas las aplicaciones autorizadas a través de las opciones de su cuenta (Twitter, 2022).

Figura 1
Llaves y Tokens utilizados



Nota: Credenciales entregadas por la API de Twitter

Trip Advisor

Es un sitio web creado en 2000, que tiene como función compartir las opiniones y experiencias de profesionales sobre diferentes atracciones turísticas. El servicio inicial es para Estados Unidos. Ahora Trip Advisor se emplea mundialmente y, desde el 2018, se considera una red social que permite seguir a otros usuarios y compartir opiniones sobre sitios turísticos que se encuentran alrededor del mundo (Arias, 2017).

La técnica Web Scraping se utiliza para recolectar datos de sitios web. Dichos datos resultan de gran importancia para determinar patrones que establezcan el comportamiento de los usuarios. En este estudio, dicha herramienta se aplica a la red social Trip Advisor para obtener comentarios de los sitios cuyos servicios van a ser evaluados.

Metodología

La revisión bibliográfica de casos de éxito de la utilización de redes sociales aplicadas al sector turístico, sirvió para analizar y evaluar aplicaciones utilizadas en el ámbito mundial, relacionadas con el análisis de sentimientos en comentarios emitidos por usuarios en redes sociales.

Esto permitió respaldar el fundamento teórico y contenido metodológico de la presente investigación. En la investigación realizada por (Algecira, 2020) se establece la arquitectura base para proyectos de analítica de datos orientados al sector turístico.

Fase de generación

Al momento de considerar el diseño del sistema se tomaron en cuenta varios factores. El primer factor es determinar las redes sociales que se podrían usar, siendo la base para la investigación, debido a que una de las redes más importantes, Facebook, bloquea su acceso a la API para obtener comentarios de cualquier usuario (Krishna, 2018). Los comentarios de Twitter se enfocaron en la cuenta de un solo usuario, lo que quiere decir que, al realizar un análisis de sentimientos se obtuvieron comentarios que no podrían tener algún tipo de sentimiento, es decir neutros, porque se basan en la opinión de un solo usuario que coloca actualizaciones sobre un lugar. En otra instancia, Trip Advisor tiene un conjunto de comentarios basado en la opinión de varios usuarios, lo que implica que la probabilidad de que un comentario sea neutro en el análisis de sentimientos es muy baja.

Una vez determinada las fuentes de datos que fueron utilizadas en el proceso de análisis de sentimientos, se generaron datos que a continuación sirvieron como entrada, para el proceso primordial del sistema. En este contexto las fuentes que generan información son las redes sociales: Twitter y Trip Advisor. Las dos fuentes utilizadas proporcionaron datos de comentarios emitidos por usuarios de las redes sociales mencionadas anteriormente, cabe mencionar que los datos de Twitter son de tipo no estructurado¹ y los del sitio Trip Advisor de tipo semiestructurado².

Fase de Recolección

En este caso se utilizó la API de Twitter para recolectar mensajes de usuarios, en los cuales se pudo evidenciar la opinión de los ciudadanos, relacionados con la conformidad o no de los servicios ofertados en lugares turísticos.

El siguiente componente importante en la investigación fueron los datos generados por la red social Trip Advisor, la misma que registró información de reseñas y comentarios relacionados con el sitio visitado, los comentarios se los obtuvo mediante minería de opiniones. Para ello, se utilizó la librería Puppeteer de Node.js. Esta librería a la vez emplea el navegador Chromium, y mediante Web Scraping permite navegar automáticamente en cualquier página web y acceder al texto de la misma, en este caso, a comentarios mediante etiquetas internas del código HTML de la página.

Fase de Integración

Para agrupar los datos provenientes de las dos fuentes de datos utilizadas en la investigación se utilizó la base de datos NoSql MongoDB, debido que esta base de datos tiene fácil integración con el lenguaje Node.js y existen algunas librerías que la ayudan a tener mayor funcionalidad. Además, considerando que el funcionamiento de la aplicación es en tiempo real se determinó un repositorio que permitió al sistema manejar grandes volúmenes de información de manera eficaz y eficiente, la cantidad de comentarios a ser no pudo ser determinados pues dependen de varios factores y, en muchos casos, depende de que tan popular sería la red social, el número de visitas y los comentarios que las personas podrían publicar por día o por semana.

La Tabla 1 muestra el esquema general los campos en la tabla de la base de datos del sistema.

Como se puede observar la base de datos guardó: el nombre de la red social, el lugar, el comentario más actual, un puntaje positivo, negativo, el número de comentarios positivos y el número de comentarios negativos. Estos datos incluyen cuatro parámetros:

- ✓ Puntaje en función del precio
- ✓ Puntaje en función del servicio
- ✓ Puntaje en función del transporte
- ✓ Puntaje en función del hospedaje

Finalmente, el conjunto de tuits recolectados fue integrado con los datos que se obtuvieron de la red social Trip Advisor, para su posterior análisis, procesamiento y visualización de la información.

¹ Son datos binarios que no tienen estructura interna identificable.

² Se refieren a cualquier información que utilice un esquema de autodescripción: HTML, JSON, XML.

Tabla 1
Parámetros en la base de datos

ID
Nombre de la red social
Nombre del lugar
Comentario más nuevo
Puntaje positivo global
Puntaje negativo global
Número de comentarios positivos total
Número de comentarios negativos
Puntaje positivo en base a un parámetro
Puntaje negativo en base a un parámetro
Número de comentarios positivos en base a un parámetro
Número de comentarios negativos en base a un parámetro

Nota: Campos que permitieron almacenar información de redes sociales

Fase de Análisis

Con la información proveniente de las dos fuentes se realizó el análisis de sentimientos utilizando la librería *Sentiment* que tiene una lista aproximada de 3382 palabras en inglés. Se tradujo cada una de las palabras con Google Translate usando *Puppeteer* y *Node.js*. A esta librería se incluyeron 4 parámetros: precio, servicio, transporte y hospedaje. Con la finalidad de ampliar el diccionario que permita clasificar y analizar los comentarios emitidos, hubo la necesidad de expandir las palabras para lo cual se utilizó el sitio web (*Synonimos*, 2022), posteriormente se eliminaron las palabras repetidas generadas en este proceso.

Los parámetros añadidos en este proceso incluyeron sinónimos como muestra la Figura 2. Que permita extender la búsqueda de comentarios que tengan una de estas palabras y obtener un puntaje más robusto a base del precio, servicio, transporte y hospedaje.

Figura 2
Uso de la Librería Sentiment

```
{
  score: -3,
  comparative: -0.15,
  tokens:
    [ 'el',
      'tweet',
      'que',
      'aparece',
      'abajo',
      'es',
      'falso',
      'el',
      'alcalde',
      '@mauriciorodasec',
      'ha',
      'reiterado',
      'su',
      'total',
      'independencia',
      'frente',
      'al',
      'actual',
      'proceso',
      'electoral' ],
  words: [ 'proceso', 'actual', 'frente', 'total', 'falso', 'abajo' ],
  positive: [ 'actual', 'frente', 'total' ],
  negative: [ 'proceso', 'falso', 'abajo' ] }
```

Nota: Código Node js

Finalmente, al realizar el análisis de sentimientos en las palabras existentes en el comentario, se obtuvo un puntaje. Si el comentario tiene un puntaje mayor a 0 es positivo, si es menor a 0 es negativo y si es igual a 0 es neutro.

Fase de Visualización

Es necesario presentar gráficos que se actualicen en tiempo real. El sistema desarrollado utilizó como herramienta de visualización JavaScript y Chart.js debido a que las dos se pueden integrar y presentar los datos de mejor manera. Además, se utilizó la librería Socket.io que permite actualizar gráficos en tiempo real y poder tomar decisiones de mejoras o creación de nuevos servicios.

Los gráficos elaborados contemplan los siguientes resultados:

1. Porcentajes de comentarios positivos, negativos y neutros de servicios ofertados por lugares turísticos.
2. Resultados estadísticos agrupados por las redes sociales: Twitter y Trip Advisor.
3. Cuadro resumen de porcentajes de los sentimientos obtenidos en los comentarios emitidos por los usuarios.

Selección de las herramientas

Para la elección de las herramientas adecuadas se ha utilizado el método de criterios ponderados. Este método se basa en comparar las herramientas mediante la generación de criterios de ingeniería que son propuestos según los requerimientos del sistema. Se busca comparar todas entre sí para determinar el impacto de cada una frente a otra, de manera que se conoce qué variables tienen mayor impacto y cuáles deben ser analizadas con cuidado en el área de diseño (Kalpakjian & Schmid, 2016).

La etapa de definición de los criterios comenzó por identificar los parámetros que se consideran fundamentales para el desarrollo del sistema, basado en los requerimientos y la experiencia en el uso de diferentes herramientas informáticas. En función a este método se detalla el análisis y selección de herramientas utilizadas en las fases del Big Data.

Recolección de datos

Las herramientas disponibles orientadas a la recolección de datos y que fueron evaluadas: twitterR (R-Studio), Puppeteer (Node.js) y Twython (Python). Estas librerías se consideran en función de la independencia de una API que estas tengan, ya que es necesario extraer una gran cantidad de comentarios sin perder información.

Para la selección de la herramienta se consideró los siguientes criterios basándose en librerías de diferentes lenguajes de programación desde un punto de vista de ingeniería: independencia de una API y extracción completa de comentarios, la Tabla 2 muestra el análisis de las diferentes opciones.

Según las calificaciones obtenidas la mejor herramienta para la recolección de datos fue: Puppeteer. Esto se debe a que la librería permite extraer comentarios navegando a la red social por medio de la programación y el uso del navegador Chromium (Google Developers, 2021). Además, esta librería es totalmente independiente de una API y permite obtener comentarios completos por medio del código HTML de la red social.

Tabla 2*Matriz de Criterios Ponderados: Fase de Recolección de Datos*

	<i>LIBRERÍAS PARA RECOLECTAR COMENTARIOS</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>TWITTER</i>	<i>PUPPETEER</i>	<i>TWYTHON</i>
	<i>CRITERIO</i>				
Relevantes	<i>Independencia de una API</i>	<i>60</i>	<i>40</i>	<i>55</i>	<i>48</i>
Efectivos	<i>Extracción Completa de Comentarios</i>	<i>40</i>	<i>25</i>	<i>37</i>	<i>30</i>
<i>Calificación</i>		<i>100</i>	<i>65</i>	<i>92</i>	<i>78</i>

Nota: Análisis de herramientas para la recolección de datos

Procesamiento de Datos

Las herramientas de procesamiento que fueron analizadas: Sentiment (R-Studio), Sentiment (Node.js) y Vader (Python). Estas herramientas se seleccionaron a base del análisis de sentimientos que se va a realizar de los comentarios que provienen de redes sociales.

Para el procesamiento de datos se plantearon los siguientes criterios, basados en librerías de diferentes lenguajes de programación desde un punto de vista de ingeniería: diccionario extenso de palabras, sistema de evaluación de la librería y documentación disponible.

Tabla 3*Matriz de Criterios Ponderados: Fase de Procesamiento de Datos*

	<i>LIBRERÍAS PARA EL ANÁLISIS DE SENTIMIENTOS</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>SENTIMENT (R-STUDIO)</i>	<i>SENTIMENT (NODE.JS)</i>	<i>VADER (PYTHON)</i>
	<i>CRITERIO</i>				
Relevantes	<i>Diccionario Extenso de Palabras</i>	<i>50</i>	<i>35</i>	<i>40</i>	<i>38</i>
Efectivos	<i>Sistema de Evaluación de la Librería</i>	<i>35</i>	<i>20</i>	<i>32</i>	<i>28</i>
Flexibles	<i>Documentación Disponible</i>	<i>15</i>	<i>8</i>	<i>14</i>	<i>12</i>
<i>Calificación</i>		<i>100</i>	<i>63</i>	<i>86</i>	<i>78</i>

Nota: Análisis de herramientas para el procesamiento de datos

De acuerdo a los resultados obtenidos la mejor herramienta para el procesamiento de datos fue la librería Sentiment del lenguaje de programación Node.js. Su puntaje se debe a que

fue necesario crear un código para expandir el diccionario de la librería (Node Js, 2022). Este código parte del concepto de añadir sinónimos de las palabras que existen por defecto usando el sitio web sinonimos.com.

Análisis y almacenamiento de datos (Si el análisis se aplicó en el estudio, se redacta en tiempo pasado)

Las herramientas que se evaluaron para el análisis de datos: R-Studio, Node.js y Python. Los criterios se tomaron en base a: las librerías disponibles como un criterio relevante, la curva de aprendizaje del lenguaje como un criterio flexible ya que es necesario tener una buena cantidad de librerías para poder crear el sistema de manera eficaz, integración con el lenguaje de programación y finalmente consistencia.

Tabla 4

Matriz de Criterios Ponderados: Fase de Análisis de Datos

	<i>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN (BACK-END)</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>R-STUDIO</i>	<i>NODE.JS</i>	<i>PYTHON</i>
	<i>CRITERIO</i>				
<i>Relevantes</i>	<i>Librerías Disponibles</i>	<i>70</i>	<i>55</i>	<i>68</i>	<i>60</i>
<i>Flexibles</i>	<i>Curva de Aprendizaje</i>	<i>35</i>	<i>30</i>	<i>30</i>	<i>22</i>
	<i>Calificación</i>	<i>100</i>	<i>81</i>	<i>91</i>	<i>82</i>

Nota: Análisis de herramientas para el análisis de datos

De acuerdo a los resultados obtenidos la mejor herramienta para el análisis de datos fue: Node.js. Esto debido a que el lenguaje tiene una cantidad considerable de librerías. Algunas de estas librerías incluyen a Puppeteer y Socket.io y librerías que permiten el manejo de la base de datos SQL o NoSQL.

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos después de evaluar cada uno de los criterios considerados en la selección de la base de datos NoSQL.

Según las calificaciones obtenidas la mejor herramienta para el almacenamiento de datos fue base de datos NoSQL MongoDB. Esto se debe a que MongoDB tiene una fácil integración con el lenguaje Node.js y existen varias librerías que ayudan a que MongoDB tenga más funcionalidad. Además, la aplicación va a ser en tiempo real por lo que se necesita reflejar los datos inmediatamente.

Tabla 5*Matriz de Criterios Ponderados: Fase de Almacenamiento de Datos*

	<i>BASE DE DATOS NOSQL</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>CASSANDRA</i>	<i>MONGODB</i>
	<i>CRITERIO</i>			
<i>Relevantes</i>	<i>Integración con el Lenguaje de Programación</i>	<i>65</i>	<i>50</i>	<i>60</i>
<i>Flexibles</i>	<i>Consistencia</i>	<i>35</i>	<i>30</i>	<i>30</i>
<i>Calificación</i>		<i>100</i>	<i>80</i>	<i>90</i>

Nota: Análisis de herramientas para el almacenamiento de datos

Visualización de datos

Las herramientas que fueron analizadas para poder visualizar datos: R- Studio, Python, JavaScript y Chart.js. Los criterios que se tomaron en consideración para la fase de visualización de datos se basaron en la utilidad para visualizar datos como un criterio relevante y la facilidad de uso como un criterio flexible ya que es necesario tener una interfaz que permita llegar a conclusiones sobre el destino turístico a través de los gráficos. Los criterios que determinaron la herramienta para la visualización se describen: facilidad de visualizar datos y curva de aprendizaje.

Tabla 6*Matriz de Criterios Ponderados: Fase de Visualización de Datos*

	<i>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN (FRONT-END)</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>R-STUDIO</i>	<i>PYTHON</i>	<i>JAVASCRIPT</i>	<i>CHART.JS</i>
	<i>CRITERIO</i>					
<i>Relevantes</i>	<i>Facilidad de Visualizar Datos</i>	<i>65</i>	<i>55</i>	<i>55</i>	<i>57</i>	<i>63</i>
<i>Flexibles</i>	<i>Curva de Aprendizaje</i>	<i>35</i>	<i>20</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>33</i>
<i>Calificación</i>		<i>100</i>	<i>75</i>	<i>88</i>	<i>91</i>	<i>96</i>

Nota: Análisis de herramientas para la visualización de datos

Las mejores herramientas para la visualización de datos fueron JavaScript y Chart.js debido a que las dos se pueden integrar y presentar los datos de una manera elegante. Además, se puede usar con la librería Socket.io (Char Js, 2022).

Redes Sociales

Al momento de crear un sistema que evalúe y recomiende destinos turísticos es importante considerar que redes sociales son adecuadas para proveer datos. Algunas redes sociales tienen mejor calidad de datos, otras tienen más seguridad y otras requieren que el usuario se registre para poder visualizar comentarios por lo que es de gran importancia tomar esto en cuenta.

Las redes sociales que se compararon: Facebook, Twitter, Trip Advisor e Instagram. Estas redes sociales fueron seleccionadas por ser las más utilizadas y relevantes. Se incluyó a Trip Advisor pues al momento es considerada una red social exclusiva para obtener comentarios de lugares turísticos y la información podría resultar valiosa para realizar el estudio establecido.

Para la selección de redes sociales se plantearon los siguientes criterios desde un punto de vista de ingeniería son: alta calidad de datos, baja protección de datos, bajo nivel de seguridad, cantidad de comentarios diarios y número de usuarios.

Tabla 7

Matriz de Criterios Ponderados: Redes Sociales

	<i>RED SOCIAL</i>	<i>PONDERACIÓN</i>	<i>FACEBOOK</i>	<i>TWITTER</i>	<i>INSTAGRAM</i>	<i>TRIP ADVISOR</i>
	<i>CRITERIO</i>					
<i>Relevantes</i>	<i>Alta Calidad de Datos</i>	<i>80</i>	<i>22</i>	<i>25</i>	<i>25</i>	<i>28</i>
	<i>Bajo Nivel de Seguridad</i>		<i>18</i>	<i>22</i>	<i>20</i>	<i>23</i>
	<i>Bajo Nivel de Seguridad</i>		<i>15</i>	<i>13</i>	<i>8</i>	<i>11</i>
<i>Efectivos</i>	<i>Cantidad de comentarios diarios</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>13</i>	<i>34</i>	<i>33</i>
<i>Flexible</i>	<i>Número de usuarios</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Calificación</i>		<i>100</i>	<i>75</i>	<i>87</i>	<i>76</i>	<i>89</i>

Nota: Análisis de redes sociales para recolección de datos

Las redes sociales más aptas para obtener grandes volúmenes de comentarios fueron Twitter y Trip Advisor. Trip Advisor es la herramienta que cuenta con la mejor calificación en la calidad de datos porque esta red social tiene comentarios que se relacionan a lugares turísticos. Twitter en cambio tiene un mayor número de usuarios y comentarios que serán de gran ayuda al momento de evaluar un destino turístico. Sin embargo, los comentarios de la red social Twitter provienen de las cuentas que pertenecen a un solo usuario y por este motivo existen comentarios que posiblemente sean neutros.

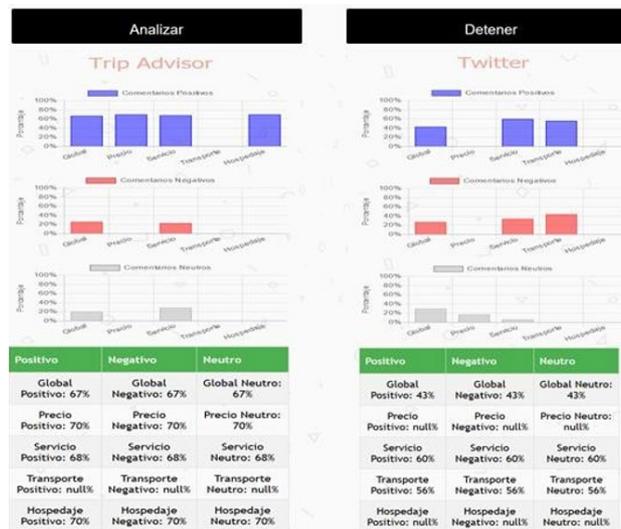
Resultados y Discusión

Como resultado del análisis realizado, la Figura 3, muestra el resultado del análisis de sentimientos que corresponde al sitio turístico Mitad del Mundo; basado en la utilización de la

librería Sentiment, el sitio a ser evaluado, y los parámetros establecidos como: el precio, servicio, transporte y hospedaje.

Figura 3

Análisis de sentimientos Twitter y Trip Advisor



Nota. Información resultante del proceso de análisis de sentimientos

Como se puede observar los comentarios difieren de las fuentes de datos utilizados en el análisis. En el grupo de comentarios positivos se determina que mientras el sitio Trip Advisor no muestra registros en el parámetro transporte, la red social Twitter si contiene registros. En el grupo de comentarios negativos se puede observar que las dos fuentes de datos muestran información penalizando los parámetros: servicio y transporte. Finalmente, se puede observar que existen comentarios neutros asociado con los parámetros: precio y servicio.

El sistema presenta un cuadro de resumen que muestra el total de comentarios positivos, negativos y neutros, emitidos en las dos fuentes de datos. Uno de los puntos importantes de la aplicación es poder presentar en tiempo real los comentarios emitidos, para lo cual es necesario capturar datos, almacenarlos y presentar una gráfica con comentarios positivos, negativos y neutros, esta información permite determinar posibles puntos de mejora en los servicios, tanto con la información del sitio Trip Advisor, como de los tuits, mediante la interfaz gráfica de la aplicación.

De la información conseguida, actualmente este sitio dispone de encuestas como herramienta para evaluar la calidad de los servicios ofertados. La mayoría no disponen de un sistema que permita observar en tiempo real información de sentimientos asociados a la conformidad en la utilización de los productos que el lugar oferta.

Finalmente, de los resultados obtenidos en la presente investigación permite argumentar:

El estudio realizado tiene una limitante considerable relacionada con la necesidad de la activación de la opción de geolocalización en las cuentas de Twitter a ser utilizadas.

Es importante disponer de un sistema en tiempo real que permita determinar puntos de mejora en los servicios que son ofrecidos por los lugares turísticos, para de esta manera tomar decisiones adecuadas y basadas en información real.

Al ser Big Data una de las nuevas tecnologías de la revolución industrial 4.0, es utilizada y aplicada en la resolución de problemas de cualquier ámbito del conocimiento en el ámbito mundial, el turismo no es la excepción por lo cual es apropiado el uso de esta tecnología en el contexto de la presente investigación.

Conclusiones

La investigación realizada determina la necesidad de contar con herramientas que permitan tomar decisiones, para el mejoramiento de la calidad de los servicios ofertados por las empresas del sector turístico. Por otro lado, se debe mencionar que la utilización de datos generados en Twitter y Trip Advisor, han permitido la creación de un sistema que permita analizar los sentimientos emitidos por usuarios de servicios turísticos. Se puede, además, considerar la utilización del sistema desarrollado, como una alternativa viable y de menor costo que permita la evaluación y mejora de servicios relacionados con el turismo. De acuerdo al contexto de la investigación el uso de una base de datos NoSQL en Big Data es importante para resolver la problemática de escalabilidad, que generalmente se presenta en bases de datos relacionales, debido a la gran cantidad de información que se necesite almacenar.

La red social Trip Advisor tiene mejor calidad de datos que Twitter con base en destinos turísticos, ya que los comentarios provienen de la opinión de varios usuarios. De la misma manera, la red social Twitter es de mayor utilidad al momento de realizar el análisis de sentimientos a base de los temas sociales, motivo por el cual el resultado en esta red social tiene una mayor cantidad de comentarios neutrales con relación a destinos turísticos.

Tanto Twitter como Trip Advisor tienen una gran cantidad de bots y cuentas falsas, por lo que sería importante realizar un estudio que permita establecer un filtro y excluir esa información de investigaciones, que toman como fuente de información las redes sociales mencionadas. Finalmente, se precisa que una de las grandes ventajas de haber realizado este sistema es que al momento de planificar se podría saber si una base de datos relacional resulta más conveniente usar que una NoSQL y viceversa.

Reconocimientos

Esta investigación se enmarca en el proyecto de investigación “Evaluación y promoción de destinos turísticos, mediante la tecnología de la ciencia de datos y geolocalización” apoyado por el Vicerrectorado del Instituto Superior Tecnológico Japón.

Referencias

- Aguilar, L. J. (2013). *Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Algecira, C. (2020). *Arquitectura de Big Data para el análisis de sentimientos multimodales en el sector turístico del Departamento de Boyacá, Colombia*. Boyacá: Universidad Santo Tomás Sede Tunja.
- Ángel Patricio Fajardo Cárdenas, Néstor Ariel Bravo Chuqui, Andrés Vinicio Auquilla Sangolqui, & Paúl Fernando Vanegas P. (2021). *Plataforma para el Análisis de Mercado a través de Datos de Redes Sociales*. Guayaquil: Resvista RTE.
- Arias, Á. (2017). *El uso de la plataforma trip advisor. Estudio de caso: Los comentarios sobre los Hoteles en Valladolid*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Char Js. (01 de 02 de 2022). *Performance*. Performance: <https://www.chartjs.org/docs/latest/general/performance.html>

- Escribano, Á. A. (2017). *El uso de la herramienta Trip Advisor. Estudio de Caso: Los comentarios sobre hoteles de Valladolid*. Segovia: Universidad de Valladolid.
- Fajardo, Á., Auquilla, A., & Vanegas, P. (2021). *Plataforma para Análisis de Mercado a través de Datos de Redes Sociales*. Guayaquil: Revista Tecnológica Espol.
- Google Developers. (03 de 02 de 2021). *Tools for Web Developers*. Tools for Web Developers: <https://developers.google.com/web/tools/puppeteer/>
- Herrera, N., Sánchez, H., Macías, M., & Gómez, E. (2016). *Analysis of the factors generating vehicular traffic in the city of Quito and its relation to the application of sensorial and social data with big data as a basis for decision making*.
- Kalpakkjian, S., & Schmid, S. (2016). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Mexico: Pearson.
- Krishna, S. (01 de 07 de 2018). *Facebook puts more limits on developer access to user data*. Facebook puts more limits on developer access to user data: https://www.engadget.com/2018-07-02-facebook-limit-api-developer-app-data.html?sr_source=Twitter
- Letelier, P., & Penadés, M. (2016). (XP), Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming. *Técnica Administrativa*.
- Martínez, X., & Piñeiro, T. (2020). *Turismo y Big Data. Propuesta de Análisis de la capa social a través de metadatos y publicaciones sociales*. Portugal: Cultura, património e turismo na sociedade de digital.
- Ministerio de Turismo del Ecuador. (2019). *Plan Estratégico Institucional 2019-2021*. Ministerio de Turismo del Ecuador.
- Node Js. (15 de 01 de 2022). *Dependencias*. Dependencias: <https://nodejs.org/es/docs/>
- Padilla, C. (2019). *Big Data, una herramienta para apoyar en decisiones del sector hotelero en Quito-Ecuador*. Quito: Revista UIDE.
- Rik, J., & Tim de Boer. (2011). *Twitter An Architectural Review*. Utrecht: Software Architecture Faculty of Science University of Utrecht. Netherland: Faculty of Science University of Utrecht.
- Synonimos. (12 de 02 de 2022). *Synonimos*. Synonimos: <http://www.sinonimos.com/>
- Tello, J. M. (2019). *Potencial aplicación del Big Data al sector turismo con especial referencia a España*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Twitter. (2022). *Centro de ayuda*. Información sobre las API de Twitter: <https://help.twitter.com/es/rules-and-policies/twitter-api>
- Zicopoulos, P., Chris, E., Dirk, D., Tom, D., & George, L. (2011). *Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data*. McGraw-Hill Osborne Media.

Revocatoria de mandato en Ecuador (1998-2018)

Revocation of mandate in Ecuador (1998-2018)

María Inés Arévalo Jaramillo¹ <https://orcid.org/0000-0003-2231-1435>

¹Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador
maria.i.arevalo@unl.edu.ec

Enviado: 2022/03/02

Aceptado: 2022/06/09

Publicado: 2022/06/30

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito analizar la revocatoria de mandato considerando características normativas, políticas e institucionales que afectan su aplicación. Para lograrlo se identifican las autoridades de elección popular a quienes se han dirigido las iniciativas populares, circunscripciones electorales a las que pertenecen y cargo político. Se toma como evidencia empírica el caso ecuatoriano, desde el año 1998 hasta el 2018. Es un estudio descriptivo con una metodología de tipo cuantitativa aplicada a una base de datos que identifica los procesos de revocatoria realizados en Ecuador. Entre los principales resultados destaca la relación entre el tamaño de la circunscripción y las iniciativas que se presentan, reconociendo a los gobiernos locales como las instituciones donde se han aplicado con mayor frecuencia este tipo de mecanismo de participación ciudadana. En los veinte años de estudio, se revela que los cargos legislativos de cantones, esto es concejalías, son los principales cargos revocados por iniciativas ciudadanas. El 25% de los referéndums han obtenido mayoría para revocar la autoridad. Existe un fuerte impacto del diseño institucional que explica la evolución histórica de este mecanismo en el país, las continuas modificaciones en requisitos y causales para su aprobación ha limitado la aplicación del mismo.

Palabras clave: control político, democracia, Ecuador, referéndum, revocatoria de mandato, participación ciudadana.

Abstract

This paper aims to analyze the revocation of the mandate considering normative, political, and institutional characteristics that affect its application. The popularly elected authorities to whom the popular initiatives have been addressed, electoral districts to which they belong, and

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Arévalo, M. (2022). Revocatoria de mandato en Ecuador (1998-2018). *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 140-154. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/922>

political office are identified. The Ecuadorian case is taken as empirical evidence from 1998 to 2018. It is a descriptive study with a quantitative methodology applied to a database that identifies the revocation processes carried out in Ecuador. Among the main results, the relationship between the size of the constituency and the initiatives presented stands out, recognizing local governments as the institutions where this type of citizen participation mechanism has been applied most frequently. In the twenty years of study, it has been revealed that the legislative positions of cantons, i.e., councils, are the prominent positions revoked by citizen initiatives. Twenty-five percent of the referendums have obtained a majority to revoke the authority. There is a strong impact of the institutional design that explains the historical evolution of this mechanism in the country. The continuous modifications in requirements and grounds for its approval have limited its application.

Keywords: political control, democracy, Ecuador, referendum, revocation of mandate, citizen participation.

Introducción

La revocatoria de mandato es uno de los mecanismos de democracia directa o participativa que fueron incluidos en los países de América Latina, a partir de los años noventa cuando la ciudadanía retoma su protagonismo en las acciones de control sobre el poder político (Welp, 2014, p.23; Serrafero y Eberhardt, 2017, p.498). La revocatoria de mandato ha sido entendida como un recurso de control propuesto desde abajo, ya que la población resuelve la interrupción del mandato de una autoridad de elección popular a través de un referéndum (Welp y Serdült, 2014, p.2), reconoce la facultad de los electores para proponer y ejecutar la destitución de un funcionario público antes que culmine el periodo para el cual fue elegido (Rivera, 2006, p.14). Pese a ser uno de los procesos de democracia directa constitucionalmente incorporado en casi todos los países de la región, ha sido uno de los más cuestionados, también existen divergencias sobre la normativa que lo regula, en algunos casos se conceden amplias facultades a la ciudadanía para interponerlo mientras que en otros casos las iniciativas ciudadanas son fuertemente limitadas.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito responder la siguiente pregunta: ¿cómo ha sido la evolución del proceso de revocatoria del mandato en Ecuador? Para dar respuesta, se analiza los orígenes de este recurso de democracia directa desde la perspectiva de la participación ciudadana. Como evidencia empírica se toma las resoluciones del Consejo Nacional Electoral (CNE) en el periodo 1998 hasta el 2018 en relación a la aprobación y resultados de revocatoria de mandato, así como normas legales que durante este periodo han regulado este proceso en el país. Se trata de un estudio de ciencia política que destaca la importancia de las iniciativas populares de revocatoria como un elemento que incide en las instituciones democráticas del Estado.

Desde la revisión teórica se plantea las diversas perspectivas que analizan la aplicación de la revocatoria del mandato. Para algunos autores la revocatoria del mandato constituye el resultado del reconocimiento de la soberanía popular y el control social sobre las instituciones políticas (Ponce, 2011, p.2; Rivera y Cardona, 2012, p.7), impone nuevos retos para la democracia representativa, al reconocer que el mandato que reciben las autoridades como resultado de los procesos electorales, puede interrumpirse con un acto democrático de iniciativa popular. La posibilidad de revertir el mandato popular ha sido defendida también como una herramienta de gestión local y legitimidad que puede llegar a fortalecer la representación de las autoridades locales a través de la vigilancia ciudadana (Márquez, 2013, p.102).

Por otra parte, existen autores que consideran que los procesos de revocatoria vuelven inestables las instituciones políticas, generan desconfianza en las normas y en los procesos electorales, además, polarizan y enfrentan a la sociedad en procesos que, en algunas ocasiones pueden resultar injustos, ya que se producen como resultado de la negociación política de la oposición (Welp y Serdült, 2014, p.111). Pese a los criterios que cuestionan la revocatoria de mandato, este ha sido un recurso que se ha introducido en gran parte de los países de la región. Perú es uno de los países que sobresale por el número de revocatorias presentadas, hasta el año 2013 registró un total de 5.303 revocatorias aplicada y más de mil autoridades revocadas (Welp y Serdült, 2011, p.151; Welp, 2013, p.55). Se advierte además que los espacios locales son los más propicios para este tipo de propuestas pese a las reformas que involucran a las autoridades nacionales en las iniciativas de revocatoria del mandato (Uribe, 2016, p.181).

La literatura hasta la fecha publicada en torno a este tema aborda de manera amplia las causas políticas de las revocatorias de mandato tomando como principal referencia los estudios comparados o de caso dentro de los países de América Latina y Europa. Sin embargo, son aun escasos los análisis en torno a la evolución e impacto político que genera la aplicación de este mecanismo en los países de la región, donde la introducción de esta figura aun es reciente. Este trabajo se propone realizar un análisis descriptivo en torno a la propuesta y ejecución de la revocatoria de mandato tomando en cuenta su regulación y algunas de las consecuencias políticas que de ella se derivan, es un estudio que se enmarca en la ciencia política, que se enfoca en las instituciones y la participación ciudadana desde las lógicas propias de la democracia.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se desarrolla una revisión de literatura donde se exponen los principales trabajos que analizan este tema en diversos contextos: a nivel mundial, en América Latina y en Ecuador. A continuación, se describe la metodología utilizada en el desarrollo de este estudio. Como tercer punto, se presentan los resultados de los procesos de revocatoria aplicados en Ecuador. Finalmente, se desarrolla las conclusiones a partir de los principales hallazgos de este trabajo lo que además permite plantear una agenda de investigación en torno a este tema y sus aspectos más relevantes.

Revocatoria de mandato: experiencias

Con el reconocimiento constitucional de los mecanismos de democracia directa en los países de la región, se abre la discusión sobre los efectos que produce la participación ciudadana dentro de las instituciones y la estabilidad democrática. La revocatoria, ha tomado como propósito defender el principio del mandato no imperativo, en contra de lo que promulgaba la democracia representativa, donde se asume que una vez electa la autoridad, esta ya no es responsable frente a su electorado y en consecuencia su mandato no puede ser revocable (Bobbio, 1986, p.37).

Los orígenes de este tipo de iniciativas se registran en Estados Unidos y Suiza, donde se reconoció la posibilidad de revocar el mandato mediante iniciativas populares a través de sus constituciones, en el primer caso desde 1631 y en Suiza desde 1846 con la puesta en marcha de esta iniciativa en la ciudad de Berna (Verdugo, 2007, p.20). En América Latina, Argentina fue uno de los primeros países en incluirla, con reformas constitucionales de los años 1923 y 1933 en los municipios de Córdoba y Entre Ríos (Welp, 2014, p.249). Ecuador, Venezuela, Perú, Bolivia incorporan esta alternativa en los años noventa y obedece a propuestas que buscan fortalecer la democracia directa en la toma de decisiones. Si bien, en la actualidad este recurso puede afectar a todas las autoridades de elección popular, ha sido un proceso que ha logrado aplicarse con éxito únicamente en gobiernos subnacionales (Martínez, 2013, p.87).

En los últimos años, la revocatoria, como mecanismo para finalizar el mandato de las autoridades electas se lo asocia, a gobiernos de izquierda producto de la consolidación de esta figura a partir de las reformas constitucionales que sucedieron a finales del siglo XX, como es el caso de Venezuela, Ecuador y Bolivia (Welp y Serdült, 2012, p.188) en donde se ha reconocido la posibilidad de destituir a autoridades locales y nacionales, incluso al Presidente de la República, a través del voto popular. Se considera además como un mecanismo eficiente dentro de sociedades donde la confianza en las instituciones y organismos de representación política, como los partidos políticos, ha disminuido considerablemente (Welp y Serdült, 2012, p.177; Trujillo, 2009, p.11). La revocatoria reconoce la facultad de los electores de realizar, lo que se podría llamar un juicio de carácter político, no judicial, que busca castigar a las autoridades que incumplen con el deber de representarlos.

La revocatoria del mandato se ha considerado, además, un instrumento de accountability vertical, que tiene el propósito de asegurar el control desde la sociedad hacia el Estado (Eberhardt, 2013, p.16), reconocida por algunos autores como un mecanismo de la llamada “democracia gobernante” (Verduga, 2007). La revocatoria tiene sus bases en el derecho público donde se establece la posibilidad de destituir a una autoridad como resultado de las acciones de control para asegurar el correcto desenvolvimiento de las instituciones (Vanegas, 2017, p.18). La participación social y la insatisfacción se pueden convertir en condiciones suficientes para sancionar a una autoridad (Eberhardt, 2016, p.259). Por tanto, se trata de un mecanismo que permite reemplazar a gobernantes que han perdido la confianza ciudadana por vía constitucional.

Algunos autores asumen que la revocatoria del mandato permite dirigir la falta de confianza del electorado sobre sus representantes ejerciendo acciones de control y sanción hacia quienes no cumplen de manera satisfactoria su trabajo, este recurso determina el vínculo entre elector y autoridad en el ejercicio de las funciones públicas (Clavijo, 2013, p.109). Además, existen opiniones que este tipo de mecanismos de democracia directa llegan a motivar el interés de la ciudadanía en ejercer acciones de control político, permitiendo superar la crisis de representación generada por el descontento y la apatía política de los ciudadanos (Eberhardt, 2017, p.108). En este contexto, los mecanismos de democracia directa fortalecen la acción ciudadana en el ejercicio de sus derechos y pueden llegar a fortalecer el respaldo y nivel de satisfacción con el sistema político.

Por otra parte, existen estudios donde se sostienen que la revocatoria de mandato representa un riesgo para la estabilidad de la democracia y que en muchos de los casos su aplicación obedece a intereses partidistas de quienes resultaron perdedores en contiendas electorales y buscan desplazar a los ganadores dentro de las instituciones políticas (Uribe, 2016, p.181; Martínez, 2013, p.85). Tuesta (2009) afirma que, en Perú, uno de los países con más revocatorias de mandato, ha sido una iniciativa de quienes no aceptan los resultados de las contiendas electorales.

Por su parte, Eberhardt (2013) considera que el impacto de la revocatoria está en relación con jerarquía de la autoridad hacia la que se dirige. Cuando se trata de autoridades ejecutivas, nacionales o subnacionales, el procedimiento adquiere mayor visibilidad y, por tanto, su capacidad de éxito aumenta, esto debido a la posibilidad de atribuir responsabilidades de forma más clara (Mainwaring y Shugart, 1997). Por el contrario, se estima que en los cuerpos legislativos la responsabilidad de sus integrantes se diluye frente a la existencia de bloques legislativos o cuerpos colegiados lo que genera poca claridad en la responsabilidad de cada persona frente al cumplimiento de su mandato lo que podría considerarse como desconocimiento de las acciones cumplidas o incumplidas (Eberhardt, 2013, p.38). Se trata de

una propuesta teórica que se basa en la atribución de responsabilidades y en el reconocimiento de las mismas por parte de la ciudadanía, si bien existen contradicciones teóricas frente a otros estudios donde se afirma que las autoridades locales o legislativas son susceptibles de ser revocadas con mayor facilidad en razón de poder cumplir con los requisitos procedimentales, estos autores plantean la posibilidad de analizar el proceso de revocatoria en función del impacto de la misma, proponiendo en ello los cargos ejecutivos por su visibilidad política.

Los gobiernos locales han sido los espacios más frecuentes para aplicar iniciativas ciudadanas (Eberhardt, 2016, p.257). La revocatoria de mandato se vio fortalecida a partir de que los gobiernos municipales incrementaron sus competencias con los procesos de descentralización a través del cual recibieron mayores competencias y recursos económicos (Welp y Serdült, 2014, p.110). La descentralización provocó que las competencias de las autoridades locales se incrementaran y en consecuencia el cumplimiento de sus acciones generó mayor expectativa, por tanto, las iniciativas de revocatoria de mandato se vuelven más frecuentes ante el descontento ciudadano o el control social a sus acciones.

En Ecuador el proceso de revocatoria del mandato se reconoce constitucionalmente desde el año 1998, fue incorporada como la facultad ciudadana para retirar el mandato de alcaldes, prefectos y diputados por actos de corrupción o incumplimiento del mandato (Constitución de la República del Ecuador, art.109, 11 agosto 1998). La Constitución del 2008 amplía este derecho y proclama que todas las autoridades de elección popular pueden enfrentar procesos de revocatoria del mandato (Constitución de la República del Ecuador, art. 105, 20 octubre 2008).

La posibilidad de revocar al Presidente de la República, se convirtió en una de las reformas más controversiales en Ecuador, Bolivia y Venezuela, países donde se reconoció dicha reforma constitucional, que para algunos autores puede llegar a significar modificaciones sustanciales para el sistema presidencialista. Uno de los efectos más directos de la revocatoria al mandato presidencial, sería el generar periodos inestables del poder ejecutivo que permiten conservar la legitimidad y gobernabilidad política a través de la flexibilización del mandato en contra de la formación de posibles hiperpresidencialismos (Eberhardt, 2017, p.113).

En Ecuador, la revocatoria de mandato por iniciativa popular fue incorporada en la constitución del país desde el año 1998, donde se establecía que “los ciudadanos tendrán derecho a resolver la revocatoria del mandato otorgado a los alcaldes, prefectos y diputados de su elección, por actos de corrupción o incumplimiento injustificado de su plan de trabajo” (Constitución del Ecuador, art. 109, 11 agosto 1998). Pese a estar regulado los cargos a los cuales se aplicaba como las causas para solicitarla, estas no se pusieron en marcha, una de las principales trabas fue la falta de normativa legal que reglamente estas acciones ciudadanas. En el año 2001 se expide el Reglamento para Consulta Popular y Revocatoria del Mandato donde se dispone el cumplimiento de un requisito previo que es la existencia de una sentencia ejecutoriada que demuestre la responsabilidad de una autoridad sobre actos de corrupción (Morales, 2008, p.10). Sin duda, se trata de condiciones que actuaron como impedimento para llevar a efecto las propuestas ciudadanas en procesos de revocatoria de mandato.

Con la Constitución que rige desde el año 2008, se reconoce como uno de los derechos de ciudadanía la posibilidad de presentar, apoyar e impulsar procesos de revocatoria del mandato a todas las autoridades de elección popular, lo que en inicio motivó la presentación de iniciativas y procesos de referéndum para decidir la continuidad o no de autoridades. Sin embargo, en el 2011 la Corte Constitucional suspende los procesos de revocatoria hasta que la Asamblea Nacional regule requisitos y procedimiento (Malacatus, 2016, p.10). Una vez

reformada las condiciones legales para aprobar las iniciativas de revocatoria del mandato a través del Código de la Democracia y la Ley de Participación Ciudadana, en el país se da tan sólo un proceso de revocatoria que ocurre en el cantón Loja en el año 2018, lo que ocasiona que el alcalde José Bolívar Castillo deba abandonar el cargo como resultado del referéndum.

Es importante tomar en cuenta que, de los mecanismos de democracia directa reconocidos por la constitución ecuatoriana, la revocatoria de mandato ha sido de los menos utilizados, siendo una de las principales limitantes los vacíos legales existentes en tanto a su reglamentación. Estos datos resultan importantes si se considera que los mecanismos aplicados “desde arriba” como es el caso de la consulta popular, se han ejecutado frecuentemente, mientras que las trabas legales impiden la acción ciudadana orientada a la vigilancia del mandato político (Welp, 2008).

Siendo el propósito de este artículo describir cómo ha sido la evolución del proceso de revocatoria en Ecuador, se observa los procesos que se han aplicado a través de sus resultados, la circunscripción electoral y el tipo de cargo. Se toma como fuentes principales los datos publicados por el CNE, así como la norma que durante este periodo ha regulado esta iniciativa popular a través de causales y requisitos, principalmente. A continuación, se detalla la metodología aplicada en este estudio, así como los principales resultados.

Materiales y Métodos

La metodología que se desarrolla en este artículo es de tipo deductiva, reconoce las condiciones teóricas derivadas de la ciencia política y del estudio de la democracia participativa y sus mecanismos, para analizar las que se han aplicado en Ecuador, en relación a la revocatoria del mandato, exclusivamente. Se trata de un trabajo de investigación de tipo descriptivo que utiliza datos cuantitativos que se analizan de forma estadística, con el propósito de identificar el comportamiento de este recurso a través de las siguientes variables: periodo, circunscripción y tipo de cargo político. Para determinar el diseño institucional aplicado en Ecuador al regular los procesos de revocatoria de mandato, se considera las referencias normativas, sus principales cambios y evolución.

Para analizar la parte política se toma como fuente principal las resoluciones emitidas por el Consejo Nacional Electoral (CNE) sobre la aprobación de la revocatoria del mandato y el llamado a referéndum, así como la promulgación de resultados finales. Los resultados que se obtienen se presentan a través de gráficos donde se puede verificar los porcentajes alcanzados en cada variable. Así mismo se genera el análisis sintético de las normas aplicadas en este proceso como parte de las condiciones institucionales que afectan esta conducta. El periodo de estudio está comprendido desde el año 1998, cuando se reconoce constitucionalmente en Ecuador el derecho ciudadano a plantear una revocatoria de mandato, hasta el año 2018. La delimitación temporal de este trabajo se justifica debido a las normativas que en el país han regulado este derecho pasando por la reforma constitucional del año 2008.

Resultados y Discusión

Como ya se indicó en los párrafos anteriores, la revocatoria del mandato en Ecuador se reconoce desde la constitución promulgada en el año de 1998, cobra mayor protagonismo en el año 2008 con las nuevas reformas constitucionales donde se reconoce como un derecho de ciudadanía, posible de ser aplicado hacia todas las autoridades de elección popular del país. Pese a las declaraciones constitucionales los procesos reglamentarios para aplicar este mecanismo fueron inexistentes, en un inicio y difusos en los próximos años. Los problemas

legales ocasionaron que la acción política sea afectada y en muchos casos genere falta de legitimidad o estabilidad política.

Con la Constitución del 2008 las iniciativas de revocatoria de mandato fueron ampliamente apoyadas. En el año 2011, la Corte Constitucional emite un pronunciamiento que suspende las iniciativas de revocatoria hasta contar con la normativa necesaria para reglamentar de forma más precisa estas acciones ciudadanas, ocasionando la suspensión de este recurso por algunos meses. Las posteriores reformas a la Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas (Código de la Democracia) y a la Ley de Participación Ciudadana generaron mayor certeza sobre los requisitos y causales asociados a la revocatoria. En la Tabla 1 se muestra los cambios legales que han afectado la aplicación de revocatorias de mandato en Ecuador, siendo los más relevantes los relacionados con las causales que se deben demostrar para lograr su aplicación.

Tabla 1

Normas legales que regulan la revocatoria de mandato en Ecuador

	1998	2008	2011
Autoridades a revocar	Alcaldes Prefectos Diputados	Todas las autoridades de elección popular	Todas las autoridades de elección popular
Requisitos	Apoyo de al menos el 30% de los empadronados en la circunscripción electoral. Para cesar en funciones se requiere mayoría absoluta.	Apoyo de al menos el 10% de los empadronados en la circunscripción electoral, 15% para el caso del Presidente de la República. Para cesar en funciones se requiere mayoría absoluta de los votos válidos.	Respaldo de la iniciativa debe ser proporcional al número de electores inscritos en el patrón de la respectiva circunscripción: Circunscripciones de hasta 5 000 habitantes, 25%; de 5001 a hasta 10 000, 20%; de 10 001 hasta 50 000, 17,5%; de 50 001 hasta 150 000 15%; de 150 001 hasta 300 000, 12,5%; más de 300 000, 10%.
Causales	Casos de corrupción (sentencia ejecutoriada que la pruebe). Incumplimiento del plan de trabajo.	Ninguna	Incumplimiento de su plan de trabajo y las disposiciones que regulan la participación ciudadana y otras funciones y obligaciones establecidas en la Ley.

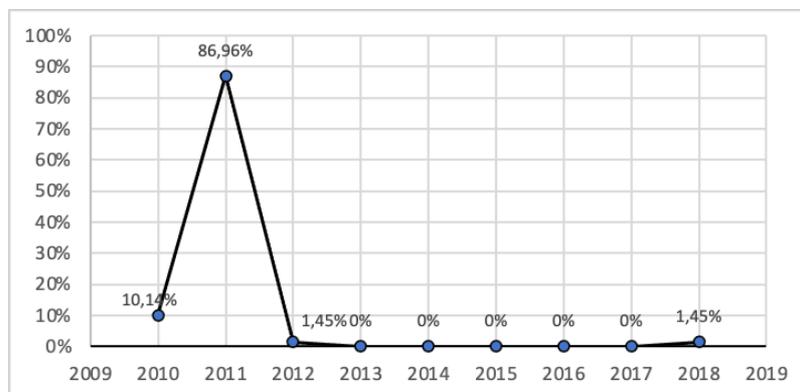
Fuente: Elaboración propia con base en las Constituciones de Ecuador (1998, 2008), Código de la Democracia y Ley de Participación Ciudadana

Bajo estas condiciones legales en Ecuador, el ambiente más propicio para las revocatorias de mandato se dio en los años 2010 y 2011. Las reformas posteriormente planteadas en cuestión de causales y requisitos frenaron la aplicación de las iniciativas de revocatoria por siete años. En el 2018 se logra nuevamente aprobar una iniciativa ciudadana de revocatoria de mandato en el cantón Loja, siendo la única que posterior a las reformas ha logrado cumplir los requisitos legales para su aplicación. En el Figura 1 se puede observar que

únicamente en el año 2011 se aplica el 80% de las revocatorias aprobadas en el país, siendo luego de eso residuales las que se ejecutan.

Figura 1

Procesos de revocatoria de mandato en Ecuador



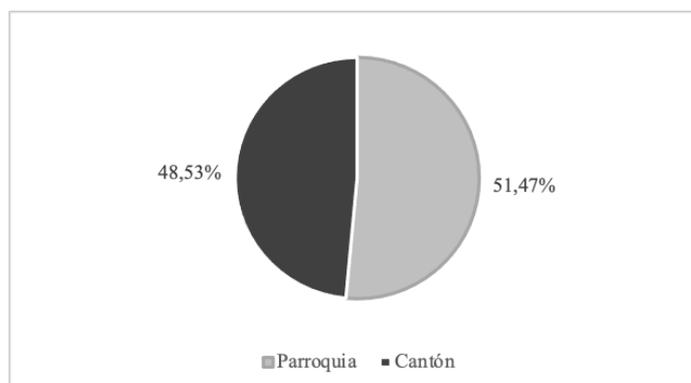
Fuente: Elaboración propia a base de resoluciones emitidas por CNE

Legalmente la normativa ecuatoriana ha evolucionado en relación con las causales y requisitos que deben cumplir los proponentes de esta iniciativa. Por tal razón, ha sido el diseño institucional una de las principales variables asociadas con la aplicación de este recurso de control ciudadano y su evolución. En el campo legal se generaron mayores certezas de su operatividad y reglamentación jurídica. Institucionalmente, las normativas han permitido canalizar las iniciativas ciudadanas con mayores certidumbres, sin embargo, podrían a su vez constituirse en trabas para la democracia participativa que busca involucrar al ciudadano en la toma de decisiones con reglamentaciones mínimas dentro de un estado garantista de derechos (Játiva, 2011, p.82).

A continuación, se presentan los resultados que ha generado la aplicación de procesos de revocatoria de mandato en Ecuador. Los datos que se presentan corresponden al comportamiento obtenido en relación con las siguientes variables: circunscripción electoral, cargo político y resultados obtenidos. Uno de los datos más interesantes es reconocer que pese a la reforma constitucional del 2008 donde se reconoce que todas las autoridades de elección popular pueden enfrentar procesos de revocatoria, las autoridades cantonales y parroquiales son quienes han recibido este tipo de control ciudadano (Figura 2). Por el contrario, autoridades como asambleístas y Presidente de la República no han registrado una iniciativa de este tipo.

Figura 2

Porcentaje de iniciativas de revocatoria de mandato por circunscripción



Fuente: Elaboración propia a base de las resoluciones emitidas por CNE

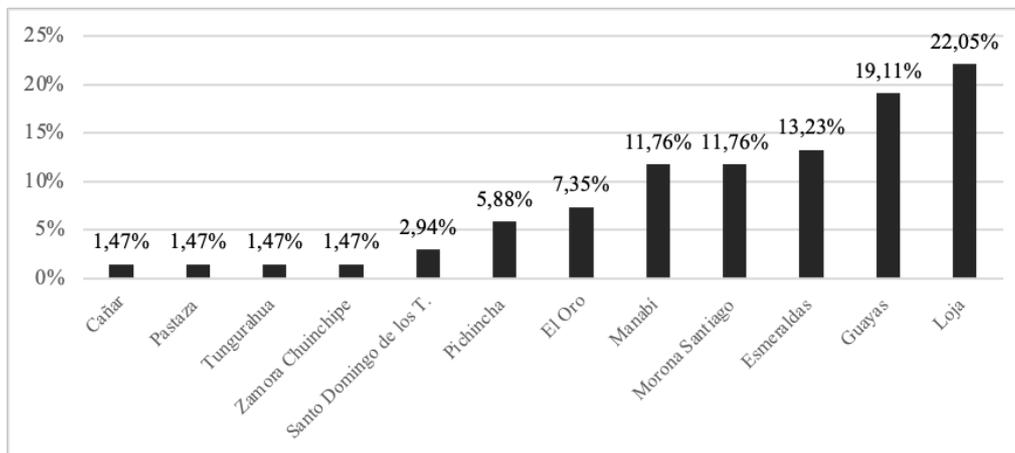
De las iniciativas populares presentadas en Ecuador para la revocatoria del mandato, más del 50% corresponde a autoridades parroquiales: presidente y vocales del gobierno autónomo parroquial. El porcentaje restante, corresponde a concejales y alcaldes. Es decir, existe una tendencia a promover procesos de control ciudadano, con mayor frecuencia y éxito hacia autoridades de gobiernos locales y aquellos de menor tamaño.

Una de las condiciones que podría explicar el número de revocatorias presentadas en gobiernos cantonales y parroquiales, es la facilidad en cumplir los requisitos procedimentales, los mismos que para autoridades nacionales se vuelven más complejos y difíciles de cumplir en el tiempo previsto legalmente. Contrario a lo que afirma Eberhardt (2013), en relación con el éxito de las iniciativas de revocatoria para autoridades nacionales, en Ecuador se han visto limitadas por las condiciones legales y la falta de proponentes con legitimidad nacional que lideren el proceso. Es necesario en este caso considerar que uno de los elementos clave para que las iniciativas populares de revocatoria de mandato cobren fuerza se debe a la posibilidad de cumplirlas, ya que a medida que los requisitos se vuelven más complejos y costosos operativamente, este tipo de acciones populares no se realizan, es el caso de autoridades nacionales donde el número de requisitos relacionados con firmas y electores es mayor.

Otro dato importante es identificar las provincias donde se han aplicado, Loja y Guayas son las circunscripciones donde estos procesos de revocatoria se han solicitado con mayor frecuencia, con el 22% y 19%, respectivamente. En el caso de la provincia de Loja, cantones como Pindal y Puyango han generado un mayor número de iniciativas de revocatoria hacia juntas parroquiales, concejales y alcaldes. En el caso de Guayas, en el 2011 se solicitó la revocatoria de los miembros de la junta parroquial Tenguel y concejales de Samborondón, lo que generó que este porcentaje incremente para la provincia.

Figura 3

Provincias que presentaron iniciativas de revocatoria de mandato



Fuente: Elaboración propia a base de las resoluciones emitidas por CNE

Como se puede observar en el gráfico expuesto las iniciativas de revocatoria de mandato se han presentado en 12 provincias de las 24 del país. La región costa y sierra registran cada una el 42% de iniciativas presentadas. El caso de Loja y Guayas resulta atípico, ya que en el resto de las provincias del país el porcentaje de iniciativas presentadas es escaso.

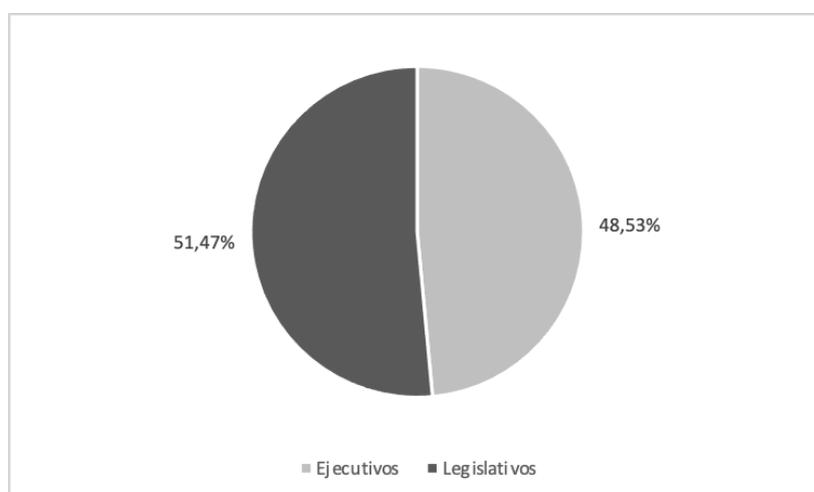
Otra característica importante de este mecanismo de democracia directa está relacionada con el cargo político al que principalmente se dirigen, conforme la literatura que

aborda este tema, se estima que las acciones del Ejecutivo son más fáciles de vigilar y controlar, mientras que las de los cuerpos legislativos puede ser difícil de identificar por resultados individuales (Eberhardt, 2013, p.38) una causa que puede ocasionar que los ejecutivos como alcaldes, prefectos o presidentes sean más susceptibles a enfrentar procesos de revocatoria.

Sin embargo, en Ecuador ocurre lo contrario, instituciones como los cabildos y juntas parroquiales son los que más han recibido procesos de revocatoria de mandato (Figura 4), demostrando con ello que la acción reactiva del ciudadano frente a sus representantes es el principal argumento para generar este tipo de propuestas, aplicándolo a instancias políticas colegiadas como es el caso de legislaturas y cabildos donde se han identificado gobernantes devenidos impopulares (Lissidini, 2007).

Figura 4

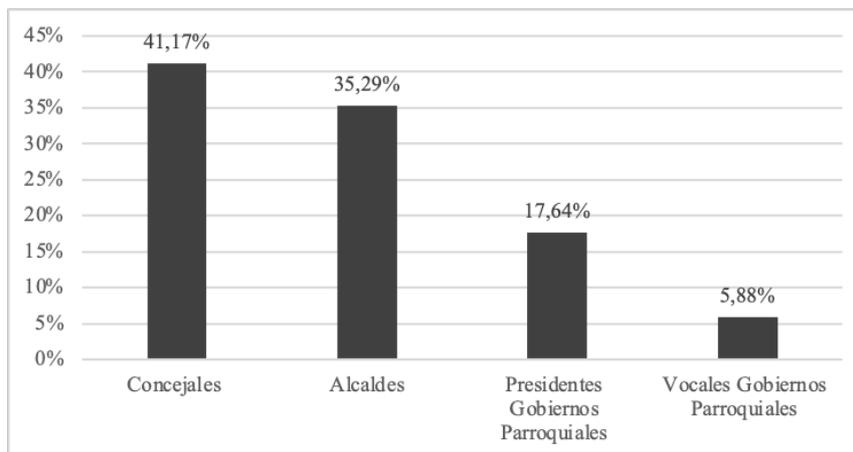
Iniciativas de revocatoria de mandato por tipo de cargo



Fuente: Elaboración propia a base de las resoluciones emitidas por CNE

Si bien la revocatoria de mandato constituye un mecanismo ciudadano que busca la interrupción de un periodo de gobierno, su presentación no constituye un elemento suficiente para dar por terminado el mandato. Los procesos legales establecen que se debe convocar a un referéndum para determinar la salida o no del funcionario público. Conforme los resultados obtenidos en los procesos de revocatoria presentados en Ecuador se observan que tan solo el 25% de ellos generó la interrupción de mandato. Es decir, del total de iniciativas presentadas y que lograron cumplir con los requisitos para su admisión, un total de 17 procesos de revocatoria han logrado reunir el apoyo de la ciudadanía en las urnas para generar la interrupción del mandato. Se deja en evidencia, con estos resultados que pese a contar con un grupo interesado en proponer la acción de revocatoria y liderarlo, no todos los casos son exitosos, algunas limitaciones podrían estar marcadas por el capital político y económico de los ciudadanos que impulsan la revocatoria, así como la legitimidad y gobernabilidad que genera la autoridad (Uribe, 2016, p.197) y que le permite ratificar su apoyo a través de estos procesos electorales.

En este mismo sentido, las autoridades que han tenido que abandonar el cargo a causa de la revocatoria de mandato, son concejales y alcaldes (Figura 5). Pese a que las juntas parroquiales fueron las instituciones políticas que han recibido mayor número de iniciativas, los resultados del electorado han permitido que sean las autoridades de los gobiernos cantonales las que han tenido que interrumpir su periodo a causa de la revocatoria de mandato.

Figura 5*Autoridades revocadas en Ecuador, periodo 1998- 2018*

Fuente: Elaboración propia a base de las resoluciones emitidas por CNE

Este resultado es similar al ya verificado en países como Perú y Colombia donde, también las iniciativas de revocatoria se dirigen con mayor frecuencia hacia los gobiernos locales (Welp, 2013, p.68). Una de las razones asociadas a dicha conducta es el rol administrativo que han asumido los municipios, el mismo se basa en el incremento de facultades y competencias por los procesos de descentralización (Welp, 2013, p.68). Se estima, por tanto, que al ser los gobiernos municipales y las juntas parroquiales las instancias de poder político que atienden las necesidades de la población de forma más cercana, la insatisfacción hacia ellas genera en mayor número acciones directas de control. Otra condición que determina que cantones y parroquias sean las instancias con mayor número de revocatorias presentadas, es la facilidad con la que se cumplen los requisitos, como por ejemplo la recolección de firmas de respaldo, esto por ser circunscripciones electorales pequeñas, donde el número requerido disminuye.

Siendo la revocatoria de mandato uno de los mecanismos de participación directa que la ciudadanía considera más afectivos para controlar a los políticos y exigir su buen desempeño (Rivera y Cardona, 2011, p.231) uno de sus principales efectos es el motivar la participación ciudadana y con ello incrementar los niveles de desconfianza frente a la democracia y las instituciones políticas retirando del cargo a los políticos que consideran incumplen el mandato de representarlos. Sin embargo, la aplicación de procesos de revocatoria de mandato puede estar condicionado por elementos normativos que explican el desarrollo de este derecho, como ocurre en Ecuador, se suma a ello factores territoriales o políticos, que permiten advertir la existencia de condiciones más favorables para el éxito de este mecanismo de democracia directa a nivel local, mientras que otras instancias políticas, como cargos ejecutivos o assembleístas son muy poco afectados por el control ciudadano directo.

Conclusiones

La revocatoria de mandato es uno de los mecanismos de democracia participativa reconocido constitucionalmente en el Ecuador desde el año 1998 y ha enfrentado algunos cambios institucionales que han determinado su aplicación. En el año 2008 la Constitución reconoce la revocatoria como un derecho ciudadano que se puede dirigir hacia todas las autoridades de elección popular, lo que genera que el número de revocatorias efectuadas se incremente notablemente. En el periodo comprendido entre el 2008 y 2011 los requisitos y causales para respaldar la iniciativa de revocatoria de mandato, no estaban definidos de forma

clara a través de las normas, lo que facilitó aún más cumplir con los requisitos para llevar a efecto estas acciones. Sin embargo, a partir de las reformas al Código de la Democracia y la Ley de Participación Ciudadana esto cambió notablemente generando mayores dificultades para que la ciudadanía logre calificar su iniciativa ante el órgano competente, el CNE.

En el 2011 Ecuador era, luego de Perú, el país con más revocatorias de mandato aplicadas, dentro de la región (Welp, 2013, p.55), sin embargo, esta condición disminuye notablemente al exigirse el cumplimiento de mayores requisitos procedimentales. En el periodo comprendido desde el año 2012 hasta el 2018 se ha realizado en el país una revocatoria de mandato y las iniciativas han disminuido notablemente. Luego de la experiencia generada en el cantón Loja, en junio del 2018 con la revocatoria de mandato del alcalde José Bolívar Castillo, la ciudadanía vuelve a generar interés en la aplicación de este mecanismo de control, sin embargo, no se ha logrado el cumplimiento de requisitos legales para su aplicación, demostrando que el diseño institucional es una de las variables de mayor peso para explicar la aplicación de la revocatoria de mandato.

Si bien la revocatoria de mandato, es una acción de democracia directa que podría llegar a dar por terminado el periodo del Presidente de la República, en Ecuador ha sido aplicado únicamente en autoridades a nivel parroquial y cantonal. Contrario a lo que afirma la literatura sobre la vulnerabilidad de los cargos ejecutivos frente a este recurso, en el país, las iniciativas han sido dirigidas hacia los cargos de tipo legislativo, concejalías y vocalías de juntas parroquiales.

Una de las condiciones asociadas al mayor número de iniciativas dirigidas hacia gobiernos autónomos más pequeños, se considera que es la constante insatisfacción electoral que registran estas circunscripciones, en su mayoría pueden ser por la inestabilidad social o la presencia de grupos políticos que ejercen el poder político ajenos a las necesidades sociales, mientras que en su mayoría la ciudadanía se muestra apática al debate político e incrementa su insatisfacción (Martínez, 2013, p.95). En Estados Unidos, uno de los primeros países en reconocer este mecanismo a nivel municipal, se ha verificado los mismos resultados, una experiencia poco exitosa a nivel estatal o nacional ya que las iniciativas se han dirigido, principalmente en relación con los mandatos de gobernadores (Verdugo, 2007, p.23), contexto que ratifica los resultados expuestos en este trabajo donde los costos de gestionar esta iniciativa a nivel local son menores.

Por otra parte, Márquez (2013) sostiene que los gobiernos locales son los que registran un alto índice de insatisfacción ciudadana debido al incumplimiento de las ofertas de campaña, lo que explica la razón de las revocatorias de mandato dirigidas a estos gobiernos. De manera histórica han sido los gobiernos subnacionales los espacios de mayor revitalización democrática, como efecto de la intervención directa de los ciudadanos en los procesos de control político, un hecho que además ayuda a incrementar el nivel de confianza en la democracia y arroja resultados directos sobre la falta de legitimidad o insatisfacción en el trabajo de sus gobernantes, generando un castigo electoral directo con la interrupción del mandato (Serrafero y Eberhardt, 2017, p.500).

El nivel de apoyo ciudadano a estas iniciativas demostrado en el referéndum ha ocasionado que tan solo en el 25% genere la interrupción del periodo, alcaldes y concejales han sido los más afectados. Una de las causas asociadas a este indicador podría ser la legitimidad del proponente y la claridad de las causales. En muchos casos la revocatoria de mandato ha sido liderada por opositores que pretenden dirigir intereses partidistas utilizando el derecho de los ciudadanos al control político (Ramírez y Suarez, 2016, p.60) o grupos que

carecen de respaldo social, lo que genera que el resultado de referéndum permita la continuidad de la autoridad. Las circunscripciones territoriales con mayor probabilidad de enfrentar este tipo de iniciativas ciudadanas son los de menor tamaño. En caso de Ecuador, la provincia de Loja ha destacado por ser uno de los territorios con mayor número de revocatorias presentadas.

Con el análisis teórico y empírico expuesto en este trabajo se concluye que la revocatoria de mandato en Ecuador ha tenido una aplicación irregular, producto de las reformas legales. Actualmente, las iniciativas ciudadanas de revocatoria deben cumplir mayores requisitos lo que ha limitado su presentación y aprobación. Sin embargo, queda demostrado que las autoridades a quienes más se ha dirigido este tipo acciones de control social son los ejecutivos y legislativos de gobiernos municipales, esto es alcaldes y concejales. A nivel de juntas parroquiales las iniciativas han sido numerosas, pero no han demostrado un respaldo total de la ciudadanía en las urnas, generando que la autoridad a quien se dirigía continúe en el cargo por el periodo constitucionalmente previsto. Se considera que el bajo nivel de éxito alcanzado en los procesos de referéndum se relaciona con la legitimidad de los proponentes, líderes sociales que carecen de respaldo social, lo que ha generado que pocas revocatorias presentadas genere el fin del mandato de la autoridad cuestionada. Sobre este tema Uribe (2016) afirma que las campañas de revocatoria de mandato lideradas por un político de oposición con amplia aceptación popular y un presupuesto suficiente para financiar su difusión aumentan la posibilidad de éxito de estas iniciativas. Se debe considerar además que en el caso ecuatoriano, más de cincuenta procesos de revocatoria de mandato obtuvieron resultados negativos en los referéndums, lo que podría considerarse como una alerta de la baja aceptación de estos recursos o el uso que se le da por parte de los líderes que los promueven, se trata de una acción de rechazo a la representación política de la cual se apropian principalmente opositores y que puede verse limitada por reglas institucionales que son los requisitos de votación y aceptación que en cada país se establecen (Annunziata, 2015).

Finalmente, es importante mencionar que los datos generados en este estudio constituyen una evidencia empírica en torno al impacto de la revocatoria de mandato en los cargos políticos, siendo posible identificar aquellas instituciones que con mayor frecuencia lo reciben, así como nivel de respaldo ciudadano que tienen, el mismo que como se ha demostrado depende en mucho de las reglas formales. Alrededor de este tema es importante continuar investigando temas relacionados con los actores sociales en el ejercicio del control político, la legitimidad de los actores revocados para presentarse en futuros procesos electorales, el rol de los líderes de oposición y partidos políticos frente a las iniciativas ciudadanas de control político, así como el efecto en las instituciones de gobierno local y nacional frente a la interrupción de mandato.

Referencias

- Annunziata, R. (2015). Revocatoria, promesa electoral y negatividad: algunas reflexiones basadas en las experiencias latinoamericanas. *Revista Pilquen*, 18 (3), 107- 119.
- Bobbio, N. (1986). *El futuro de la democracia*. México: Fondo de Cultura Económico.
- Clavijo, D. (2013). Validez del modelo actual de la revocatoria del mandato en Colombia. *Revista Académica & Derecho*, 4 (7), 107- 132. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/academia/article/view/2528>
- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.
- Constitución Política de la República del Ecuador. Registro Oficial 1 de 11 de agosto de 1998.

- Eberhardt, M. L. (2017). La revocatoria presidencial en América Latina. Ventajas y limitaciones. Los casos de Venezuela, Bolivia y Ecuador. *Colombia Internacional*, 92, 105- 133. doi. dx.doi.org/10.7440/colombiain92.2017.04
- Eberhardt, M.L. (2013). Crisis de representación en las democracias presidencialistas latinoamericanas ¿La revocatoria del mandato como opción? *Elecciones*, 12(13), 13- 51. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5028050>
- Eberhardt, M.L. (2016). La Revocatoria de Mandato en Venezuela y su diseño institucional: el caso Hugo Chávez (2004). *Revista Brasileira de Sociologia-RBS*, 4(8), 59- 92. doi. dx.doi.org/10.20336/rbs.165
- Játiva, P. (2011). *Análisis general de la normativa referente a la figura constitucional de la revocatoria del mandato*. [Tesis de grado, Universidad de las Américas, Ecuador]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/272>
- Ley Orgánica de Participación Ciudadana. Registro Oficial Suplemento 175 de 20 de abril de 2010. Última modificación: 11 de mayo de 2011.
- Ley Orgánica Electoral y de Organizaciones Políticas, Código de la Democracia. Registro Oficial Suplemento 578 de 27 de abril de 2009. Última modificación: 03 de febrero de 2020.
- Lissidini, A. (2007). *Democracia Directa en América Latina: entre la Participación y la Delegación*. Documento de Trabajo N.º 17. Buenos Aires: Escuela de Política y Gobierno, UNSAM, marzo, pp. 1-45.
- Mainwaring, S. y Matthew S. (1997). *Presidentialism and Democracy in Latin America*. Cambridge: University Press.
- Malacatus, E. (2016). *La revocatoria del mandato, como derecho establecido en la actual Constitución y legislación del Ecuador, respecto a sus alcances, requisitos y limitaciones*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador]. <http://hdl.handle.net/10644/4984>
- Márquez, J. (2013). Gobernabilidad local y revocatorias de autoridades municipales en el Perú, 1997-2009. *Elecciones*, 12(13), 99-136. Recuperado de <https://www.onpe.gob.pe/modEducacion/Publicaciones/L-0085.pdf>
- Martínez, E. (2013). Recall referendum: ¿attack on representative democracy? *Reflexión Política*, 15(29), 84-96. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/110/11028415008.pdf>
- Morales, J. P. (2008). *Ecuador: Mecanismos de democracia directa*. Working Paper Series. Centre for Research on Direct Democracy.
- Ponce, J. (2011). *La revocatoria del mandato como un mecanismo de soberanía popular y control del poder*. [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador] <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3990>
- Ramírez, J. y Suárez, L. (2016). *La Revocatoria del Mandato en Colombia: Un estudio de caso, la experiencia en el municipio de Bello*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás de Aquino, Colombia]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/1514>
- Rivera, J. (2006). Revocatoria del mandato para funcionarios de elección popular en los gobiernos locales. *Revista de Derecho Electoral*, 2, 1-42. Recuperado de <https://www.tse.go.cr/revista/art/2/rivera.pdf>
- Rivera, R. y Cardona, R. (2011). La revocatoria del mandato estudio de caso Alcalde de Pradera Valle 2008-2011. *Memorando de Derecho*, 2 (2), 225- 233.
- Rivera, R. y Cardona, R. (2012). *La revocatoria del mandato como mecanismo de control político ciudadano a partir de la Constitución de 1991. Un Estudio de caso*. [Tesis de maestría, Universidad de Manizales, Colombia]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/138>

- Serrafero, M. y Eberhardt, M.L. (2017). Presidencialismo y Revocatoria del Mandato presidencial en América Latina. *Política y Sociedad*, 54 (2), 497- 519. doi: <https://doi.org/10.5209/POSO.50998>
- Trujillo, J.C. (2009). Sociedad Civil, Estado y Participación en A. Grijalva y C. Storini (Ed), *La nueva Constitución del Ecuador. Estado, derechos e instituciones*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Tuesta, F. (2009). *Reforma Política en Perú*. Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM. Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Recuperado de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2527/21.pdf>
- Uribe, C. (2016). La activación de la revocatoria de mandato en el ámbito municipal en Colombia. Lecciones del caso de Bogotá. *Estudios Políticos*, 48, 179- 200. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/164/16443492010.pdf>
- Vanegas, J. J. (2017). *La Revocatoria del Mandato en el Ecuador, como una expresión de Democracia Participativa*. [Tesis de grado, Universidad del Azuay, Ecuador]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6759>
- Verdugo, J. (2007). *La Revocatoria del mandato en el Ecuador, países de la Comunidad Andina y del Continente Americano*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador]. <http://hdl.handle.net/10644/771>
- Welp, Y. (2008). La participación ciudadana en la encrucijada: Los mecanismos de democracia directa en Ecuador, Perú y Argentina. *Íconos*, 31, 117-130. doi: <https://doi.org/10.17141/iconos.31.2008.267>
- Welp, Y. (2013). ¿Por qué Perú? Análisis de la revocatoria del mandato en perspectiva comparada. *Elecciones*, 12 (13), 53-77. Recuperado de https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/98433/1/Welp_Elecciones_ONPE_2013.pdf
- Welp, Y. (2014). Revocatoria del mandato y democracia: análisis de las experiencias recientes en Lima y Bogotá. *Democracias*, 2, 189-208.
- Welp, Y. y Serdült, U. (2012). ¿Renovación, crisis o más de lo mismo? La revocatoria de mandato en los gobiernos locales latinoamericanos. *Revista Desafíos*, 24(1), 169-192. Recuperado de <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/desafios/article/view/2274>
- Welp, Y. y Serdült, U. (2014). *La dosis hace el veneno. Análisis de la revocatoria del mandato en América Latina, Estados Unidos y Suiza*. Quito: Instituto de la Democracia. Consejo Nacional Electoral.
- Welp, Y. y Whitehead, L. (2011). *Caleidoscopio de la innovación democrática en América Latina*. México: Nuffield College, Centre for Research on Direct Democracy. FLACSO- México. Recuperado de <http://www.flacso.edu.mx/publicaciones/novedades/Caleidoscopio-de-la-innovacion-democratica-en-America-Latina>



Improving oral communication skills of English learners with voice messages and short videos

Mejora de las habilidades comunicativas orales de estudiantes de inglés con mensajes de voz y vídeos cortos

Rotimi Peter Oye¹ <https://orcid.org/0000-0002-6860-5423>,
Katherine Salvador Cisneros² <https://orcid.org/0000-0003-0414-3597>

¹*Escuela Politécnica Nacional, Centro de Educación Continua, Quito, Ecuador*
roye@espol.edu.ec

²*Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Guayaquil, Ecuador*
ksalvado@espol.edu.ec

Sent: 2021/12/10
Accepted: 2022/05/19
Published: 2022/06/30

Abstract

University students face the challenge of communicating in a foreign language while speaking. This is perceived as one of the most complex skills to develop. The lack of opportunities to interact in the target language, in and out of the English classrooms, prevents students from acquiring fluency and confidence. This study examines the development of students' oral communication skills of Level B1 (Pre-Intermediate level of the Common European Framework of Reference for Languages) of English as a Foreign Language (EFL) using the WhatsApp applications. Forty-five EFL learners aged 18-25 from a language center at a university in Ecuador performed exercises using voice messages and short videos as part of their course planned activities. The data collection method consisted of surveys and interviews with the participants and their teacher's observations. Data were analyzed using descriptive statistics and cross-tabulation accordingly. Analysis of the data evidenced that short videos were far more effective than voice messaging in improving the participants' oral communication skills. Other benefits were the improvement of grammar and pronunciation observed in the learners' voice messages, with the consequent improvement of their speaking fluency. It can be said that the participants' overall oral communication skills developed with

Summary: Introduction, Methodology, Results and Discussion and Conclusions.

How to cite: Oye, R. & Salvador-Cisneros, K. (2022). Improving oral communication skills of English learners with voice messages and short videos. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 155-164.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/888>

the use of the WhatsApp application in this study. Therefore, the authors recommend exploring the application of technological resources in the EFL classroom.

Keywords: educational research, foreign language instruction, English, educational technology, educational innovations, WhatsApp.

Resumen

Los estudiantes universitarios enfrentan el desafío de comunicarse en una lengua extranjera mientras que la destreza oral es una de las más difíciles de desarrollar. La falta de oportunidades para interactuar en el lenguaje objetivo dentro y fuera de la clase de inglés impide adquirir fluidez y confianza. Este estudio examina el desarrollo de las habilidades de comunicación oral de los estudiantes del Nivel B1 (Nivel pre-intermedio del Marco Común Europea de Referencia de Lenguas) de inglés como Lengua Extranjera, haciendo uso de la aplicación WhatsApp. Cuarenta y cinco estudiantes de inglés, de edades entre 18 y 25 años, de un centro de idiomas de una universidad de Ecuador realizan ejercicios de comunicación oral empleando mensajes de voz, con la ejecución de vídeos cortos como parte de las actividades planificadas en su curso. El método de recolección de datos incluye encuestas y entrevistas a los participantes, y observaciones de su profesor. La información se examina mediante estadística descriptiva y tabulaciones cruzadas. El análisis de los datos evidencia que el uso de vídeos cortos es mucho más eficaz que los mensajes de voz para mejorar las habilidades comunicativas orales de los participantes. Otro beneficio es la mejora en el uso de la gramática y la pronunciación observada en los mensajes de voz de los estudiantes, y su consecuente mejoría de la fluidez en su habilidad oral. En este estudio puede decirse que las habilidades comunicativas orales mejoran de manera general con el uso de la aplicación WhatsApp, por lo tanto, los autores recomiendan explorar diferentes recursos tecnológicos en la enseñanza de lenguas extranjeras.

Palabras clave: investigación educativa, enseñanza de lengua extranjera, inglés, tecnología educativa, innovaciones educativas, WhatsApp.

Introduction

This study addresses one of the concerns of English as Foreign Language (EFL) teachers about learners' difficulty speaking in English after studying the language for several years. English learners have many problems engaging in meaningful conversations. Most learners have difficulty developing oral communication skills (Altiner, 2018). This difficulty may result from some teachers focusing more on teaching grammar and vocabulary with a content-based approach, leaving a communication-based approach aside. Also, for some learners, passing an English exam composed of grammatical structures and writing about individual experiences is not enough to improve their oral communication skills. Not being able to speak English in and outside the classroom is a typical problem college students face. In addition, learners say they are shy or afraid to make mistakes when trying to communicate in English (Namaziandost, 2019).

It must also be said that oral production in the English language does not only help learners to further their education, but also prepares them for cross-cultural activities in their life experiences. Furthermore, speaking English will enable learners to obtain part-time jobs due to Ecuador being a touristic location for foreign English speakers who are seeking adventures and international relationships. Learners with a B1 level of English will find it easy to get jobs in hotels, restaurants, travel agencies, and tourist places. The advantages of cross-cultural activities like knowing Ecuadorians' local cuisines and other cultural identities may be transmitted to English native speakers who come to visit Ecuador for cultural experiences.

Cultural experiences may be achieved through speaking to individuals physically or through video conferencing (Jung, 2013). Learners will be prepared to master the meanings of words and use them on different occasions with those who want to have a cultural understanding of a specific location (Kurkimbayeva et al., 2020).

According to the Ecuadorian Ministry of Education on Learning English, Article 31 of the University Council, students must achieve a B1 level of English of the Common European Framework before graduating from university (CES, 2019). Some high school students need to prepare well to pass their English proficiency level when they reach university. The English proficiency level at the university corresponds to the B1 of the Common European Framework of Reference for Languages, which states that learners would be able to communicate fluently on topics related to their everyday activities (Council of Europe, 2001, p.24). This work results from research undertaken towards the master in TEFL degree of one of the authors. It is set in the English Center of the Continuous Education Department at the National Polytechnic University. Participants are university and high school students enrolled in this English Center who are challenged to acquire a B1 level (a pre-intermediate level of the Common European Framework of Reference for Languages) to improve their oral communication skills.

The research questions of this study are:

1. How do voice messages improve the oral communication of EFL B1 students using the WhatsApp application?
2. How do short videos in English improve the oral communication of EFL B1 students using the WhatsApp application?
3. What are EFL B1 learners' perceptions of using voice messages and short videos to enhance their communication skills?

Methodology

This study aimed to employ an action research approach to address communication skills problems in the EFL classroom. Alina et al. (2007) suggest that action research results in practical solutions to problems in education and learning. Siegel (2013) states that practical solutions can improve language skills when attention is given to the learner's perspective of their learning process. In the same vein, Tuan and Nhu (2010) claim that researchers and learners need to investigate student perspectives while interacting to find solutions to learners' communication skills in the classroom. Therefore, this study uses an interpretive approach to examine learners' perceptions of improvement when using WhatsApp as a learning tool. In this regard, the study combined a survey, interviews, and observations as data collection tools to identify and meet the needs of learners.

The survey employed in this study included five statements where the participants were asked to position themselves along a 5-point Likert scale, ranging from 1 to 5, as follows:

1. Extremely poor
2. Poor
3. Neither poor nor good
4. Good
5. Extremely good

The semi-structured interview included three initial questions aimed to respond the research questions:

Question 1. Would you like to use voice messages through the WhatsApp application during class activities? Why?

Question 2. Would you like to use short videos from the WhatsApp application during class activities to enhance your communicative skills? Why?

Question 3. What are your perceptions about using voice messages and short videos to improve your speaking skills?

The data collected from surveys were interpreted using descriptive statistics and a cross-tabulation analysis. The responses to the open questions in the interviews were listed for their analysis. Results and conclusions followed the analysis of the collected data.

Forty-five participants took part in this study. Students were enrolled in the 5th Cycle English Course, Fall Term (October 20th to December 17th, 2020) in the English Center of a polytechnic university. All participants were 18 to 25 years old. They held Level B1 in English according to the Common European Framework of Reference for Languages. Participants granted their informed consent to participate, knowing the purpose and the content of the survey and the interview. Participants attended two-hour daily English lessons for eight weeks, from Monday to Friday. Learners in this study usually have scarce opportunities to put the grammatical structure learned in class into practice in their daily activities and conversations. Therefore, this study explored the effect of using English voice messages and short videos through the WhatsApp application to improve the communication skills of EFL B1 learners in the classroom. The focus of this study was the improvement of oral skills, fluency, and the learners' confidence in the use of the language.

Results and Discussion

The participants' responses to the survey are presented based on a descriptive statistical analysis. Figure 1 illustrates how students perceived their improvement after using WhatsApp voice messages through bar charts. Most respondents (n=20; 44.4%) agreed that WhatsApp voice messages are an excellent tool to improve their communication skills. At the same time, only one participant (2.2%) agreed that the use of WhatsApp voice messages is a poor technique to improve communication skills.

The second objective of this study was to explore how short videos from WhatsApp contributed to participants' oral communicative skills. Figure 2 reflects that most respondents (n=22;48.9%) agreed that short videos are good to improve their communicative skills. While only one of the respondents (2.2%) agreed that short videos are considered an Extremely Poor tool to improve communication skills.

The third objective of this study was to know the most perceived improvement after using voice messages and short videos from the WhatsApp application. Figure 3 depicts students' responses, with most respondents (n=18;40.0%) reporting the perception of improvement in their grammar skills. Only two respondents (4.4%) agreed that voice messages and short videos from the WhatsApp application enhance their emotional expression.

Figure 1

Bar chart of the distribution of students' perception of their improvement after the use of voice messages

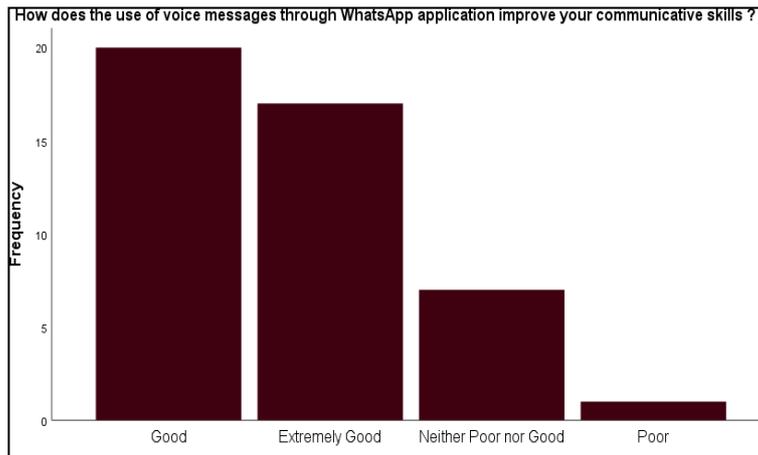


Figure 2

Bar chart of the distribution of students' perception of their improvement after the use of short videos

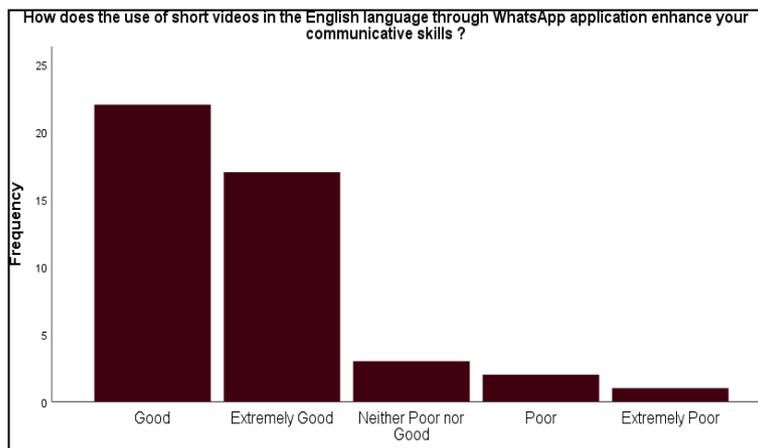
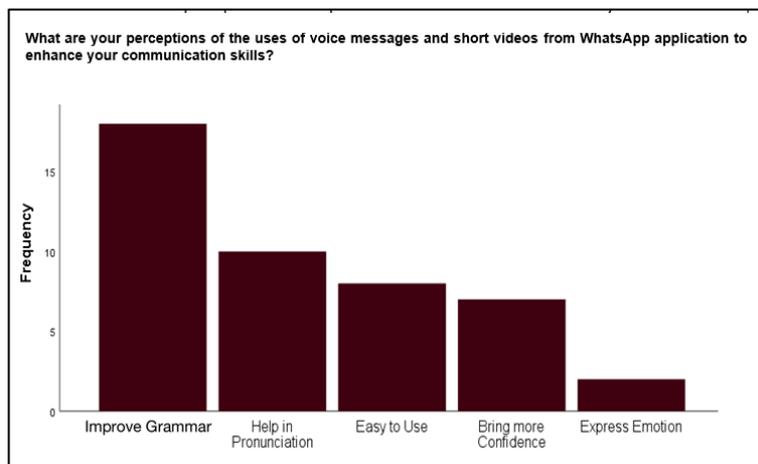


Figure 3

Bar chart of the distribution of students' perception of their improvement after the use of voice messages and short videos



A cross-tabulation count of students' perceptions corroborates that those respondents who agree that voice messages and short videos are good tools to enhance their communication skills relate Grammar as the primary area of improvement (Table 1 and Table 2).

Table 1

Cross-tabulation count of respondents' perceptions (voice messages)

SCALE	EASY TO USE	HELP IN PRONUNCIATION	MORE CONFIDENCE	EXPRESS EMOTION	IMPROVE GRAMMAR	TOTAL
EXTREMELY POOR	0	0	0	0	0	0
POOR	1	0	0	0	0	1
NEITHER POOR NOR GOOD	1	1	1	1	3	7
GOOD	3	5	5	1	6	20
EXTREMELY GOOD	3	4	1	0	9	17
TOTAL	8	10	7	2	18	45

Table 2

Cross-tabulation count of respondents' perceptions (short videos)

SCALE	EASY TO USE	HELP IN PRONUNCIATION	MORE CONFIDENCE	EXPRESS EMOTION	IMPROVE GRAMMAR	TOTAL
EXTREMELY POOR	0	0	0	0	1	1
POOR	2	0	0	0	0	2
NEITHER POOR NOR GOOD	1	0	1	1	0	3
GOOD	4	4	6	0	8	22
EXTREMELY GOOD	1	6	0	1	9	17
TOTAL	8	10	7	2	18	45

The Pearson Chi-Square value was calculated to determine if there was a significant difference among the perceptions. It was found that there is no statistically significant association between the participant's perception of the use of voice message and short videos and their responses about the use of voice messages as a tool to improve communication skills. This lack of association is shown in Table 3 since the P-value of 0.551 is more significant than 0.05 (95% confidence level).

Table 3

Chi-Square test

	VALUE	DF	ASYMPTOTIC SIGNIFICANCE (2-SIDED)
PEARSON CHI-SQUARE	10.738 ^a	12	.551
LIKELIHOOD RATIO	9.912	12	.624
LINEAR-BY-LINEAR ASSOCIATION	.505	1	.477
N OF VALID CASES	45		

a. 18 cells (90.0%) have an expected count of less than 5. The minimum expected count is .04.

The same test was run with the second set of data. It was found that there is a statistically significant association between people's perception of the use of voice messages and short videos and their responses about the use of short videos as a tool to improve their communication skills. This association is seen in Table 4, where the P-value of 0.027 is less than 0.05 (95% confidence level).

Table 4

Chi-Square test

	VALUE	DF	ASYMPTOTIC SIGNIFICANCE (2-SIDED)
PEARSON CHI-SQUARE	28.519 ^a	16	.027
LIKELIHOOD RATIO	28.285	16	.029
LINEAR-BY-LINEAR ASSOCIATION	1.599	1	.206
N OF VALID CASES	45		

a. 23 cells (92.0%) have an expected count of less than 5. The minimum expected count is .04.

The semi-structured interview with each participant was thought to inquire if they liked introducing the WhatsApp application using voice messages and short videos during classroom activities to enhance their communicative skill. An opening question was followed by the second question to make participants state their reasons why they would like to use it and why not. The last question aimed to know their points of view on the uses of both voice messages and short videos through the WhatsApp application. Table 5 lists the responses from participants as follows:

Table 5

Responses to semi-structured interviews

QUESTIONS	RESPONSES (n=45)
Participants who would like the use of voice messages through WhatsApp during learning activities.	All participants said yes to this question.
Participants who would not like the use of voice messages through WhatsApp during learning activities.	None.
Participants' reasons for the use of voice messages.	-It makes it possible to be confident when talking. -It is possible to repeat sentences and delete them until accuracy is achieved because we can speak well. -It makes it possible to express emotion.
Participants who would like the use of short videos through WhatsApp during learning activities.	All participants said yes to this question.
Participants who would not like the use of short videos through WhatsApp during learning activities.	None.
Participants' reasons for the use of short videos.	-It helps to improve grammar skills. -It helps to learn more expressions in English. -It helps to improve pronunciation.
Participants' perceptions about the uses of voice messages and short videos.	-It is easy to use. -It is funny. -It makes us learn personally. -To understand different accents.

During this study, the improvement in students' Grammar was observed, for example, in the voice messages. This improvement is reflected in the observation notes' good use of grammatical structures. Mistakes in the use of possessive pronouns were reduced. For example, three participants were aware of the difference between 'your' and 'their.' Participants were engaged in self-discovery and self-correction. The following quote of one of the participants depicts this, "I went to the house and see, sorry saw my brother watching the movie...." (SS1)

In the above-directed quote, the participant made a mistake in the second verb, using the verb in simple form instead of the verb in simple past, and he quickly corrected it. Therefore, this behavior was noted as self-discovery errors and self-corrected.

It was also found that students' motivation increased, as noticed in the SS2 continuous question *Teacher! Can I speak about the short videos?* The energy and the drive-in in most of the participants who wanted to present their findings of short videos on the WhatsApp application reflected their attempts to copy expressions and use them in the classroom.

Their teamwork and excellent cooperation during participants' preparation for both presentations and sending of voice messages were found in the field notes as cooperation and not competition. Also, their expressions of laughter, interjections, and the use of adjectives to describe their voice messages and short videos in the English language, allowed to observe this.

Finally, despite having some mistakes in their voice messages and short videos, participants were able to have more confidence and speak with few or no errors for more than three minutes. Short videos appealed more to them since they were given a chance to select their short movies and send them to the WhatsApp group for all to watch before presentations. Participants were able to include some funny videos that were sometimes relevant to their topics. Funny videos made them feel relaxed after a good laugh, as noticed in one of the participants' comments, "Teacher! I remember to speak about it because it is very funny" (SS3).

Conclusions

This study aimed to investigate the effectiveness of English voice messages and short videos using the WhatsApp application to improve communication skills. The improvement in the use of the WhatsApp application was more noticeable in short videos than voice messages. Similarly, the improvement was more related to Grammar and pronunciation.

Lack of communication skills is one of the problems students face when learning English as a second language. Therefore, finding a solution to this problem is significant. Most students in this study look forward to expressing themselves in L2. According to Kovac & Mrcic (2017) learners' attitudes towards speaking a second language increase their self-confidence, which is related to the student's behavior. Hence, a positive impact for students is increased self-confidence during and after using the WhatsApp application. It may be argued that the opportunity to repeat and listen to individual voices both inside and outside the classroom increased confidence in using the language. The results show that most of the participants agree that using voice messages and short videos on WhatsApp would improve their Grammar and pronunciation in their oral communication skills. Based on the field notes, we also noticed an increase in their confidence when speaking English.

In addition, the WhatsApp application created a social bond between students as they listened to and watched videos individually or collectively to react and speak in the classroom.

The use of the WhatsApp application has provided neurological value. This finding means that learners can use their brains to think patiently and critically about what is happening in their heads before deciding to send a voice message or watch a short video. As a result, students could focus on finding specific words, paragraphs, and sentences while listening to and watching short English videos through the WhatsApp application.

As argued, the WhatsApp application allows students to create interest and value when they focus on their learning activities (Stepp, 2002). Language teachers need to be creative about incorporating WhatsApp into their lesson plans to avoid the underuse of social networks in the educational sector and the power of social media for learning purposes (Prichard, 2013; Ko, 2019). Also, in this study, some students sent good voice messages and short videos to the WhatsApp group that were not relevant to a particular topic and were too long. Consequently, it is recommended that voice messages and short videos from WhatsApp should not be too long so that students do not miss the purpose of learning English.

There were no significant limitations that could affect the results of this study. The researchers planned to make sure that all limitations were under control. We mention minor ones that were dealt with during the study. For example, there are reported cases of shy students, students who wanted to choose the short videos, and some who did not follow the given instructions. Students were timid to speak out during the first activities on sending voice messages to the WhatsApp group of the class. It was complicated to understand the main idea of their discussion due to their low voice. Some gave excuses for using bad earphones, while some complained about noisy environments. However, there was an improvement after that.

Moreover, students wanted to choose the videos they liked, not according to the learning objectives. It was also discovered that students often got carried away by wanting to continue watching even after the allocated time lapsed. Some students wanted to use their earphones covered with their hands to pretend they were paying attention in the class while still looking at the screens of their phones. Some students had to repeat their activities because they refused to send their short videos and voice messages within the allocated time assigned by the researcher. All efforts were made to make sure that participants followed instructions so that the results of this study were valid and reliable.

The result of this study would be helpful to both language teachers and learners on the use of WhatsApp application in the classroom to help enhance their oral communication skills, which corroborates other studies (Minalla, 2018). The uses could be extended to the university and other English language institutes in Ecuador. Language teachers could make a proposal to universities and language institutes about the significance of the internet in teaching and learning environments for learners to use WhatsApp in their different classrooms. The increase in the usage of cell phones has given young learners the benefits of using educational applications to learn and do more academic activities without necessarily being in the classroom. The advantages of eLearning are overwhelming in academic cycles. Learners may choose their concentration instantly using tablets and other electronic devices (Main-smith, n.d.). This trend will advocate the acceptance of mobile phones in the classroom since they could be essential learning tools.

Further research could be done on other social applications like Instagram, Facebook, Telegram, Twitter, QQ, WeChat, and QZone. Using those tools in the EFL classroom is sought to improve oral communication skills and the understanding of complex topics in language teaching. Creativity in using technology in the classroom is always recommended for teaching EFL.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Centro de Educación Continua of the Escuela Politécnica Nacional and its students who participated in this study.

References

- Alina, M., Lopes, C., Sancha, P., Científico, T., & Ingleses, E. (2007). *Communicative EFL Assessment in Cape Verde Perceptions, Constraints and Suggestions for Effective Testing Tools Communicative EFL Assessment in Cape Verde Perceptions, Constraints and Suggestions for Effective Testing Tools*.
- Altiner, C. (2018). Teaching of Focus Structures in English. *Journal of Education and Training Studies*, 6(11a), 69. <https://doi.org/10.11114/jets.v6i11a.3802>
- CES (Consejo de Educación Superior). (2019). Reglamento de Régimen Académico Consejo Educación Superior. Lexis Finder, 051, 51 reglamento-de-regimen- academico-2015.pdf
- Council of Europe. (2001). *Common European Framework of Reference for Languages: learning, teaching, assessment*. Cambridge University Press.
- Jung, M.-Y. (2013). Videoconferencing Improves Students' Language Learning in the EFL Classroom. *TESOL Journal*, 4(4), 743–751. <https://doi.org/10.1002/tesj.112>
- Ko, M. H. (2019). Students' reactions to using smartphones and social media for vocabulary feedback. *Computer Assisted Language Learning*, 32(8), 920–944. <https://doi.org/10.1080/09588221.2018.1541360>
- Kovac, M. M., & Mrcic, A. (2017). Students' Attitudes towards Foreign Languages. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 7(2), 124. <https://doi.org/10.5539/jedp.v7n2p124>
- Kurkimbayeva, A. M., Akhatova, B. A., Gumovskaya, G. N., Kotenyatkina, I. B., & Khuziakhmetov, A. N. (2020). Communicative strategies in modern linguistics (On the material of English travel blogs). *XLinguae*, 13(2), 33–49. <https://doi.org/10.18355/XL.2020.13.02.03>
- Main-smith, J. (n.d.). *Cell-Phone Addiction*.
- Minalla, A. A. (2018). The Effect of WhatsApp Chat Group in Enhancing EFL Learners' Verbal Interaction outside Classroom Contexts. *English Language Teaching*, 11(3), 1. <https://doi.org/10.5539/elt.v11n3p1>
- Namaziandost, E. (2019). *The Impact of Social Media on EFL Learners' Speaking Skill: A Survey Study Involving EFL Teachers and Students*. 6(3), 199–215.
- Prichard, C. (2013). Using Social Networking Sites as a Platform for Second Language Instruction. *TESOL Journal*, 4(4), 752–758. <https://doi.org/10.1002/tesj.113>
- Siegel, J. (2013). Innovation in Language Learning and Teaching Second language learners' perceptions of listening strategy instruction. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 7(April), 37–41. <https://doi.org/10.1080/17501229.2011.653110>
- Stepp, J. G. (2002). Student Perceptions on Language Learning in a Technological Environment: Implications for The New Millennium. *Language Learning and Technology*, 6(January), 165–180. <http://lt.msu.edu/vol6num1/steppgreany/>
- Tuan, L. T., & Nhu, N. T. K. (2010). Theoretical Review on Oral Interaction in EFL Classrooms. *Studies in Literature and Language*, 1(4), 29–48. <https://doi.org/10.3968/1415>

Sección especial:
**Logística y Administración
de Cadenas de Suministro -
Innovación, Diseño y
Estrategia**





Modelo de optimización para el problema de localización y ruteo vehicular en la distribución de ayuda humanitaria

A location-routing optimization model for distribution of humanitarian relief

Daniela Rivas Pastor¹ <https://orcid.org/0000-0001-5525-5375>,
Evelyn Olarte Cedeño¹ <https://orcid.org/0000-0002-2137-9895>, Erwin Delgado Bravo^{1, 2}
<https://orcid.org/0000-0001-5933-4839>, Xavier Cabezas García¹ <https://orcid.org/0000-0003-3128-001X>, Carlos
Martín Barreiro¹ <https://orcid.org/0000-0002-8797-681X>

¹*Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Guayaquil, Ecuador*
drivas@espol.edu.ec, eolarte@espol.edu.ec,
joxacabe@espol.edu.ec, cmmartin@espol.edu.ec

²*Escuela Superior Politécnica del Litoral, Centro Internacional del Pacífico para la Reducción del Riesgo de Desastres, Guayaquil, Ecuador*
edelgado@espol.edu.ec

Enviado: 2022/03/13

Aceptado: 2022/05/09

Publicado: 2022/06/30

Resumen

La respuesta efectiva a las crisis humanitarias y emergencias originadas por desastres de diversa índole representa una tarea desafiante. Los aspectos logísticos inherentes a la planeación y ejecución de acciones de respuesta se orientan a minimizar los costos y las pérdidas humanas de una forma eficaz. En este estudio, se propone un modelo matemático que apoye la toma de decisiones de las organizaciones involucradas en brindar apoyo ante un evento emergente. Esa asistencia variada puede ir desde sugerir la ubicación de centros de transferencia temporales; la distribución de recursos a través de rutas secundarias desde los centros hacia las zonas afectadas por el desastre, y reducir el riesgo de que se entreguen en forma tardía. El aspecto innovador de este trabajo es que se incorpora en la función objetivo una medida que cuantifica monetariamente el tiempo en que una persona vulnerable se encuentra privada de un recurso, es decir, la diferencia de tiempo entre el momento en que la persona recibe la ayuda y el momento en que esta demanda es generada. Finalmente, se aplica

Sumario: Introducción, Descripción del problema, Revisión de literatura, Modelo matemático para el problema de localización y ruteo de asistencia humanitaria, Aplicación en caso de estudio y Conclusiones.

Como citar: Rivas, D., Olarte, E., Delgado, E., Cabezas, X. & Martín, C. (2022). Modelo de optimización para el problema de localización y ruteo vehicular en la distribución de ayuda humanitaria. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 166-180. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/890>

el modelo propuesto en una instancia derivada de los efectos causados por el terremoto en Ecuador en 2016.

Palabras clave: Localización, Ruteo Vehicular, Emergencia Humanitaria, Gestión de Riesgo.

Abstract

Responding effectively to humanitarian crises and emergencies caused by disasters of various kinds is a challenging task. The logistical aspects inherent to the planning and execution of response actions are oriented to effectively minimize costs and human losses. This study proposes a mathematical model to support the decision-making of the organizations involved in providing support to an emergency event. Such varied assistance can include suggesting the location of temporary transfer centers, distributing resources through secondary routes from the centers to the areas affected by the disaster, and reducing the risk of late delivery. The innovative aspect of this work incorporates a measure that quantifies, in a monetary manner, the time in which a vulnerable person is deprived of a resource (time between the generation of aid demand and the aid reception). Finally, the proposed model is applied in an instance derived from the effects caused by the earthquake in Ecuador in 2016.

Keywords: Location, Vehicle Routing, Humanitarian Emergency, Risk Management.

Introducción

A pesar de múltiples esfuerzos adoptados por diversos países para enfrentar situaciones de emergencias, los desastres naturales como terremotos, inundaciones, deslaves, erupciones volcánicas, entre otros, siguen siendo un asunto de preocupación por las posibles pérdidas humanas y económicas. Cada año, diversos eventos de emergencia ocurren en lugares e instantes inesperados, lo que sobrepasa en algunas ocasiones el pronóstico del impacto de estos sucesos.

El impacto de una emergencia se mitiga por la pronta entrega de apoyo humanitario para los afectados a través de una red primaria y secundaria de distribución, en la cual se identifican, adicionalmente, puntos de aprovisionamiento y almacenaje. Sin embargo, a diferencia de otros sistemas de distribución, la gestión de la ayuda humanitaria podría incluir la apertura temporal de centros de acopio o de transferencia de recursos cerca de las zonas afectadas por algún desastre para atenderlos de una manera ágil, lo cual podría incidir en los costos del sistema. En efecto, el movimiento de recursos (humanos y materiales), puede alcanzar hasta el 80% de los costos de alguna operación de socorro (Clark & Culkin, 2013), lo que se constituye en un factor vital a ser tomado en cuenta por el tomador de decisiones.

Múltiples estudios dirigidos a proporcionar un marco de referencia, basados en modelos de optimización para la toma de decisiones, se han desarrollado para abordar el problema de distribución de ayuda humanitaria en situaciones de emergencias; cada una de ellas incluyendo diversas características operacionales propias del evento, algunas se abordarán en el presente estudio.

El presente trabajo sigue la siguiente estructura: en la sección 2 se realiza una descripción del problema abordado, en la sección 3 se presenta una breve revisión de investigaciones relacionadas con el problema, en la sección 4 se explica el modelo propuesto para el problema descrito en la sección 2. En la sección 5 se muestra un ejemplo numérico de la implementación del modelo, considerando una instancia generada a partir de los efectos

causados por el terremoto en Ecuador en abril del 2016. Finalmente, en la última sección, se plantean las conclusiones, así como algunas futuras contribuciones.

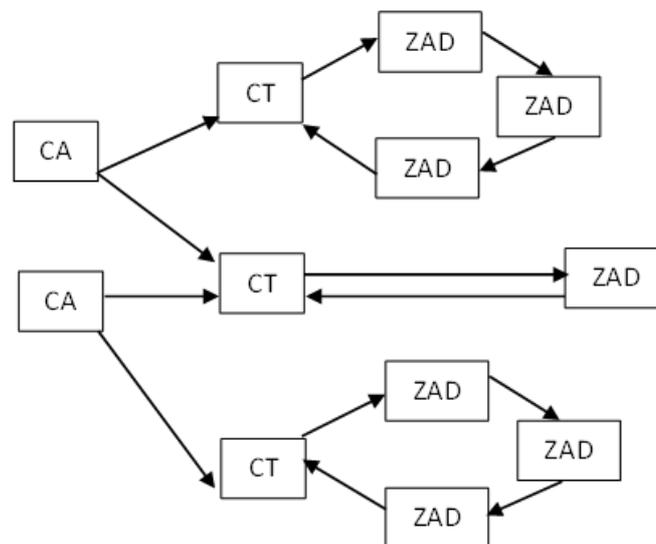
Descripción del problema

La estructura del sistema de distribución de ayuda humanitaria que se ha adoptado en este estudio sigue la línea de investigación propuesta por Khayal et al., (2015), la cual consiste en un conjunto de centros de aprovisionamiento (CA) desde donde se abastecen a todas las zonas afectadas por una posible situación de emergencia que derive en algún desastre humanitario o económico (ZAD) a través de un conjunto de centros temporales de transferencia (CT) (Figura 1). Es precisamente en estos centros de transferencia, donde se realizan diversas actividades logísticas, por ejemplo, recepción de carga, ordenamiento, empaquetamiento, etc.; por lo que, la selección y ubicación de estos deben cumplir ciertas condiciones que garanticen su operatividad como, por ejemplo, alta conectividad vial, accesibilidad de vehículos pesados, acceso a servicios básicos, etc.

Generalmente, el movimiento de bienes entre los centros de aprovisionamiento y los centros temporales de transferencia toma un tiempo en ejecutarse debido al manejo de la carga, el traslado a través de la red vial, entre otras actividades logísticas. En este estudio, se ha adoptado que la logística de distribución de los recursos desde los CA hasta los CTs se ejecuta en un periodo de tiempo, es decir, recursos que se deciden enviar en un instante desde un centro de aprovisionamiento tardan un periodo en llegar a los centros de transferencia.

Figura 1

Estructura de una cadena de distribución de ayuda humanitaria



Luego de que los centros temporales disponen de los recursos demandados por personas vulnerables en las zonas afectadas, desde cada uno de estos centros empiezan y terminan diversos circuitos, que son atendidos por un vehículo que pertenece a una flota homogénea.

Bajo este escenario, en cada uno de los t periodos que pertenecen a un horizonte de planificación T se tiene que la demanda de las ZADs, y la cantidad de recursos disponibles en los CAs son conocidos, pero su número podría variar en el tiempo debido al reabastecimiento de los recursos en cada periodo y en cada CA. Por otra parte, en un periodo dado podría suceder que la demanda de recursos es mayor a la oferta disponible, por lo que, se requiere atender la

demanda no satisfecha en periodos posteriores, incurriendo con ello en un costo de penalización (dependiente del tiempo en que se entrega el faltante) por privar de asistencia humanitaria a personas vulnerables ante un desastre.

En el contexto de asistencia humanitaria emergente, los requerimientos de recursos pueden variar en el tiempo, por lo tanto, la apertura de un centro de transferencia será dinámico para responder rápidamente ante estos cambios. Asimismo, debería permitir el almacenamiento temporal de recursos para atender futuras entregas, considerando la capacidad de estos.

Revisión de literatura

A lo largo de la literatura se observa que diversas estrategias han sido adoptadas para mitigar los efectos que un eventual desastre pudiere causar en una población. Algunas de estas estrategias están enfocadas en la formulación de modelos matemáticos para diversos problemas generados en las etapas de preparación (antes), por ejemplo, localización de centros de atención inmediata y modelos de evacuación; o en la etapa de respuesta (después) del evento de emergencia tales como localización de centros temporales de transferencia de ayuda humanitaria, distribución de ayuda a personas vulnerables o transferencia de heridos (Hezam & Nayeem, 2021). Esta sección se enfoca en la revisión de trabajos previos enfocados en atender una emergencia de forma reactiva, debido a la naturaleza del problema previamente descrito.

Luego de un desastre, uno de los problemas a enfrentar inmediatamente es la entrega de asistencia humanitaria (kits alimenticios) a las personas en estado de vulnerabilidad. Diversas decisiones deben ser adoptadas por el ente gubernamental que gestiona la dotación de estos recursos, así, por ejemplo: dónde localizar los puntos de abastecimiento o de transferencia de los recursos, cómo se entregarán los bienes requeridos y cuándo se deberá hacer dicha entrega. En lo referente a la localización de instalaciones que apoyan el proceso logístico de entrega de la asistencia humanitaria, se aplican los clásicos enfoques para resolver este problema de optimización: modelos de máxima cobertura, p-median o el problema de cubrimientos de conjuntos (Hezam & Nayeem, 2021).

Múltiples autores utilizan diversos enfoques para apoyar la toma de decisiones en el proceso de distribución de los recursos, algunos de ellos con el objetivo de minimizar los costos logísticos de esta acción (Horner & Downs, 2010; Rabta et al., 2018), u optimizar los tiempos de respuesta por la emergencia (Campbell et al., 2008). Otros autores abordan la distribución de recursos enfocada en minimizar la cantidad de demanda no satisfecha (Afshar & Haghani, 2012; Al Theeb & Murray, 2017; Yi & Kumar, 2007), incorporando en la función objetivo un costo de penalización por demanda insatisfecha. Al Theeb & Murray, (2017) define este costo de penalización como fijo para cada tipo de recurso a ser entregado. Sin embargo, en logística humanitaria el costo de penalización por la privación de algún recurso, definido como el valor económico del sufrimiento humano por la falta de acceso de un bien o servicio (Holguín-Veras et al., 2013), es dependiente de la diferencia de tiempo entre el momento en que la demanda del recurso es requerida y el momento en que la demanda es satisfecha, así como la edad, género y otras condiciones socioeconómicas del destinatario de la ayuda (Holguín-Veras et al., 2013).

Khayal et al. (2015) incorpora implícitamente estos costos de penalización en la función objetivo por demanda no satisfecha en un modelo de optimización, el cual está enfocado en localizar un conjunto de centros temporales de transferencia de recursos y de asignación de los recursos desde el centro de transferencia, sin considerar el ruteo vehicular desde el centro de transferencia a las zonas afectadas por un eventual desastre. Por otro lado, Wang et al. (2014)

aborda el problema de localización de instalaciones y ruteo de vehículos de manera integral en un modelo de optimización multiobjetivo que evalúa tiempos de recorrido, confiabilidad de las rutas y costos logísticos sin incorporar penalización por demanda no satisfecha. Finalmente, Afshar & Haghani (2012) integran los problemas de localización y distribución pretendiendo minimizar la demanda no satisfecha, ponderando de acuerdo con la necesidad del bien, siendo este parámetro definido de antemano, no garantizando el cumplimiento de toda la demanda requerida en el horizonte de planificación.

Modelo matemático para el problema de localización y ruteo de asistencia humanitaria

Para definir el modelo de optimización para el problema descrito en la sección 3, en la Tabla 1 se detallan los parámetros y las variables de decisión considerados en la formulación del modelo:

Tabla 1

Notación, parámetros y variables considerados en el modelo de optimización

Índices	
o	Centros de aprovisionamiento de recursos.
i, i'	Zonas afectadas por el evento de desastre.
j, j'	Centros de transferencia de recursos.
n, n'	Centros de transferencia o zonas afectadas por el evento de desastre.
k	Tipos de recursos.
t, l	Periodos.
Conjuntos	
O	Conjunto de centros de aprovisionamientos.
I	Conjuntos de zonas afectadas por el evento de desastre.
J	Conjunto de potenciales centros temporales de transferencia de recursos.
$U = I \cup J$	Conjunto de zonas afectadas centros temporales.
K	Conjunto de recursos
T	Conjunto de periodos en el horizonte de planificación
Parámetros	
Q	Capacidad de los vehículos disponibles en los potenciales centros de transferencia.
e_k	Espacio requerido para almacenar una unidad del recurso $k \in K$
g_{ok}^t	Abastecimiento del recurso $k \in K$ en el centro de aprovisionamiento $o \in O$ en el periodo $t \in T$
D_{jk}	Demanda del recurso $k \in K$ en la zona afectada $j \in J$ inmediatamente luego del evento del desastre
c_j	Capacidad máxima del potencial centro de transferencia $j \in J$.
cf_j	Costo fijo por la operación temporal del centro de transferencia $j \in J$.
cp_{ik}^{tl}	Costo de penalización por privar a la zona afectada por el desastre $i \in I$ de poseer una unidad del recurso $k \in K$ en el periodo $t \in T$ y que es satisfecha en el periodo $l \in T$.

Variabes

y_j^t	Variable binaria que toma el valor de 1 cuando el centro temporal de transferencia $j \in J$ está operando en el periodo $t \in T$, 0 en caso contrario.
x_{ij}^t	Variable binaria que toma el valor de 1 cuando la zona afectada por el desastre $i \in I$ es asignado al centro temporal de transferencia $j \in J$ en el periodo $t \in T$, 0 en caso contrario.
$u_{n'n_j}^t$	Variable binaria que toma el valor de 1 cuando el arco que conecta los nodos $n' \in U$ y $n \in U$ pertenece a una ruta generada en el centro temporal de transferencia $j \in J$ en el periodo $t \in T$ en la solución óptima, 0 en caso contrario.
r_{ojk}^t	Cantidad por enviar del recurso $k \in K$ en el periodo $t \in T$ desde el centro de aprovisionamiento $o \in O$ hasta el centro de transferencia $j \in J$.
s_{ok}^t	Nivel de inventario del recurso $k \in K$ a inicios del periodo $t \in T$ en el centro de aprovisionamiento $o \in O$.
p_{jk}^t	Nivel de inventario del recurso $k \in K$ al final del periodo $t \in T$ en el centro de transferencia $j \in J$.
z_{jik}^t	Cantidad por enviar del recurso $k \in K$ en el periodo $t \in T$ desde el centro de transferencia $j \in J$ hasta la zona afectada por el desastre $i \in I$.
w_{jil}^{tk}	Cantidad por enviar del recurso $k \in K$ en el periodo $t \in T$ desde el centro de transferencia $j \in J$ hasta la zona afectada por el desastre $i \in I$ para satisfacer demanda no satisfecha en el periodo $l \in T$.
d_{ik}^l	Demanda de la zona afectada por el desastre $i \in I$ del recurso $k \in K$ en el periodo $t \in T$.
v_{ji}^t	Cantidad total por entregar desde el centro de transferencia $j \in J$ hasta la zona afectada por el desastre $i \in I$ en el periodo $l \in T$.
q_{ij}^t	Carga que lleva el vehículo al salir de la zona $i \in I$ en el periodo $t \in T$ en la ruta generada en el centro de transferencia $j \in J$.

Con base en la notación descrita, un modelo de optimización para el problema abordado en la sección 3 es como sigue:

La ecuación (1) representa la función objetivo a minimizar, la cual comprende los costos logísticos de distribución de la ayuda humanitaria (primera y segunda componente de la ecuación), los costos de penalización por la privación de los recursos a las personas vulnerables ante la emergencia (tercera componente) y los costos derivados por la instalación de los centros temporales de transferencia (cuarta componente).

$$\begin{aligned} \min FO = & \sum_{t \in T} \sum_{o \in O} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} ct_{oj} r_{ojk}^t + \sum_{t \in T} \sum_{n \in U} \sum_{j \in J} \sum_{n' \in U} ct_{n'n} u_{n'n_j}^t \\ & + \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left(\sum_{l: l < t} cp_{ik}^{tl} w_{jik}^{tl} \right) + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} cf_j y_j^t \end{aligned} \quad (1)$$

El siguiente conjunto de restricciones permite asignar una zona con personas vulnerables con algún centro de transferencia que aporte en satisfacer su demanda, siempre que este centro esté operativo.

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^t \leq |I| y_j^t, \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (2)$$

Las siguientes restricciones garantizan la conservación de los flujos de cada tipo de recurso a ser entregado a las personas vulnerables, tanto en los centros de aprovisionamiento (3) como en los potenciales centros de transferencia (4). En efecto, la primer componente de la parte izquierda de la ecuación (3) representa el nivel de inventario a inicio de un periodo, mientras que la segunda componente representa el abastecimiento al centro del recurso analizado, por lo que, la suma de estas componentes representa la cantidad total disponible a inicios de un periodo, y este valor debe ser igual a la suma de la cantidad a entregar a todos los potenciales centros de transferencia (primera componente de la parte derecha de la ecuación (3)) y el inventario inicial en el periodo consecutivo (segunda componente).

Asimismo, la parte izquierda de la ecuación (4) representa la cantidad disponible de un recurso en algún periodo. A diferencia de la ecuación (3), el abastecimiento de los centros de transferencia proviene de los centros de aprovisionamiento que envían los recursos en el periodo anterior. La cantidad total a la izquierda de la ecuación (4) es igual a la suma de los recursos entregados a tiempo (primera componente a la derecha de la ecuación (4)) y los recursos que satisfacen demandas no cumplidas en periodos anteriores (segunda componente) a las zonas afectadas por el desastre, así como lo que queda en almacenamiento al final del periodo analizado (tercera componente).

$$s_{ok}^t + g_{ok}^t = \sum_{j \in J} r_{ojk}^t + s_{ok}^{t+1}, \quad \forall k \in K, \forall o \in O, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{o \in O} r_{ojk}^{t-1} + p_{jk}^{t-1} = \sum_{i \in I} z_{jik}^t + \sum_{l \in T: l < t} w_{jil}^{tl} + p_{jk}^t, \quad \forall t \in T: t > 1, \forall k \in K, \forall j \in J \quad (4)$$

El siguiente conjunto de restricciones garantiza que la capacidad de cada centro de transferencia no supere la capacidad del centro de transferencia. La inclusión de la variable binaria y_j^t , permite además que, si el centro de transferencia no opera en un periodo dado ($y_j^t = 0$), nada se envíe desde el centro de aprovisionamiento en el periodo anterior ($r_{ojk}^{t-1} = 0$) y que el inventario al final del periodo sea nulo ($p_{jk}^t = 0$).

$$\sum_{k \in K} \sum_{o \in O} e_k r_{ojk}^{t-1} + \sum_{k \in K} e_k p_{jk}^t \leq c_j y_j^t, \quad \forall j \in J, \forall t \in T: t > 1 \quad (5)$$

Las siguientes restricciones permiten el envío de recursos a una zona afectada desde un centro de aprovisionamiento solo cuando la asignación entre ellas es admitida en algún periodo ($x_{ij}^t=1$), siendo M un número grande que haga que la relación sea redundante cuando esto ocurra.

$$\sum_{k \in K} z_{jik}^t + \sum_{k \in K} \sum_{l \in T: l < t} w_{jil}^{tl} \leq M x_{ij}^t, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (6)$$

Las siguientes relaciones posibilitan, en primer lugar, calcular la demanda y el instante a partir del cual puede ser entregado el segundo kit de asistencia humanitaria (7), mientras que la ecuación (8) garantiza el cumplimiento en la entrega de la demanda de recursos.

$$d_{ik}^{t+L} = \sum_{j \in J} z_{jik}^t + \sum_{j \in J} \sum_{l \in T: l < t} w_{jik}^{tl}, \quad \forall i \in I, \forall t \in T: t \leq L \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} z_{jik}^l + \sum_{t \in T: t > l} w_{jik}^{lt} = d_{ik}^l, \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall l \in T \quad (8)$$

El conjunto de restricciones, presentado a continuación, garantiza que, si en un periodo dado no se encuentra operativo un centro de transferencia, entonces el inventario al final del periodo anterior de ese centro de transferencia debe ser cero.

$$p_{jk}^t \leq c_j y_j^{t+1}, \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T: t < |T| \quad (9)$$

La ecuación (10) calcula, en cada periodo, la cantidad de recursos asignado desde cada centro de transferencia a cada zona afectada por algún desastre.

$$v_{ji}^t = \sum_{k \in K} z_{jik}^t + \sum_{l \in T: l < t} w_{jik}^{tl}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (10)$$

Las siguientes ecuaciones garantizan que, si una zona afectada por el desastre no está asignada, en un periodo, a un centro de transferencia ($x_{ij}^t = 0$), entonces aquella zona no pertenecerá a alguna ruta generada desde el centro de transferencia.

$$\sum_{n: n \neq i} u_{nij}^t = x_{ij}^t, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{n: n \neq i} u_{in j}^t = x_{ij}^t, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (12)$$

Los conjuntos de restricciones (13) y (14) facultan relacionar las variables de carga transportada en los vehículos entre dos zonas afectadas por algún desastre. En efecto, suponiendo que $u_{i'i'j}^t = 1$, es decir, la sección de la ruta generada en el centro de transferencia j se ejecuta entre las zonas consecutivas i y i' en el periodo t , entonces la cantidad la parte derecha de la restricción (13) se reduce a $q_{ij}^t + v_{ji'}^t \leq q_{i'j}^t$ lo que indica que la carga al salir de la zona i' debe ser obligatoriamente al menos el valor de $q_{ij}^t + v_{ji'}^t$. En caso contrario ($u_{i'i'j}^t = 0$), la restricción (13) es redundante (siempre que M sea lo suficientemente grande).

$$q_{ij}^t + v_{ji'}^t - q_{i'j}^t \leq M(1 - u_{i'i'j}^t), \quad \forall j \in J, \forall i, i' \in I, \forall t \in T \quad (13)$$

$$-q_{ij}^t + v_{ji}^t \leq M(1 - u_{jij}^t), \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (14)$$

La restricción (15) garantiza que la capacidad de los vehículos no sea excedida.

$$q_{ij}^t \leq Q, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (15)$$

Finalmente, el dominio de las variables de decisión se establece a partir del siguiente conjunto de restricciones:

$$s_{ok}^t, r_{ojk}^t, q_{ij}^t, v_{ji}^t, p_{jk}^t, w_{jik}^{tl}, z_{jik}^t, d_{ik}^t \geq 0, \\ s_{ok}^t, r_{ojk}^t, q_{ij}^t, v_{ji}^t, p_{jk}^t, w_{jik}^{tl}, z_{jik}^t, d_{ik}^t \in \mathbb{Z} \quad (16)$$

$$\forall j \in J, \forall i \in I, \forall o \in O, \forall k \in K, \forall t, l \in T \\ x_{ij}^t, u_{nn'}^t, y_j^t \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall t \in T, \forall n, n' \in U, \quad (17)$$

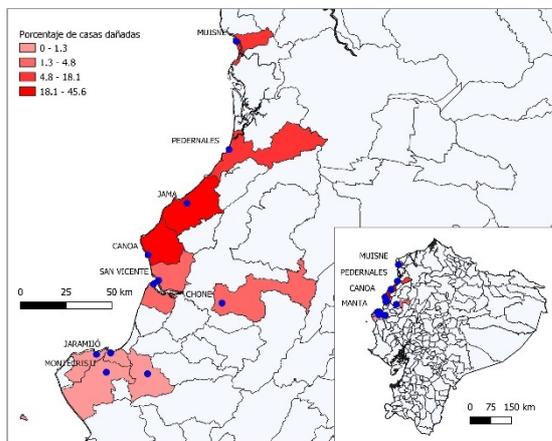
Aplicación en caso de estudio

Por la naturaleza reactiva del problema abordado, uno de los supuestos adoptados en la formulación del modelo propuesto es que el impacto del desastre natural (deslave, inundación, sequía entre otros) es conocido de antemano. La magnitud del impacto del desastre sin duda depende de la naturaleza de este, ya sea en la accesibilidad a las zonas afectadas o el número de personas a asistir debido al evento emergente. Por ello, el enfoque propuesto en esta investigación para la distribución eficiente de recursos puede ser aplicado en diversos escenarios donde se requiera asistir con ayuda humanitaria, a personas en estado de vulnerabilidad por la ocurrencia de algún desastre natural sin importar la naturaleza de este.

Uno de estos, cuyos efectos se ha documentado y es objeto de aplicación del modelo presentado, es el terremoto que sacudió Ecuador el 16 de abril de 2016 que provocó cuantiosas pérdidas humanas, así como destrucción en infraestructura vial y edificaciones, especialmente, en cabeceras cantonales ubicadas en la Costa norte y centro de Ecuador (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022) En la Figura 2 se muestran algunas de las cabeceras cantonales (representadas por un círculo azul) con mayor índice de afectación en infraestructura, medido como la razón entre el número de edificaciones destruidas y el número de edificaciones registradas. Como se puede observar, Pedernales y Jama fueron las cabeceras cantonales con mayor índice de perjuicio en comparación con las zonas restantes, en estas cabeceras cantonales algunas manzanas fueron destruidas casi en su totalidad como, por ejemplo, en Pedernales (Figura 3).

Figura 2

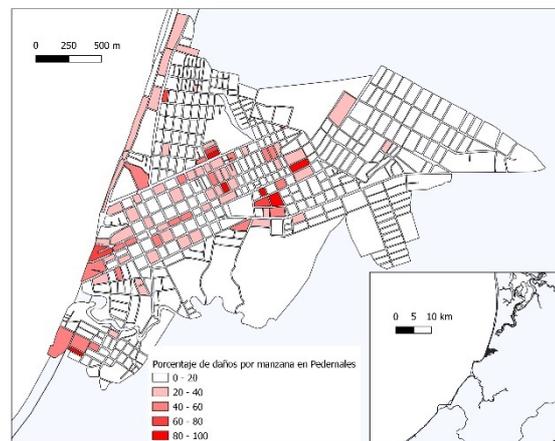
Cabeceras cantonales con mayor incidencia de afectación por terremoto en Pedernales



Fuente Metadatos:
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/sismo-2016/>

Figura 3

Porcentaje de edificios destruidos por manzanas en Pedernales por terremoto.

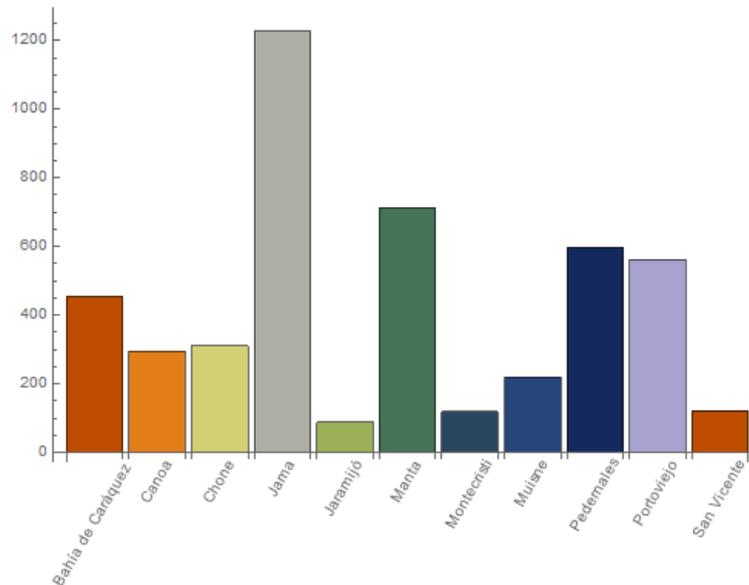


Fuente Metadatos:
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/sismo-2016/>

Una revisión del número de edificaciones destruidas por el terremoto muestra que Jama tuvo una mayor afectación en comparación con las otras cabeceras cantonales (Figura 4). Bajo el supuesto que cada edificación sirve de hogar para un grupo familiar y tomando como referencia 3.78 el tamaño promedio de cada hogar en Ecuador en el periodo 2011-2012 (INEC, 2012) se tiene que, aproximadamente, 19000 personas estuvieron en situación de vulnerabilidad por el evento sísmico en las regiones analizadas.

Figura 4

Número de edificaciones destruidas en cabeceras cantonales



Fuente Metadatos: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/sismo-2016/>

Ante la magnitud del evento sísmico, múltiples entidades públicas y privadas se activaron con el objeto de brindar asistencia humanitaria a los damnificados. El Gobierno Nacional, a través de la anterior Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (ahora Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias), emitió una guía para la distribución de ayuda humanitaria (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo, 2011), la cual consistió en la entrega quincenal de máximo dos kits alimenticios a un grupo familiar de 4 personas; además, kits de limpieza, hogar y cocina para albergues con capacidad de 50 personas.

A pesar de que la normativa establece 15 días como la diferencia en tiempo de las entregas de cada kit alimenticios a cada familia, en el presente estudio se ha considerado que la diferencia en tiempo de las entregas de cada kit alimenticios a cada familia es 7, para que la ejecución del modelo sea manejable en tiempos computacionales, pues esta investigación no abarca el análisis de centros temporales de acogida, sino la distribución de los kits alimenticios a familias de cada edificación destruida. Adicionalmente, en la guía se establecen especificaciones en cuanto al ancho y largo de los kits, siendo estos 60 cm y 80 cm, cada uno de ellos con un peso de aproximadamente 22 kg. En este análisis se ha asumido una altura de 20 cm, por lo que almacenar un kit alimenticio consume 0.096 metros cúbicos de espacio físico.

Por otra parte, dada la naturaleza del recurso a ser suministrado a las personas en estado de vulnerabilidad, se define como función de costos de penalización a $cp(\Delta t) = e^{1.5031+0.1172 \Delta t} - e^{1.5031}$, siendo Δt el tiempo de desfase desde el momento en que la demanda es requerida y el momento en que es entregada, la cual fue adoptada por Holguín-Veras et al. (2013) para cuantificar el valor monetario que las personas están dispuestas a pagar por obtener agua. En lo referente a la flota de vehículos que se encargarían de transportar los

kits desde los centros temporales de transferencias hasta las zonas afectadas por el evento sísmico, se ha considerado que la misma es homogénea con un peso máximo de carga de 22 toneladas, lo que permitirá transportar un máximo de 1000 kits en cada uno de los vehículos.

En lo referente a los centros de aprovisionamiento, se ha seleccionado las ciudades de Quito y Guayaquil (cuadrados rojos en la Figura 5) por su alta conectividad hacia diversas regiones del país con diferentes modos de transporte, así como por la concentración en estas regiones de múltiples actividades económicas. Generalmente, los entes encargados de la distribución de asistencia humanitaria poseen en inventario un número de kits que les permite atender a personas en condición de vulnerabilidad a la brevedad posible. Sin embargo, si el inventario disponible es menor a lo demandado, se requiere que estos centros se reabastezcan. Bajo este escenario, se ha adoptado que cada centro de aprovisionamiento se reabastezca de forma dinámica conforme la Figura 6. Por otra parte, para el presente estudio se han escogido como potenciales instalaciones temporales de transferencias las ciudades de Pedernales, Chone y Portoviejo (rombo turquesa en la Figura 5).

Figura 5

Localización de Centros de Aprovisionamiento y Potenciales Centros de Transferencias

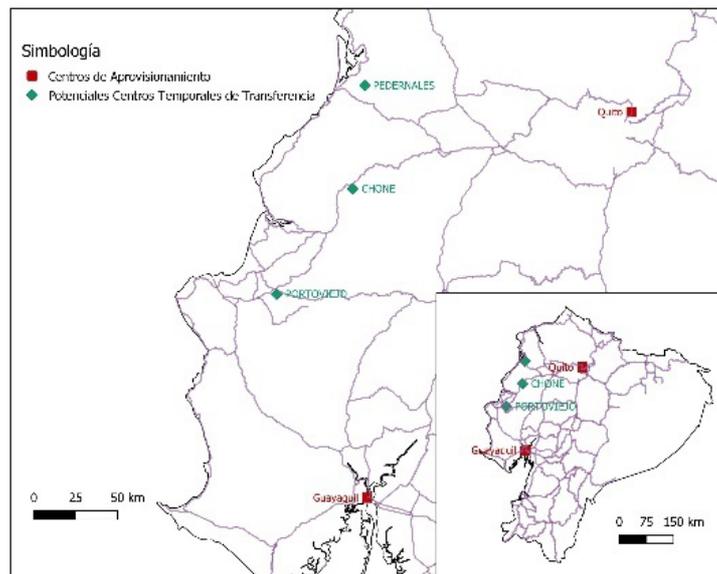
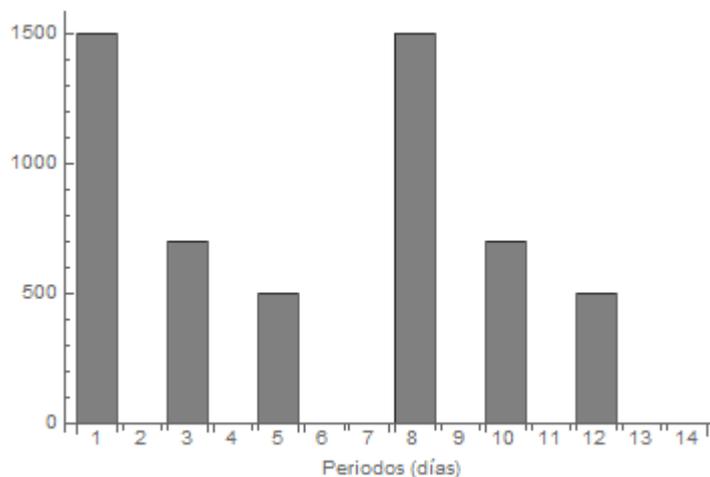


Figura 6

Suministro temporal de kits alimenticios en los centros de aprovisionamiento

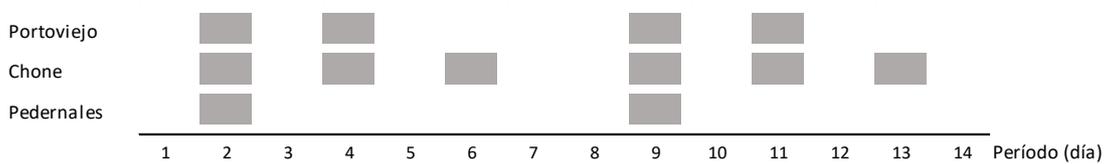


Finalmente, para esta investigación se requiere el cálculo de la distancia recorrida por los vehículos entre los centros de aprovisionamiento y las instalaciones temporales de transferencia, a través de la red vial nacional. Por ello, a partir de la red de carreteras de Ecuador, se aplicó el algoritmo de la distancia más corta entre un par de puntos, el cual se encuentra implementado en el paquete de Análisis de Redes del QGIS3.

El modelo propuesto en la sección 4 fue implementado en GAMS 24.0.2 y ejecutado con la instancia derivada del terremoto en el año 2016, utilizando CPLEX en una PC Intel Core i7-9700 CPU 3 GHz con 8 procesadores definiendo el valor de 12 horas como el tiempo máximo de ejecución del algoritmo. Los resultados muestran, con un GAP=6.4%, que en las tres ciudades (Portoviejo, Chone y Pedernales) se deberá instalar un centro de transferencia de kits alimenticios durante los días (periodos) que se muestran en la Figura 7. Por ejemplo, en Pedernales se deberá ubicar un centro sólo en los periodos 2 y 9. Asimismo, en el periodo 2, deberían operar los tres centros temporales de transferencia.

Figura 7

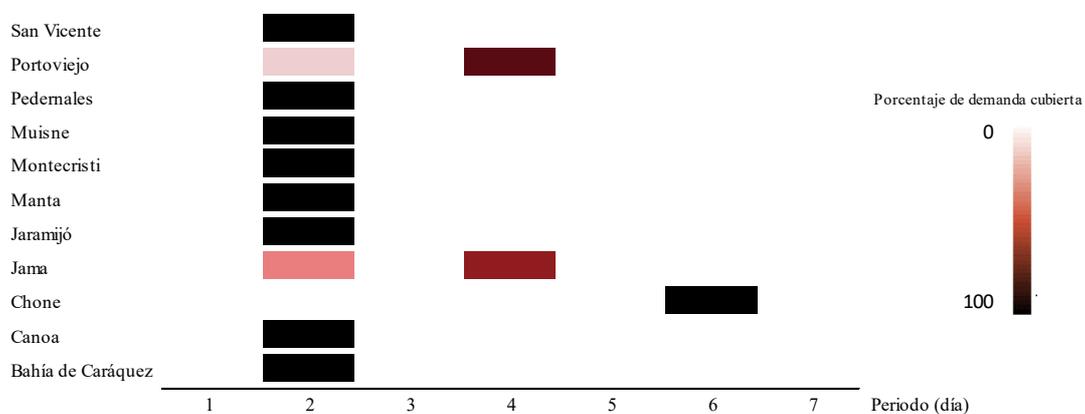
Periodos de operación de centros temporales de transferencia de kits alimenticios



La Figura 8 muestra la planificación de la distribución del primer kit alimenticio que se entregará a las personas con vulnerabilidad, domiciliados en las zonas afectadas. Aquí se muestra también que, en todas las ciudades, con excepción de Jama y Portoviejo, se entrega la demanda requerida en solo una visita, mientras que en ciudades como Portoviejo se tendrá que realizar la entrega en dos envíos, siendo el porcentaje de entrega en el primer envío mucho menor que el realizado en la segunda entrega. Como se puede observar, durante el primer periodo es imposible realizar entrega a las zonas afectadas, ya que el tiempo de aprovisionamiento desde los centros de aprovisionamiento hasta los centros de transferencias es de 1 día, por lo que el recurso requerido se encuentra en camino durante el primer periodo (día).

Figura 8

Planificación de la distribución del primer kit alimenticio a ser entregado en las zonas afectadas



En relación con la distribución de los kits alimenticios, en cada periodo, la planificación de las rutas no solo depende de la demanda requerida por las zonas afectadas, sino también de la ubicación de los centros temporales de transferencia. Así, en el periodo 2 (segundo día de entrega de los recursos), el día anterior se despachan los recursos desde Quito hasta los centros de transferencia ubicado en Chone y Pedernales, y desde Guayaquil a Portoviejo y Chone, es decir ambos centros de aprovisionamiento abastecen al centro temporal ubicado en Chone.

Posteriormente, desde el centro de transferencia ubicado en Pedernales se distribuyen los recursos a Jama, Pedernales y Muisne en ese orden de visita (línea violeta en la Figura 9), desde Chone a las zonas Jama, Canoa, Bahía de Caráquez y San Vicente (línea naranja en la Figura 9), mientras que desde Portoviejo se distribuyen los kits alimenticios a las poblados de Jaramijó, Manta, Montecristi y Portoviejo (línea azul en la Figura 9). En contraste, en el periodo 4 (cuarto día de entrega de los recursos), se generan dos rutas: la primera partiendo desde Chone hasta Jama y la segunda desde Portoviejo para abastecimiento de la misma región. (Figura 10).

Figura 9

Rutas de distribución de kits alimenticios en el segundo periodo (día)

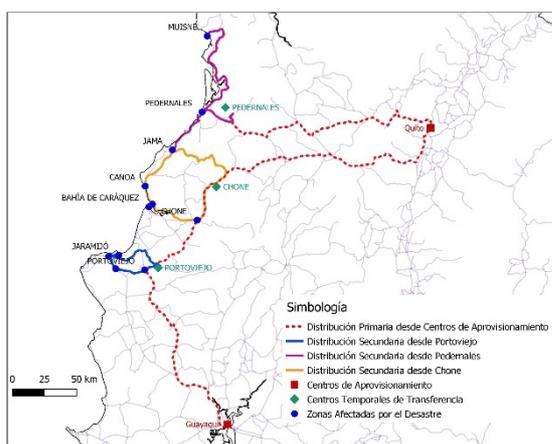
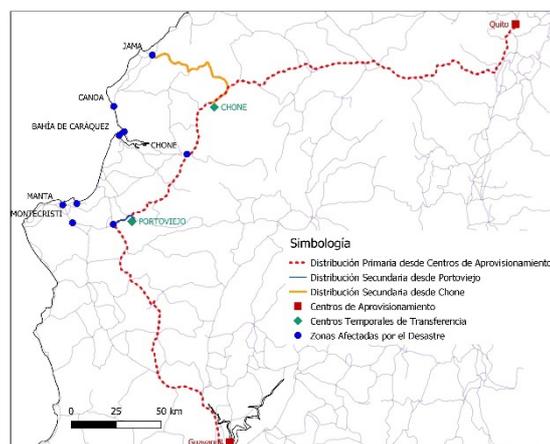


Figura 10

Ruta de distribución de kits alimenticios en el cuarto periodo (día)



Conclusiones

En este trabajo, se propone un modelo de optimización para tomar decisiones sobre la ubicación dinámica de centros de transferencia de ayuda humanitaria y la forma en que los recursos son entregados a personas vulnerables ante una emergencia. La flexibilidad en su formulación, específicamente en los parámetros determinísticos incorporados, permite adoptarlo en diversos tipos de desastres naturales (deslaves, inundaciones, terremotos entre otros). Sin embargo, la naturaleza del evento emergente puede incidir en la confiabilidad de la red de transporte o en la caracterización de la demanda.

Adicionalmente, con base en el análisis del caso de estudio, se pone en evidencia que la ubicación temporal de los centros es vital en problemas referentes a ayuda humanitaria por la dinámica de la demanda requerida. No obstante, los tiempos de repuesta podrían mejorarse si el enfoque de asistencia humanitaria es proactivo y no reactivo, mediante la evaluación de la posibilidad de instalar centros de transferencia permanentes en zonas propensas a ser afectadas por un eventual desastre. Bajo estos escenarios, se hace viable extender el estudio del problema abordado a modelos de optimización robustos o estocásticos que tome en cuenta lo expuesto anteriormente.

Un aspecto por destacar en la formulación del objetivo del modelo propuesto es que la misma integra costos logísticos en la distribución de recursos (componentes 1,2 y 4 de la función objetivo) y costos sociales por la no entrega de recursos en la cantidad requerida y el momento adecuado (componente 3 de la función objetivo). Estos últimos costos representan la valoración monetaria por la privación de recursos vitales a las personas vulnerables. Una incorrecta calibración de los parámetros que definen esta función de costo podría sesgar los resultados obtenidos, priorizando la disminución de los costos logísticos. Por ello, futuros estudios enfocados en un modelo biobjetivo pueden ser una estrategia válida en el abordaje del problema planteado. Finalmente, se ha incorporado costos de penalización por la entrega tardía de algún recurso a la población vulnerable. Bajo este contexto, otras dimensiones podrían ser analizadas en futuros trabajos que incluyan alguna componente de prioridad, a través de ponderaciones adecuadas, por edad o grado de afectación.

Referencias

- Afshar, A., & Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 327–338. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2011.12.003>
- Al Theeb, N., & Murray, C. (2017). Vehicle routing and resource distribution in postdisaster humanitarian relief operations. *International Transactions in Operational Research*, 24(6), 1253–1284. <https://doi.org/10.1111/ITOR.12308>
- Campbell, A. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127–145. <https://doi.org/10.1287/TRSC.1070.0209>
- Clark, A., & Culkin, B. (2013). A network transshipment model for planning humanitarian relief operations after a natural disaster. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(1), 233–257.
- Hezam, I., & Nayeem, M. (2021). A Systematic Literature Review on Mathematical Models of Humanitarian Logistics. *Symmetry*, 13(1).
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262–280. <https://doi.org/10.1016/J.JOM.2013.06.002>
- Horner, M. W., & Downs, J. A. (2010). Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: Model development and application with respect to planning strategies. *Disasters*, 34(3), 821–844. <https://doi.org/10.1111/J.1467-7717.2010.01171.X> ok
- INEC. (2012). *Resumen Metodológico y Principales Resultados: Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos*.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Litoral. (2022). Informes y Noticias. Disponible en: <https://www.igepon.edu.ec/eq20160416-informes-noticias>
- Khayal, D., Pradhananga, R., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response. *Socio-Economic Planning Sciences*, 52, 22–30. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2015.09.002>
- Rabta, B., Wankmüller, C., & Reiner, G. (2018). A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 107–112. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2018.02.020>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo. (2011). *Normativa para Aplicación de Estándares de Ayuda Humanitaria en Emergencias para Alimentos, Cocina, Hogar y Limpieza*.
- Wang, H., Du, L., & Ma, S. (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake. *Transportation Research Part E: Logistics and*

Transportation Review, 69, 160–179. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2014.06.006>

Yi, W., & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660–672. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2006.05.004>

Diseño de políticas de inventario para una institución pública utilizando modelos de simulación

Design of inventory policies for a public institution using simulation models

Rafael Andrade-Cedeño¹ <https://orcid.org/0000-0002-8531-9605>,
Bianka Cabanilla-Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0001-8358-2816>, Jorge Abad-Morán¹
<https://orcid.org/0000-0002-7089-0526>

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador
randrad@espol.edu.ec, bbcabani@espol.edu.ec,
jabad@espol.edu.ec

Enviado: 2021/05/03

Aceptado: 2022/06/21

Publicado: 2022/06/30

Resumen

En la gestión de la cadena de suministro es importante desarrollar políticas de inventario que sean capaces de satisfacer demandas altamente volátiles y al mismo tiempo mantener la inversión requerida en inventario al mínimo posible. La presente investigación tiene como objetivo comparar distintos sistemas de administración de inventario, y seleccionar el más conveniente para una bodega de suministros de una institución pública. Se considera no solamente productos con demandas altamente volátiles, sino también las restricciones estatales en los procesos de compras públicas. Se proponen tres opciones diferentes de políticas de inventario basadas en amortiguadores e inventario objetivos con diferentes métodos para calcular la cantidad a pedir. Las tres opciones se simulan por medio de Flexsim, se las compara con los resultados del sistema actual y se determina la mejor opción utilizando los indicadores de inventario promedio, días de inventario y nivel de rompimiento de inventario (stockout). Se determina que las tres opciones presentan mejor desempeño que la situación actual, sin embargo, la mejor opción es la tercera, que pide el valor máximo entre la diferencia del inventario objetivo con el inventario actual, y la suma de los tres consumos anteriores. Adicionalmente se realiza un análisis de sensibilidad considerando un aumento en la variabilidad de la demanda y del lead-time, con lo cual se pudo evidenciar la respuesta de estos modelos ante los nuevos escenarios propuestos.

Palabras clave: Simulación, bodegas, buffers, desabasto, inventario objetivo, compras.

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Andrade-Cedeño, R., Cabanilla-Sánchez, B. & Abad-Morán, J. (2022). Diseño de políticas de inventario para una institución pública utilizando modelos de simulación. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 181-195. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/930>

Abstract

In supply chain management, it is essential to develop inventory policies capable of meeting highly volatile demands while keeping the required investment in inventory to a minimum. This research aims to compare different inventory management systems and select the most convenient for a public institution warehouse. Consideration is given to products with highly volatile demands and government restrictions in public procurement processes. Three different inventory policy options based on buffers and target inventory are proposed with different methods for calculating the order quantity. The three options are simulated using Flexsim and compared with the current system's results. The best option is determined using the indicators of average inventory, inventory days, and stockout. It is determined that the three options perform better than the current situation. However, the best option is third one, which asks for the maximum value between the difference between the target inventory and the current inventory and the sum of the three previous consumptions. Additionally, a sensitivity analysis was performed considering an increase in the variability of the demand and lead-time, with which the response of these models to the new proposed scenarios could be evidenced.

Keywords: Simulation, warehouses, buffers, stockout, inventory targets, purchases.

Introducción

Mirando en retrospectiva, las organizaciones han tratado de encontrar una solución óptima para la administración de los inventarios al menos en los últimos 100 años, y hasta la actualidad se han desarrollado métodos numéricos, enfoques analíticos, técnicas de programación dinámica y optimización a fin de minimizar los costos y maximizar el nivel de servicio de la organización (Jackson, Tolujevs & Kegenbekov, 2020).

Las cadenas de suministro han despertado el interés de los investigadores en seguir desarrollando soluciones que impacten positivamente el desempeño financiero de las organizaciones, más aún sabiendo que el inventario en bodega es uno de los recursos esenciales del día a día de las operaciones (Dosdoğru, Asli, & Göçken et al, 2020). Aunque la problemática de la administración de inventarios siempre cae en el desafío de determinar el tamaño del lote y la frecuencia de pedido, cada contexto de cadena de suministro tiene sus propias particularidades y restricciones. (Jackson, Tolujevs & Kegenbekov, 2020).

Dentro del contexto del sector público, la mecánica de las cadenas de suministro no es muy distinta a la del sector privado. La gestión de inventario es un punto determinante en el manejo estratégico de los recursos institucionales, debido a que busca reducir al mínimo posible la inversión financiera requerida para inventario, como también maximizar la disponibilidad de existencias en el momento justo (Macías-Aguayo, Abad-Morán & Barragán-Robles, 2019).

Independientemente del destino del inventario, éstos requieren un gasto de capital que aumenta la necesidad de financiación. Los costos de inventario incluyen no solo las cantidades necesarias para producirlo, sino también las cantidades relacionados con el costo de calidad, deterioro, daño y obsolescencia (Muller, 2003). Por ende, es importante implementar metodologías de administración de inventarios que logren minimizar la cantidad de inventario en bodega y el agotamiento (stockout) al mismo tiempo.

Un sistema de administración de inventario deficiente con respecto al nivel de rotación de inventario y nivel de servicio conlleva a ineficiencias operativas y financieras para la empresa. Las ineficiencias operativas ocurren en la bodega y en las áreas donde realizan las requisiciones debido a que estas no pueden seguir con sus actividades cotidianas por la falta de

insumos necesarios. Las ineficiencias de carácter financiero ocurren debido a la caótica forma en que se realizan los pedidos de abastecimiento y una mala administración del inventario, el cual resulta en un incremento considerable de las existencias, incurriendo en costos de mantenimiento de inventario mayores a lo esperado.

Este último aspecto de ineficiencias es muy común en cualquier sistema de administración de inventarios. Un estudio realizado por el Consejo de Profesionales de la Gestión de Cadenas de Suministros de EE.UU determinó que los costos de mantenimiento de inventario pasaron de 386 billones de dólares en el año 2000 a 427 billones de dólares en el año 2015 (Kearney, 2016), esta situación corresponde a que muchas de las organizaciones implementan un sistema de administración de inventarios de forma empírica sin considerar un riguroso análisis teórico acorde a la complejidad de la demanda de sus productos.

La gestión de inventario se basa en 3 decisiones que forman parte de las políticas de inventario (Silver, Pyke & Thomas, 2016):

1. Decisión de volumen: Sugiere la cantidad a pedir cuando se revisan los niveles de inventario.
2. Decisión de tiempo: Define la frecuencia con la que se va a realizar la revisión del nivel del inventario.
3. Decisión de control: Verifica el adecuado desempeño de las políticas de inventario implementadas, es decir, las decisiones de volumen y tiempo.

Las políticas tradicionales de inventario se basan en un sistema de revisión periódica o en un sistema de revisión de punto fijo de re-orden, los cuales trabajan con lotes económicos, costos de pedido, costos de mantenimiento de inventario, inventario mínimo e inventario máximo (Chopra & Meindl, 2007).

El tipo de política de inventario tiene un efecto significativo en la variabilidad de las cantidades de los pedidos y los niveles de inventario en las diversas etapas de una cadena de suministro. Una alta variabilidad en la demanda motiva altos niveles de existencias de seguridad y hace que costos de inventario elevados sean inevitables. La capacidad de responder ágilmente a la variabilidad de la demanda o del tiempo de reposición es un factor clave que determina el desempeño de las cadenas de suministro y, por lo tanto, es importante analizar el efecto de las políticas de inventario en los pedidos y en el inventario (Hoberg, Bradley & Thonemann, 2007).

Los niveles de existencias y los plazos de entrega se determinan con el fin de minimizar el stockout y la cantidad de inventario obsoleto en cada punto de almacenamiento o venta (Beamon, 1998). En este sentido, es clave un sistema de administración de inventario robusto que sea capaz de responder a la variabilidad de la demanda y tiempos de reposición con la menor cantidad de inventario posible.

Los sistemas de abastecimiento actuales giran en torno a dos modalidades principalmente, las que son bajo pronóstico “push” y las que son bajo demanda “pull” (Robert, 2016). Los sistemas de inventario basados en pronósticos asumen que la demanda sigue una distribución de probabilidad conocida y analítica, pero en la realidad eso rara vez sucede, por lo cual el pronóstico siempre será errado (Prak, Teunter & Syntetos, 2017).

Un sistema de suministro guiado por la demanda, o tipo “pull”, es capaz de responder ágilmente a una demanda impredecible en un ambiente de productos muy variados, manteniendo un inventario de existencias mínimo (Robert, 2016).

Las metodologías modernas guiadas por la demanda, tales como Lean, TOC o Demand Driven se basan en definir “Buffers” o “Targets de inventario” que se ajustan de manera automática a lo largo del tiempo y establecen la cantidad adecuada de inventario que se debe tener en una bodega para satisfacer la demanda del cliente, mientras se espera la llegada del reaprovisionamiento en respuesta al pedido generado por el sistema de administración de inventario de la empresa (Ihme & Stratton, 2015).

Realizar pedidos de acuerdo con un punto fijo de re-orden por cada ítem de inventario, significaría que se puede pedir todos los días, lo que ocasionaría un incremento en la carga de trabajo administrativo de la dirección de adquisición y suministro. Por otro lado, realizar pedidos por medio del método de revisión periódica significaría trabajar con inventario máximo, que tendría un impacto en el incremento de la cantidad de inventario necesario para satisfacer la demanda y no garantiza una reducción en los niveles de stockout (Macías-Aguayo, Abad-Morán & Barragán-Robles, 2019).

Una herramienta muy potente para el diseño, implementación y evaluación de mejoras en cualquier sistema, incluyendo los sistemas de administración de inventarios es la simulación de eventos discretos. La simulación es la representación virtual de un proceso real que mediante una computadora se realizan los cálculos correspondientes y se obtienen resultados de manera numéricamente sencilla, por lo tanto, es una herramienta válida para evaluar distintos escenarios. Las simulaciones permiten verificar la confiabilidad de los modelos de manera muy flexible y se constituyen en una herramienta útil para el diseño de varios sistemas físicos, incluyendo los sistemas de inventario (Dubois, 2018).

Tradicionalmente, el ciclo de vida de un modelo de simulación consiste en su creación acorde al sistema real, se corren los modelos de simulación, se valida que los resultados del modelo correspondan al sistema real, se realizan los ajustes de mejora respectivos sobre el modelo, se obtienen nuevos datos en el modelo mejorado y dependiendo de los resultados se realizan los cambios respectivos al sistema real para lograr el objetivo de mejora (Nordgren, 2002).

La presente investigación tiene como objetivo comparar distintos modelos de administración de inventarios en la bodega de insumos de aseo y oficina de una institución pública, a través de la simulación de eventos discretos, para lograr disminuir el nivel de existencias, y a la vez pueda alcanzar un buen nivel de servicio en los pedidos solicitados por las distintas unidades que conforman la institución, dentro de un ambiente de incertidumbre y complejidad.

Materiales y Métodos

Debido a la crisis sanitaria del COVID-19, los niveles de consumo e inventario por producto disminuyeron drásticamente en el año 2020, por lo cual, el período de análisis para el presente trabajo es desde el año 2018 hasta el año 2019.

La demanda de los ítems del año 2018 es utilizada para definir las políticas de inventario a ser implementadas en cada uno de los ítems, y la demanda de los ítems del año 2019 es utilizada para evaluar la efectividad de las políticas de inventario propuestas y seleccionar la más conveniente.

La metodología utilizada consiste en las siguientes fases:

- Fase 1: Identificación de los ítems de inventario de la bodega.
- Fase 2: Diagnóstico de la gestión actual del inventario.
- Fase 3: Definición de las políticas para la gestión del inventario.
- Fase 4: Implementación y comparación de modelos simulación para las políticas de inventario.

Fase 1: Identificación de los ítems de inventario de la bodega

Según los registros de movimiento de inventario desde el año 2004, existen 5,488 ítems de inventario. De estos ítems, existen 2 categorías principales:

Ítems de inventario bajo pedido. - Ítems requeridos por las diferentes unidades de la institución para satisfacer las necesidades de un evento en particular, (e.g: Simposios, ponencias, entre otros).

Ítems de inventario para consumo interno. - Ítems requeridos por las diferentes unidades de la institución para satisfacer su consumo regular para la prestación de servicios. Los ítems de inventario para consumo interno se clasifican en materiales de oficina y materiales de aseo.

Acorde a la Tabla 1, de los 5,488 ítems de inventario, 111 son ítems de inventario para consumo interno, representando el 2% del total de tipos de ítems. El 98% de los ítems son inventario bajo pedido. Los resultados de la Tabla 1 proviene de la base de datos de ítems que registraron algún consumo desde el año 2004 al año 2019.

Tabla 1

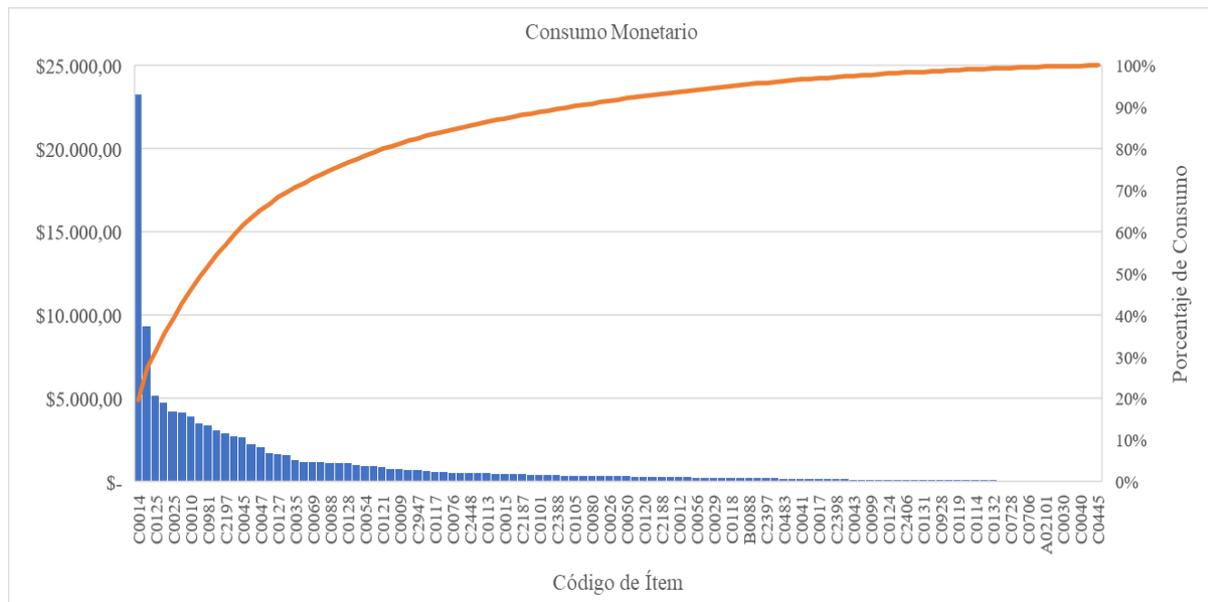
Segregación de Tipos de Ítems

TIPO DE ÍTEM	CANTIDAD	PORCENTAJE
Ítems de inventario para consumo interno	111	2%
Ítems de inventario bajo pedido	5,377	98%
Total de ítems registrados	5,488	100%

Para esta investigación, se seleccionan los ítems de inventario para consumo interno, debido a su misma naturaleza de mantener niveles mínimos de stock en bodega para satisfacer las necesidades de las distintas unidades de la institución.

Dado que existen 111 ítems de inventario para consumo interno, y los administradores de la bodega no pueden dar la misma cantidad de recursos para el control a todos los ítems por igual, se deben agrupar en categorías amplias según su importancia monetaria para dar una mejor perspectiva de control a la institución. Un método muy aceptado para lograr esto es la clasificación ABC por consumo monetario de productos, que consiste en multiplicar la demanda anual de cada producto por su costo unitario de adquisición.

La Figura 1 muestra la concentración del nivel de consumo monetario (consumo valorado en dólares) en cada ítem y la Tabla 2 muestran la clasificación ABC monetaria de los ítems de inventario para consumo interno.

Figura 1*Diagrama de Pareto del Consumo Monetario de Ítems***Tabla 2***Clasificación ABC Monetaria*

CATEGORÍA	CANTIDAD	PORCENTAJE DE TIPO DE ÍTEMS	PORCENTAJE DE CONSUMO MONETARIO
A	29	26%	80%
B	40	36%	15%
C	42	38%	5%
Total	111	100%	100%

Según la Tabla 2, de los 111 ítems en bodega con movimientos registrados hasta el año 2019, un total de 29 de estos ítems se catalogan como tipo A y representan el 80% del consumo monetario, 40 de estos están catalogados como ítems tipo B y representan el 15% del consumo monetario, mientras que los 42 restantes son catalogados como ítems tipo C y representan apenas el 5% del consumo monetario.

Fase 2: Diagnóstico de la gestión actual del inventario

La efectividad de las propuestas de gestión inventario se deben verificar después de su aplicación y su subsecuentemente comparación con los resultados de los indicadores definidos.

A fin de obtener los indicadores principales de los sistemas de inventarios propuestos, se definen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\sum \text{Inventario promedio de cada mes}}{\text{Cantidad total de meses}}$$

$$\text{Consumo anual} = \sum \text{Consumo de cada mes}$$

$$\text{Días de inventario} = \frac{\text{Inventario promedio} * 365}{\text{Consumo anual}}$$

$$\text{Nivel de stockout} = \frac{\text{Cantidad de veces que se generó stockout}}{\text{Número de stockouts que pudieron generarse}} * 100\%$$

Se utilizan los datos del año 2018 como línea base de referencia. En la Tabla 3 se muestra los niveles actuales de inventario promedio, consumo y días de inventario para los 29 ítems tipo A previamente identificados:

Tabla 3

Desempeño del Sistema Actual de Inventario para Ítems Tipo A

INDICADOR	VALOR
Inventario promedio	\$ 12,881
Consumo anual	\$ 48,582
Días de inventario	97

La institución pública donde se realiza esta investigación no registra el incumplimiento de los requerimientos de los ítems en bodega, por ende, no hay datos disponibles para el indicador stockout.

Fase 3: Definición de las políticas para la gestión del inventario

Una política para la gestión de inventario basada en un “Buffer” o “Target de inventario” se acopla a la realidad de la institución sin incurrir en costos operativos extras. Está enfocada a minimizar la cantidad de inventario existente y a la vez maximizar el nivel de servicio en los despachos. Existen 3 distintos escenarios definidos y aplicables como política de inventario, y mediante la evaluación de los indicadores definidos en cada opción, se puede seleccionar la mejor. Para el diseño de cada escenario, se definen 3 pasos:

Paso 1: Determinar el tamaño del buffer de cada ítem

El tamaño del buffer está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Buffer} = (\text{Demanda}) \times (\text{Lead Time}) \times (\text{Factor de seguridad})$$

La demanda corresponde a los consumos promedios mensuales de cada ítem, el lead-time (tiempo de reaprovisionamiento) es el tiempo promedio que toma reabastecer la bodega de un ítem específico, y el factor de seguridad es el stock adicional que se agrega al tamaño del buffer para amortiguar los cambios abruptos de la demanda. El valor del factor de seguridad será directamente proporcional al valor del coeficiente de variación (c.v) de la demanda de cada ítem.

La Tabla 4 muestra los valores que toma el factor de seguridad, en función del c.v.

Tabla 4

Valores del Factor de Seguridad por Rango

C.V mayor a	C.V menor o igual a	Factor de seguridad
0	0.20	1.2
0.20	0.40	1.4
0.40	0.60	1.6
0.60	0.80	1.8
0.80	-	2

Los valores del factor de seguridad mostrados en la Tabla 4 fueron determinados empíricamente con el equipo de investigación, con el fin de amortiguar la variabilidad de la demanda sin incrementar desmesuradamente los niveles de inventario.

A manera de ejemplo para calcular el tamaño de un buffer, se toma el ítem C0100 Jabón líquido, que tiene una demanda promedio mensual de 32 unidades y una desviación estándar de su demanda de 15 unidades, con lo cual se obtiene un c.v de 0.47, acorde a la Tabla 4 el factor de seguridad es de 1.6, y considerando un lead-time de 3 meses, el buffer quedaría definido por la fórmula:

$$\text{Buffer C0100 Jabón líquido} = 32 \times 3 \times 1.6 = 154 \text{ unidades.}$$

En el ejemplo expuesto, el tamaño del inventario objetivo o *buffer* del ítem C0100 Jabón líquido es de 154 unidades. Este *buffer* de inventario está diseñado para abastecer a la organización de dicho ítem por 3 meses, incluyendo la variabilidad implícita de su demanda, hasta que llegue un nuevo aprovisionamiento del ítem a bodega.

Paso 2: Determinar el periodo de revisión del inventario (¿cuándo pedir?)

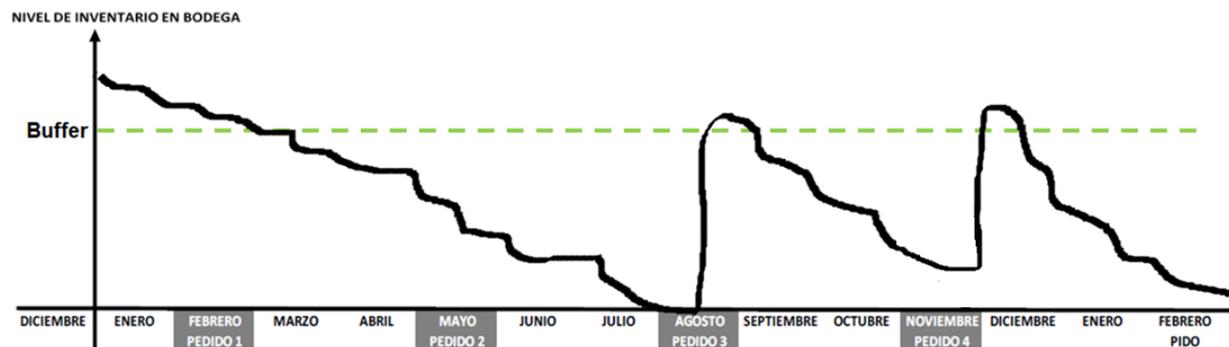
Dado que la institución pertenece al sector público, está sometida a regulaciones estatales sobre el proceso de compra de insumos, ocasionando las siguientes restricciones:

1. Hasta el mes de febrero de cada año el organismo de finanzas correspondiente realiza la transferencia del presupuesto anual aprobado, y con ello se puede retomar el proceso de compras para el resto del año.
2. Hasta noviembre de cada año, se puede utilizar el presupuesto anual, por ende, hasta ese mes se pueden realizar compras de insumos en la institución.

Adicionalmente, el tiempo que transcurre desde que se emite el pedido hasta que los productos llegan a la bodega es variable con un promedio aproximado de 3 meses. La Figura 2 muestra el esquema de pedido de abastecimiento a fin de cumplir con las restricciones estatales:

Figura 2

Esquema de Abastecimiento – Nivel de Inventario en Bodega vs Tiempo



Acorde a la Figura 2, dinámica que se ejecuta en cada mes hábil de pedido consiste en verificar los niveles de inventario de cada ítem, y si la cantidad de inventario del ítem en bodega es menor al tamaño de su respectivo buffer, se genera un pedido, caso contrario, no se genera el pedido. Los meses hábiles para pedidos son febrero, mayo, agosto y noviembre.

Paso 3: Determinar la cantidad a pedir (¿cuánto pedir?)

Existen 3 opciones de pedido que son las que determinan la diferencia entre las políticas de inventario propuestas.

Opción 1: Pedir la diferencia entre el inventario objetivo y el nivel de inventario actual. Por ejemplo, el inventario objetivo definido para el ítem C0100 Jabón líquido es de 154 unidades, y si en un mes hábil de pedido el inventario actual del ítem es de 96 unidades, el pedido sugerido será de 58 unidades.

Opción 2: Pedir la suma de los consumos de los 3 meses anteriores. Es decir, si el consumo del ítem C0100 Jabón líquido en los meses de agosto, septiembre y octubre fueron de 44, 67 y 41 unidades respectivamente, el pedido de noviembre será de 152 unidades.

Opción 3: Pedir el valor máximo entre la diferencia del inventario objetivo con el inventario actual, y la suma de los 3 consumos anteriores. Bajo esta opción, el pedido sugerido para el ítem C0100 Jabón líquido es el máximo entre las opciones 1 y 2, por ende, es 152 unidades.

Fase 4: Implementación y comparación de modelos simulación para las políticas de inventario

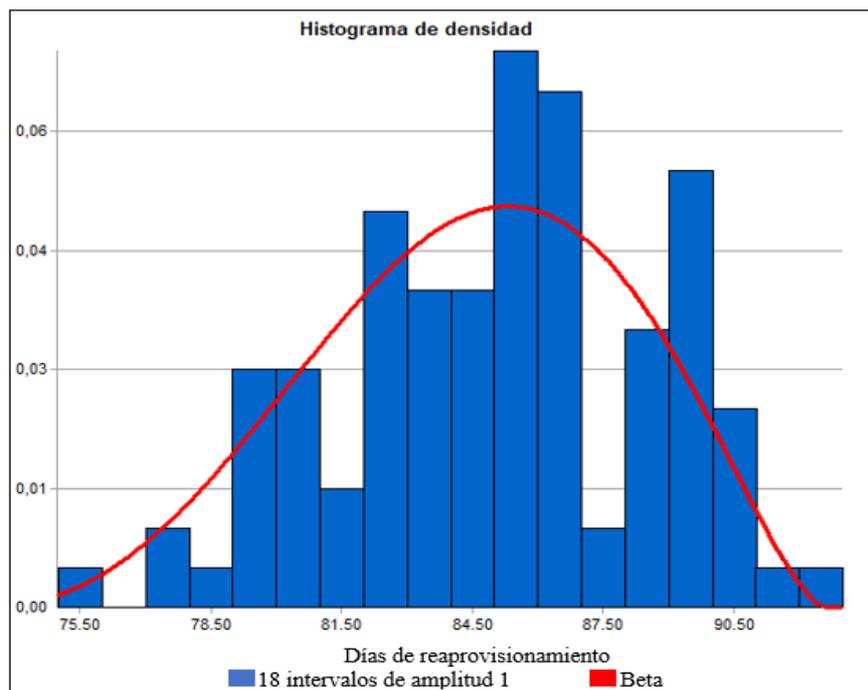
El software de simulación utilizado para los modelos propuestos es Flexsim, con el cual se puede modelar, visualizar, analizar y optimizar cualquier proceso de interés. El interfaz visual en 3D, permite apreciar claramente los comportamientos de los elementos que conforman el sistema simulado y a la vez modificar los modelos fácilmente con el fin de experimentar y encontrar al menos una solución factible.

Se desarrollan 3 modelos de simulación, uno por cada opción de política de inventario propuesta, y los parámetros más relevantes de cada modelo están descritos en la Tabla 5.

Tabla 5*Parámetros de los Modelos de Simulación*

Parámetro	Datos
Abastecimiento de ítems	Lead-time: Beta (73, 93, 3.8, 2.7)
Almacenamiento de ítems	-
Demanda de ítems	Mismos valores de los consumos del año 2019
Armado de pedidos de ítems	Tiempos de ciclo: 1 día
Despacho de pedidos de ítems	-

A continuación, se explica detalladamente cada uno de los parámetros mencionados en la Tabla 5. El abastecimiento de ítems representa la cantidad de producto solicitado y el tiempo de reaprovisionamiento. La cantidad solicitada a reaprovisionar estará en función de la política de inventario simulada, mientras que los datos del tiempo de reabastecimiento (*lead-time*) fueron extraídos en la base de datos de consumo del año 2018, con sus respectivas transacciones desde la generación del pedido hasta la recepción física de los productos en bodega. La Figura 3 fue obtenida de la herramienta *Experfit* de Flexsim y representa la distribución de probabilidad del lead-time de todos los pedidos de ítems.

Figura 3*Distribución de Tiempos de Reaprovisionamiento*

Tal como se observa en la Figura 3, y según lo indicado por el análisis de datos en *Experfit*, los valores del *lead-time* siguen una distribución beta con un mínimo de 73 días, un máximo de 93 días, parámetro de forma 1 de 3.8 y forma 2 de 2.7.

El almacenamiento de los ítems está representado por los “Buffers” del modelo, cuya capacidad de almacenamiento es lo suficientemente grande para no interrumpir las operaciones de abastecimiento y despacho.

La demanda generada en los modelos de simulación corresponde a los datos reales de la base de datos de consumo del año 2019 proporcionada por la institución, por ende, poseen la misma variabilidad de la demanda real. Las demandas o pedidos de productos se generan cada mes.

El armado de pedidos de ítems tiene como intención representar la consolidación física del pedido de productos a las distintas unidades de la institución, y se estableció un tiempo fijo de 1 día.

Finalmente, el despacho de pedidos de ítems representa la operación de despacho en sí, y después del mismo se obtiene el nivel de stockout.

Las variables de salida de los modelos de simulación son el inventario promedio valorado en dólares, el consumo anual para determinar los días de inventario y el nivel de stockout. El inventario promedio es el inventario ponderado en el tiempo que el modelo otorga para cada objeto de almacenamiento de ítems multiplicado por su respectivo precio de compra, el consumo anual corresponde a los pedidos despachados de todos los ítems por cada modelo, y el nivel de stockout se determina evaluando si el consumo en cada período de 3 meses es mayor o igual a la demanda generada en ese mismo período, en caso de no cumplirse dicha relación, se dice que en ese período hubo stockout o un rompimiento de inventario.

Debido a que la primera demanda mensual a despachar es la de febrero (por las restricciones del Estado mencionadas en el paso 2 de la fase 3), los modelos se simulan sobre un horizonte de tiempo de 11 meses.

Con el fin de conocer la robustez de los modelos propuestos frente a un eventual aumento en la variabilidad de los parámetros de demanda y lead-time, se incluye en el presente trabajo un análisis de sensibilidad considerando 2 escenarios:

Escenario 1

Demanda más variable y la misma distribución del lead-time. Se genera un nuevo conjunto de datos de consumo con una variabilidad mayor que la de los datos otorgados por la institución, esto conlleva a aplicar una transformada a los datos de consumo original mediante la forma:

$D_{ij} \times [1 + U(-0.30, 0.30)]$, donde D_{ij} es la demanda del ítem i en el mes j , y U es la distribución de probabilidad uniforme continua que oscila entre -0.30 y 0.30 . Esto implica un aumento o disminución para cada uno de los datos de demanda original que puede ir del 0% al 30% respecto a su valor original, logrando así aumentar la varianza en los datos de demanda mensual de cada ítem.

El esquema de transformación se ilustra en la Figura 4 para una muestra de datos.

Figura 4

Esquema de la Transformación de Datos de Demanda

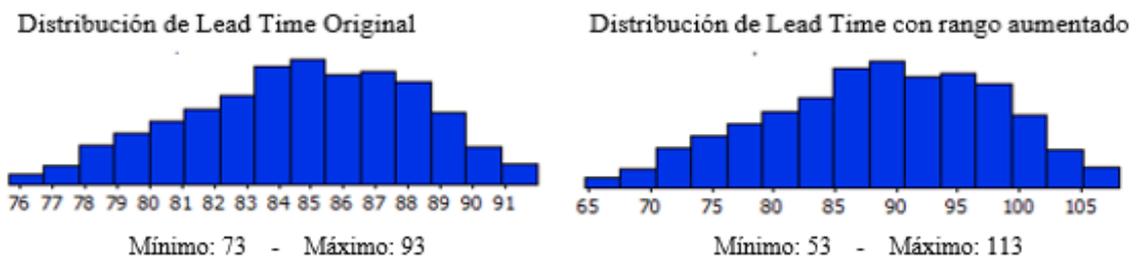
Datos originales				Datos con transformada		
<u>JUNIO</u>	<u>JULIO</u>	<u>AGOSTO</u>		<u>JUNIO</u>	<u>JULIO</u>	<u>AGOSTO</u>
455	401	446	$D_{ij} * [1 + U(-0.30, 0.30)]$ ➔	587	418	578
153	752	248		178	950	250
849	727	1189		628	592	1371
42	31	44		44	22	32
42	81	76		39	93	80

Escenario 2

Demanda original y distribución del lead-time con más variabilidad. Para el lead-time de los productos, se utiliza la misma distribución de probabilidad Beta, pero aplicando cambios a los valores de sus parámetros de mínimo y máximo, con el fin de incrementar la varianza de dicha distribución. La Figura 5 ilustra el cambio de valores de la distribución del lead-time.

Figura 5

Distribución de Probabilidad del Lead-Time original y alterada



Acorde a la Figura 5, la nueva distribución de probabilidad de lead-time posee un rango más amplio que la distribución original y, por ende, una varianza mayor.

Para efectos de simplicidad, en el análisis de escenarios solo se evalúa los indicadores de inventario promedio y stockout.

Resultados y Discusión

La Tabla 6 muestra los resultados de los indicadores de Inventario Promedio, Días de Inventario y Nivel de Stockout, del sistema actual de inventario (datos del año 2018) y los sistemas de inventario propuestos con los parámetros de demanda (datos del año 2019) y lead-time originales.

Tabla 6

Resultados de las Simulaciones – Demanda y Lead Time Originales

Sistema	Inventario promedio	Días de inventario	Nivel de Stockout
Sistema actual de inventario	\$ 12,881	97	No hay registros
Opción 1: Diferencia entre buffer e inventario actual	\$ 10,084	86	12%
Opción 2: Consumo de los 3 últimos meses	\$ 8,067	72	19%
Opción 3: Máximo entre opciones 1 y 2	\$ 10,795	91	8%

Como se observa en la Tabla 6, las propuestas de políticas de inventario basadas en inventario objetivo (opciones 1, 2 y 3) tienen mejores desempeños que el sistema actual con respecto a inventario promedio y días de inventario (rotación de inventario). La Tabla 7 muestra los porcentajes de reducción respecto al sistema actual de inventario.

Tabla 7

Porcentajes de Reducción respecto al Sistema de Actual de Inventario

Sistema	Inventario promedio	Días de inventario
Opción 1: Diferencia entre buffer e inventario actual	22%	12%
Opción 2: Consumo de los 3 últimos meses	37%	26%
Opción 3: Máximo entre opciones 1 y 2	16%	6%

Acorde a la Tabla 7, la opción 2 muestra la mayor reducción en los indicadores de inventario promedio y días de inventario, sin embargo, posee el stockout más alto como se observa en la Tabla 6. Por otro lado, la opción 3 otorga el stockout más bajo y logra una considerable reducción en los indicadores de inventario promedio y días de inventario de 16% y 6% respectivamente.

Se observa que con base en los resultados obtenidos existe una relación inversamente proporcional entre el inventario promedio y el nivel de stockout para los sistemas simulados. Los tomadores de decisiones deben balancear los requerimientos entre la inversión necesaria que se refleja en el inventario promedio, los días de inventario y el nivel de servicio definido (que se refleja en el nivel de stockout). Por lo tanto, la opción que mejor se desempeña en los indicadores establecidos es la opción 3 con los parámetros de demanda y lead-time originales.

Los resultados del análisis de sensibilidad se resumen en la Tabla 8 para el escenario 1 y en la Tabla 9 para el escenario 2.

Tabla 8

Resultados del Análisis de Sensibilidad – Escenario 1

Sistema	Inventario promedio	Nivel de Stockout
Sistema actual de inventario	\$ 12.881	No hay registros
Opción 1: Diferencia entre buffer e inventario actual	\$ 9.936	16%
Opción 2: Consumo de los 3 últimos meses	\$ 7.894	19%
Opción 3: Máximo entre opciones 1 y 2	\$ 10.758	8%

Tabla 9

Resultados del Análisis de Sensibilidad – Escenario 2

Sistema	Inventario promedio	Nivel de Stockout
Sistema actual de inventario	\$ 12.881	No hay registros
Opción 1: Diferencia entre buffer e inventario actual	\$ 12.393	27%
Opción 2: Consumo de los 3 últimos meses	\$ 11.559	30%
Opción 3: Máximo entre opciones 1 y 2	\$ 15.507	23%

En la Tabla 8 se puede observar que los indicadores de los 3 modelos de simulación no cambian significativamente respecto a los valores de la Tabla 6 con los parámetros de demanda y lead-time originales, sin embargo, en la Tabla 9 se puede notar claramente un cambio en sus indicadores respecto a la Tabla 6, ya que los valores de inventario promedio y stockout se elevan considerablemente. Esto implica que los sistemas de inventario propuestos son muy sensibles a la variación del lead-time, pero responden muy bien ante el incremento de la variabilidad de la demanda, siendo la opción 3 la mejor propuesta, al poseer el menor valor de stockout y lograr disminuir el inventario promedio respecto al valor original.

Se debe considerar para una futura investigación, incorporar un factor de seguridad tanto para la demanda como para el lead-time, con ello se lograría obtener un *buffer* adecuado para responder a un eventual aumento de la variabilidad de ambos parámetros mencionados.

Al implementar un sistema de control de indicadores de desempeño sobre una política de inventario, se debe considerar los valores objetivos de los indicadores. Para el caso del inventario promedio, días de inventario y nivel de stockout, lo ideal para los tres indicadores es que tengan el menor valor posible.

Para la gestión de los “ítems de inventario bajo pedido”, al ser productos de demanda dependiente, el cuándo y cuánto pedir, se debe basar en la planificación de las necesidades de los usuarios, para esto las unidades solicitantes de la bodega deberían realizar sus pedidos en los meses de enero, abril, julio y octubre, es decir, un mes antes de llegar a algún mes hábil de pedido.

Conclusiones

El objetivo de la presente investigación es comparar las distintas políticas de inventario con el fin de disminuir el nivel de inventario promedio en la bodega, regular los pedidos con

base en un criterio simple y sólido, considerando el nivel de servicio más alto para las áreas solicitantes de la institución. Tres opciones diferentes fueron simuladas con Flexsim considerando la realidad de la institución pública. Las tres opciones presentan mejor desempeño que la situación inicial y la opción 3 presenta un mejor desempeño en conjunto con respecto a la inversión requerida y nivel de servicio ofrecido. La metodología propuesta es simple de entender, efectiva regulando los niveles de inventario en bodega y es aplicable para cualquier tipo de producto que posea demanda independiente.

Para realizar el cálculo del tamaño del buffer de algún producto de bodega, se debe considerar su demanda mensual promedio, su lead time y un factor de seguridad que estará en función del coeficiente de variación del producto a fin de amortiguar los cambios abruptos de la demanda.

Tomando la opción 3, donde se pide el valor máximo entre la diferencia de inventario (buffer menos el inventario actual), y la suma de los tres consumos anteriores, se disminuye el inventario promedio valorado en dólares en 16%, se disminuye los días de inventario de 97 a 91 días, es decir un 6%, y se tiene un nivel de stockout del 8%.

Mediante un análisis de sensibilidad, se logró determinar que los sistemas de inventario propuestos responden muy bien ante un eventual aumento en la variabilidad de la demanda, pero son muy sensibles ante un aumento en la variabilidad del lead-time, debido a que la fórmula de cálculo de *buffer* contempla un factor de seguridad solo en función de la variación de la demanda. Ante esta situación, se recomienda implementar una fórmula de cálculo de *buffer* que incorpore un factor de seguridad tanto para la variación de la demanda como para la variación del lead-time, y posteriormente verificar su efectividad mediante modelos de simulación.

A través de una buena política de inventario se logra regular el proceso de compra de insumos mediante un sistema de control sencillo y eficaz que pide lo necesario para abastecer los requerimientos de la organización en cada período de tiempo sin incurrir en costos adicionales de operación.

Reconocimientos

Esta investigación fue posible gracias a la colaboración de la institución pública que facilitó oportunamente los datos requeridos para su desarrollo.

Referencias

- Jackson, I., Tolujevs, J., & Kegenbekov, Z. (2020). *Review of inventory control models: A classification based on methods of obtaining optimal control parameters*. *Transport and Telecommunication*, 21(3), 191-202. <https://doi.org/10.2478/ttj-2020-0015>
- Dosdoğru, A. T., Asli, B., Göçken, M., & Göçken, T. (2020). *Simulation optimization approach to periodic review inventory control system with backorders*. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(1), 200-212. <https://doi.org/10.35379/cusosbil.718113>
- Macias-Aguayo, J., Abad-Morán, J., Barragán-Robles, C. (2019). *Diseño de políticas de reabastecimiento de inventario: Caso en el Sector Hospitalario*. 17 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. <http://dx.doi.org/10.18687/laccei2019.1.1.318>
- Müller, M. (2003) *Essentials of inventory management*, AMACOM American Management, pp. 2-4
- Kearney A.T. (2016). CSCMP' annual State of the Logistics Report.

- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). *Inventory and production management in supply chains*. CRC Press. (4th ed, pp 239-245).
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management. Strategy, planning & operation*. In *Das summa summarum des management* (pp. 265-275). Gabler.
- Kai Hoberg; James R. Bradley; Ulrich W. Thonemann (2007). *Analyzing the effect of the inventory policy on order and inventory variability with linear control theory*. 176(3), 1620–1642.
[https://doi:10.1016/j.ejor.2005.10.040](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.10.040)
- Beamon, B. M. (1998). *Supply chain design and analysis: Models and methods*. *International journal of production economics*, 55(3), 281-294.
- Robert A Davis. (2016) *Demand-Driven Inventory Optimization and Replenishment*, Wiley (2dn ed, pp. 37-50)
- Prak, D., Teunter, R., & Syntetos, A. (2017). *On the calculation of safety stocks when demand is forecasted*. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 454-461.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.035>
- Ihme, M., & Stratton, R. (2015). *Evaluating demand driven MRP: a case based simulated study*.
- Dubois, G. (2018). *Modeling and simulation: challenges and best practices for industry*. CRC Press. (1st ed, pp 1-8).
- Nordgren, W. B. (2002, December). *Flexsim simulation environment*. In *Proceedings of the winter simulation conference* (Vol. 1, pp. 250-252). IEEE.

Propuesta de mejora en la dirección de proyectos en una empresa de saneamiento

Improvement proposal for project management in a sanitation company

Carmen Padilla¹ <https://orcid.org/0000-0003-0606-7719>,
Mariana Moyano¹ <https://orcid.org/0000-0002-3627-6792>, Mario Chong¹ <https://orcid.org/0000-0002-1231-0992>

¹Universidad del Pacífico, Lima, Perú
cj.padillav@alum.up.edu.pe, md.moyanom@up.edu.pe,
m.chong@up.edu.pe

Enviado: 2022/05/25

Aceptado: 2022/06/09

Publicado: 2022/06/30

Resumen

SEDAPAL es una empresa estatal peruana de derecho privado y es la primera Empresa Prestadora de Servicios (EPS) de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y tratamiento de residuos, cuya producción representa el 40 % del PBI del país. A diciembre de 2020, su capital social asciende a S/ 5,381,3 millones y generó ingresos por S/ 1,930 millones. Cuenta con un total de activos ascendiente a S/ 12,418 millones, de los cuales el 43 % está financiado por el patrimonio y el 57 %, por el pasivo o deuda. Al cierre del 2020, la empresa presenta resultados de gestión desfavorables y un 82.5 % de avance en el plan estratégico. Con la implementación de la propuesta de mejora se logra potenciar herramientas que apoyen la gestión en la dirección de proyectos, incrementen la eficiencia en la gestión de proyectos y desarrollen al equipo. La propuesta de mejora permite mitigar los riesgos frente a los usuarios, los proveedores y la crisis de la Covid-19. Primero se revisa la información e investiga la cadena de suministro, luego se diagnostica con *value stream mapping* y *rethinking the supply chain*, finalmente se evalúa las propuestas de mejora con las metodologías *supply chain operations reference*, *analytic network process* y *super decisión*. El presupuesto para implementar el proyecto de inversión es de S/1,617,000, luego del análisis propuesto se obtuvo como resultado un VAN y TIR positivo, los cuales sustentan la factibilidad del proyecto.

Palabras clave: SEDAPAL, *supply chain*, *value stream mapping*, ANP, *super decisión*.

Sumario: Introducción, Marco Teórico, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones y Recomendaciones.

Como citar: Padilla, C., Moyano, M. & Chong, M. (2022). Propuesta de mejora en la dirección de proyectos en una empresa de saneamiento. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 196-213. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/939>

Abstract

SEDAPAL is a Peruvian state company under private law. It is the first service provider company for drinking water supply, sewerage, and waste treatment, whose production represents 40% of the country's GDP. As of December 2020, its capital stock amounted to S/ 5,381.3 million and generated an income of S/ 1,930 million. It has total assets of S/ 12,418 million, of which 43% are financed by equity and 57% by liabilities or debt. At the end of 2020, the company presents unfavorable management results and 82.5% progress in the strategic plan. By implementing the improvement proposal, it will be possible to enhance tools that support project management, increase efficiency in project management, and develop the team. The improvement proposal allows for mitigating the risks to users, suppliers, and the COVID-19 crisis. First, the information is reviewed, the supply chain is investigated, and it is diagnosed with value stream mapping and rethinking the supply chain. Finally, the improvement proposals are evaluated with supply chain operations reference, analytic network process, and super decision methodologies. The budget to implement the investment project is S/ 1,617,000. After the proposed analysis, a positive NPV and IRR were obtained, which support the project's feasibility.

Keywords: *SEDAPAL, supply chain, value stream mapping, ANP, super decision.*

Introducción

En los últimos veinte años, en el sector agua y saneamiento de América Latina y el Caribe, se ha implementado la adopción de prácticas de transparencia mediante la eficiencia de los proveedores y reguladores de agua y saneamiento (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2021). Ello ha sido posible por iniciativas de gobiernos corporativos, que incluyen mecanismos de transparencia para alcanzar objetivos concretos y medibles (Barreto-Dillon, Basani, De Simone, & Cotlear, 2018). Un gobierno transparente demuestra mayor compromiso con la sociedad, una vez que las acciones gubernamentales son discutidas y son de dominio público, obstaculiza la existencia potencial de intereses particulares (Fondo Monetario Internacional [FMI], 2021), que muchas veces se mezclan y prevalecen frente a la política de gobierno (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2020).

Miles de millones de personas en todo el mundo siguen careciendo de acceso al agua, el saneamiento y la higiene, según un nuevo informe de UNICEF y la Organización Mundial de la Salud. Alrededor de 2.200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura, 4.200 millones de personas no cuentan con servicios de saneamiento gestionados de manera segura y 3.000 millones carecen de instalaciones básicas para el lavado de manos (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2019).

La pandemia de la Covid-19 ha generado un deterioro generalizado en las cuentas fiscales de todo el mundo; los déficits fiscales promedio del mundo, de países emergentes y América Latina ascendieron a 10.8 %, 9.8 % y 8.8 % del PBI en 2020 respectivamente (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2021). Estas revisiones reflejan la evolución de la pandemia y los cambios en las políticas de apoyo (Fondo Monetario Internacional, 2021). En el Perú, la composición de la población y la tasa de crecimiento, constituyen elementos para el proceso de desarrollo nacional, determina el tamaño del mercado interno, los patrones de consumo y es uno de los factores productivos más importantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020). La división de agua y saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se encuentra implementando una iniciativa para fomentar la innovación en el sector, que contribuya a acelerar la adopción de soluciones innovadoras

para generar servicios inteligentes e inclusivos (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2021).

Las empresas dedicadas a comercializar el agua brindan servicios de abastecimiento de agua potable en muchas partes del mundo; embotellan enormes cantidades de agua para consumo humano y su posterior comercialización; almacenan enormes cantidades de agua que se usa en la producción agrícola industrializada, la minería, la generación eléctrica y otras industrias que requieren del consumo intensivo del agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2010); operan y son propietarias de muchas represas, acueductos, sistemas de purificación de agua y plantas de desalinización; compran derechos de acceso a las aguas subterráneas y las cuencas hidrográficas en su conjunto, para adueñarse así de grandes reservas hídricas (García, Godines, Pineda, & Reyes, 2015).

En el Perú, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es el responsable de la legislación ambiental; impulsa, promueve el cumplimiento de las obligaciones ambientales en los agentes económicos y la mejora del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, con el fin de resguardar el equilibrio de las actividades económicas (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2021). En el marco de lo señalado las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) que brindan servicio de agua y saneamiento están en la obligación de adecuar sus actividades en cumplimiento de la norma citada (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, s.f.). El agua es un recurso necesario para la supervivencia del ser humano. A medida que se incrementa la población, es necesaria una mayor cantidad de agua de calidad; sin embargo, la cantidad de agua en el mundo no se incrementa. El ranking mundial de países con mayor cantidad de agua muestra que América Latina es la región que cuenta con mayor cantidad de agua dulce en el mundo: Brasil, Rusia, Canadá, Indonesia, China, Colombia, Estados Unidos, Perú (aproximadamente 1.89 % del agua superficial) e India (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2021).

En la actualidad, el sector saneamiento apuesta por una visión más amplia que protege los ecosistemas, mediante el Plan Nacional de Saneamiento (PNS), articula las acciones del sector para alcanzar la cobertura universal y sostenibilidad en los servicios de agua y saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [VIVIENDA], 2021).

El objetivo general del trabajo de investigación es Potenciar herramientas innovadoras de control estratégicos que apoyen la gestión en la dirección de proyectos del 2023 al 2026 en Lima Metropolitana y Callao. Los objetivos específicos del trabajo de investigación que se espera obtener son los siguientes:

- Mejorar continuamente los procesos existentes al 50% para ser competitivos, rentables y aprovechar la tecnología implementada a partir del 2023 en la dirección de proyectos.
- Incrementar la productividad en la gestión de proyectos en 20% para generar adecuada planificación y desarrollo del equipo en los próximos doce meses en la dirección de proyectos.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación se desarrolla en el contexto de cierre del año 2020, en el que la alta dirección del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) debe continuar con el cumplimiento de los objetivos estratégicos (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2021) . Primero, se describe toda la información histórica y su evolución, luego se analizan los entornos: político-legal, económico, social, tecnológico, ecológico y global, para conocer los factores que impactan en el

macroentorno en el sector saneamiento (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2022). Finalmente, se revisa la influencia y qué cambios se están produciendo que harán que alguno de estos factores sea más o menos importantes en el futuro (Johnson & Scholes, 2004). Adicionalmente, se proponen alternativas de mejora en el corto plazo, que refuercen las fortalezas y ventajas competitivas en el sector saneamiento.

Así, el trabajo de investigación tiene como alcance principal la empresa prestadora de servicio (EPS) SEDAPAL y comprende el análisis del logro de los objetivos estratégicos del periodo 2023-2026, el proceso de planeamiento estratégico, sobre la base de los objetivos estratégicos detallados por el (MVCS) en el Plan Nacional de Saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [VIVIENDA], 2021).

El alcance secundario es utilizar el modelo como referente en otras provincias ubicadas en Perú que evidencie demanda insatisfecha en el acceso a los servicios de agua y alcantarillado (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2021), generado por las EPS, las cuales son reguladas por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

Las limitaciones halladas en el trabajo de investigación son la incertidumbre por la coyuntura de la Covid-19, los cambios en las políticas de gobierno y los riesgos frente a posibles desastres naturales.

Marco Teórico

Recurso hídrico

Respecto a la disponibilidad de agua en el horizonte 2030 en la cuenca del río Rímac, los impactos en la disponibilidad de agua superficial que se proyecta para el horizonte 2030, indica una tendencia al incremento de la oferta hídrica anual en el conjunto de la cuenca, que alcanzaría 0.3%. Con respecto a la disponibilidad de agua en el horizonte 2030 en la cuenca del río Chillón, los impactos en la disponibilidad de agua superficial que se proyecta para el horizonte 2030, indica una tendencia al incremento de la oferta hídrica anual en el conjunto de la cuenca, que alcanzaría 5.0% (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2016).

Planeamiento estratégico

Este proceso se enfoca en el diseño de la red de la cadena de suministro. Las decisiones clave incluyen la planeación de la ubicación y capacidad de las instalaciones (Chopra, 2020). El desarrollo del análisis externo se realiza para conocer los factores que impactan en el macroentorno del sector saneamiento. Asimismo, se revisa la influencia y qué cambios se están produciendo que harán que alguno de estos factores sea más o menos importantes en el futuro (Johnson & Scholes, 2004). El análisis interno de una organización sirve para identificar cuál es el recurso, o conjunto de recursos, denominados fuentes de ventaja competitiva, que permiten definir la estrategia genérica o competitiva. Después de realizar el análisis externo e interno, se está en capacidad de identificar cuáles son las oportunidades y amenazas detectadas del ambiente externo y cuáles son las fortalezas y debilidades identificadas en el ambiente interno de la organización (Weinberger, 2009). El concepto de estrategia conlleva la búsqueda de una oportunidad para identificar la base de la ventaja competitiva. De acuerdo con (Porter, 2008), la naturaleza de la competitividad en una industria dada estaría conformada por cinco fuerzas; propone que es posible analizar cualquier industria en términos de rentabilidad (David, 2020). En la Tabla 1 se presenta el análisis de los factores internos y externos de SEDAPAL.

Tabla 1
Matriz FODA cruzado

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
	F1. Experiencia en el sector y adecuado nivel de generación de ingresos.	D1. La infraestructura de nuevas conexiones de agua y alcantarillado se viene ampliando, sin considerar el crecimiento de la demanda.
OPORTUNIDADES	F2. Se aprobó el procedimiento de revisión tarifaria por la (SUNASS).	D2. Oportunidad de mejora en la gestión operativa e indicadores claves de cobertura. En el 2020 se logró 82.5 %.
O1. El acceso al servicio de agua y saneamiento es de primera necesidad.	F3. El volumen facturado en el 2020 ascendió a 556.2 millones de m3.	D3. Alta rotación de directores y gerentes.
O2. El gobierno peruano inició diversas acciones frente a la Covid-19.	F4. Acceso a fuentes de financiamiento tanto internas como externas.	D4. Obras de rehabilitación y ampliación inconclusas.
O3. Se estima que el PBI mundial crecerá 6 % en el 2021 y 4.9 % en el 2022.	F5. Brinda servicios a cerca del 40 % del total de conexiones en el Perú.	D5. Incremento de aniegos, principalmente en las redes secundarias.
O4. El financiamiento externo aumentó en 4.1 % el PBI.	F6. Ha adoptado estándares del sector privado.	D6. Las conexiones por instalar y renovar, representan el 33 % del presupuesto.
O5. Las empresas de saneamiento mantienen una condición de monopolio regulado.	F7. Cuenta con un plan de acción ambiental 2022-2026.	D7. Nivel de endeudamiento elevado y descalce de monedas.
O6. La composición de la población y tasa de crecimiento incrementa el tamaño de mercado interno.	ESTRATEGIA FO	ESTRATEGIA DO
O7. Implementación de nuevas tecnologías.	(O1, F1, F4) Incrementar el acceso universal de agua y saneamiento en Lima y Callao. La empresa cuenta con experiencia, acceso a fuentes de financiamiento internas y externas.	(D1, O1) Campaña para concientizar sobre el uso adecuado de los servicios de agua y alcantarillado.
O8. Aplicaciones de innovación en los servicios.	(O8, F5, F6) Implementar portales de integración con el cliente, con menores lead time de atención.	(D4, D5, O6) Mejorar los indicadores estratégicos, logrando satisfacer la demanda.
AMENAZAS	(F2, O5) Implementación de tarifas correctas de acuerdo al sector, por ser monopolios regulados.	
A1. El crecimiento de la población demanda incremento de servicios de saneamiento.	ESTRATEGIA FA	ESTRATEGIA DA
A2. La tasa de inflación aumento de 1.57 % a 1.76 % impulsada por la depreciación del sol.	(F1, F5, A1, A3) Reforzar las gerencias claves de Proyectos y Comercial, cobertura los servicios y mitigar la reactiva planificación urbana.	(D2, D6, A1, A4) Implementar una herramienta que integre la medición de resultados.
A3. La planificación urbana reactiva al crecimiento de la población.	(F6, A4) Incrementar los estándares de calidad y mitigar la falta de implementación de tecnologías ágiles.	(D4, A1) Activar un plan de cumplimientos de entregas de Proyectos por obras de rehabilitación y ampliación.
A4. Dejar de contar con la integración de diferentes tecnologías, genera falta de visibilidad e incrementa los gastos.	(F4, A1) Continuar con la política de financiamiento interna y externa para cubrir la demanda en el sector.	

Fuente. Elaboración propia considerando los procedimientos (David, 2020), (Weinberger, 2009)

Para el desarrollo de análisis externo, se ha elaborado la matriz de factores externos sobre la base del análisis del macroentorno y microentorno, se identificaron los valores externos relevantes en oportunidades y amenazas, se obtiene una puntuación ponderada total de 3.27, la cual en una escala de 1 a 4 significa que está por encima del promedio (punto medio) de 2.5, por lo que el negocio de saneamiento está respondiendo al 75% de las oportunidades externas y evita las amenazas a las que se enfrenta. Por supuesto hay áreas de oportunidad, ya que la puntuación ponderada total más alta sería 4.0.

Para el desarrollo del análisis interno, se ha elaborado una matriz de factores internos se identificaron las fortalezas y debilidades, se obtiene una puntuación ponderada total de 2.76, la cual en una escala de 1 a 4 significa que es necesario mejorar fortalezas, aprovechar las oportunidades del mercado y mitigar las debilidades de la empresa.

Objetivos estratégicos

De acuerdo con los estados de resultados auditados, en la evaluación del plan estratégico al cierre 2020, se obtuvo 82.5% de avance en los indicadores. Se evidencia que los resultados están fuera de control respecto de los objetivos estratégicos: (1) alcanzar la cobertura universal, (2) garantizar la calidad y la continuidad en 24 horas de los servicios de saneamiento, (3) lograr la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2021).

Tabla 2
Objetivos Estratégicos 2017-2021 (Resultados al cierre 2020)

Objetivo estratégico	Indicador	Unidad	Meta 2020	Cierre 2020	Avance 2020
1. Asegurar la sostenibilidad financiera	Margen EBITDA	%	33.9	37.9	112 %
	Ratio de cobertura de deuda	Número	2.2	2.5	115 %
2. Alcanzar la cobertura universal de las empresas de saneamiento	Cobertura del servicio de agua potable	%	99	92.4	93 %
	Cobertura del servicio de alcantarillado	%	94.2	91.8	97 %
	Nuevas conexiones de agua potable	Número	48,372.00	16,240.00	34 %
3. Garantizar la calidad y la continuidad en 24 horas de los servicios de saneamiento	Nuevas conexiones de alcantarillado	Número	46,204.00	14,302.00	31 %
	Horas de continuidad del servicio	Horas/día	22.7	21.4	94 %
	Porcentaje de agua no facturada	%	24.2	26.5	91 %
	Coberturas de Micromedición	%	94.1	95.8	102 %
	Caudal de tratamiento de aguas residuales	m ³ /seg	20.5	20.9	102 %
4. Lograr la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento	Nivel de satisfacción de los clientes con los servicios prestados	%	78	65	83 %
	Número de obras de ampliación de fuentes concluido	Número	5	1	20 %
	Número de obras de rehabilitación de infraestructura concluidas	Número	8	4	50 %
	Grado de madurez	Número	14	20	120 %
5. Modernizar la gestión empresarial	Implementación del Modelo de Gestión Empresarial	%	58	42	72 %
	Porcentaje de implementación del Modelo de Buen Gobierno	%	70	56.9	95 %
	Calificación de clima laboral	%	76.1	76.2	100 %

Nota. Adaptado de SEDAPAL (2020)

La Tabla 2 muestra que no se ha logrado las metas esperadas afectando directamente cuatro indicadores: (1) instalación de nuevas conexiones de agua potable con 34% de avance, (2) instalación de nuevas conexiones de alcantarillado con 31% de avance, (3) número de obras de ampliación de fuentes concluido con 20% de avance y (4) número de obras de rehabilitación de infraestructura concluidas 50% de avance. Los resultados representan un alejado 18%, en el logro de los objetivos estratégicos, los cuales impactaran en la percepción del cliente y las políticas públicas; por ende, perjudican los ingresos, rentabilidad presupuestados y la supervivencia de la empresa (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2022).

Los estados de resultados auditados de la evaluación del plan estratégico 2017-2021, Al cierre 2021 la ejecución de inversiones presentó un nivel de implementación de 80%, con lo cual, el resultado sigue siendo desfavorable para lograr cerrar la brecha de acceso a los servicios de agua y alcantarillado (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2022)

Supply Chain Operations Reference (SCOR)

El enfoque de la gestión de la cadena de suministro está basado en la gestión de las relaciones para lograr un resultado más rentable para todas las partes de la cadena. Este trae consigo algunos desafíos significativos, ya que puede haber ocasiones en que el interés propio estrecho de una de las partes tiene que subsumirse en beneficio de la cadena total (Christopher, 2011). El modelo SCOR identifica y define criterios de evaluación, estandariza la terminología y los procesos de una cadena de suministro para modelar mediante indicadores clave de rendimiento KPIs. Compara y analiza diferentes estrategias de toda la cadena (Council, 2005), desde las interacciones con los clientes y transacciones físicas hasta las interacciones del mercado (Kottala & Herbert, 2020). Adicionalmente, este modelo permite establecer los vínculos entre los desempeños operativos, los resultados financieros y los objetivos estratégicos, así como evaluar la efectividad de la cadena de suministro (Sakka et al., 2011).

Teoría de decisiones

La toma de decisiones es una actividad tan cotidiana y tan antigua que pocas veces nos detenemos a reflexionar sobre ella. En cada instante de nuestras vidas está presente decidir a base de un sentido común, sin análisis previo, sin embargo, antes de tomar una decisión cuyas consecuencias afecten a personas o sus bienes, sería importante detenerse un momento y reflexionar (Taha, 2004). Decidir es elegir entre diferentes alternativas. Cuando el proceso de selección lo efectuamos, consideramos diferentes criterios que como filtros de opciones nos permite establecer un orden de preferencia de las alternativas (Malásquez Ruíz, 2016).

Analytic Network Process (ANP)

El ANP fue desarrollado por Thomas L. Saaty. Es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permite organizar, analizar decisiones complejas, combinar juicios y datos cualitativos y cuantitativos para clasificar opciones y predecir resultados de manera efectiva basadas en las matemáticas y la psicología (Saaty T. , 2005). Tienen una aplicación particular en la toma de decisiones grupales y se utilizan en todo el mundo en una amplia variedad de situaciones de decisión, en campos como el gobierno, los negocios, la industria, la atención médica, la construcción naval y la educación (Saaty T. , Teoría ANP, 2022).

Super Decisions

Super Decisions es un *software* de toma de decisiones basado en el proceso ANP. La toma de decisiones trata de establecer prioridades y los procesos de decisión ganadores de premios son la manera de hacerlo (Super Decisions, 2000). Al aplicar este proceso se reconoce que existe una retroalimentación entre los elementos de diferentes niveles de la jerarquía y también entre elementos de un mismo nivel, por lo que los elementos de decisión se organizan en redes de clusters y nodos (Adams & Saaty, 2003).

Balanced Scorecard

El *balanced scorecard* es una herramienta revolucionaria para movilizar a la gente hacia el pleno cumplimiento de la misión, a través de canalizar las energías, habilidades y conocimientos específicos de los colaboradores de la organización hacia el logro de las metas estratégicas de largo plazo. Permite tanto guiar el desempeño actual como apuntar al desempeño futuro, utilizando medidas en cuatro categorías: desempeño financiero, conocimiento del cliente, procesos internos de negocios y aprendizaje y crecimiento. Estas permiten alinear iniciativas individuales y organizacionales e identifica procesos enteramente nuevos para cumplir con los objetivos del cliente y de los accionistas (Kaplan & Norton, 1996).

Metodología

La metodología de investigación es mixta, perspectiva cuantitativa y cualitativa, el resultado obtenido es una propuesta de mejora para solucionar problemas en la empresa desde el punto de vista práctico (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2006). El trabajo de investigación se divide en cuatro partes: (1) revisión de la información, se examinan fuentes primarias y secundarias, documentos de la empresa y organismos del sector saneamiento. (2) Investigación, entrevistas y juicios de expertos. (3) Diagnóstico, primero se plantea el problema, luego se diagnostica con Value Stream Mapping que levanta información sobre acciones que agregan y no agregan valor necesarias. Finalmente, se diagnostica con la metodología Rethinking the Supply Chain mapa funcional estratégico. (4) Propuesta de mejora, primero se identifica los criterios con el modelo Supply Chain Operations Reference (SCOR), luego se detallan todas las alternativas para tomar la mejor decisión, para culminar se elige la propuesta de mejora óptima con la metodología Analytic Network Process (ANP) y se modela con el software Super Decisions.

Planteamiento del Problema

La empresa brinda servicios a todo tipo de usuarios: industriales, estatales, comerciales y domésticos. Su modelo de negocio es convencional, sus factores de éxito están enfocados en el servicio al cliente y la calidad en los servicios de agua y alcantarillado.

La identificación del problema se define a partir de la pregunta: ¿Qué herramientas innovadoras se deben implementar para alcanzar la cobertura universal? La empresa, en los últimos dos años no ha logrado los objetivos estratégicos directamente relacionados con la ejecución de inversiones (logró un 80% en el indicador en 2021), la culminación de instalación de nuevas conexiones (logró un 32% en el indicador en 2020), y las obras de ampliación de fuentes y rehabilitación de infraestructura concluidas (logró un 35% en el indicador en 2020). Los tres indicadores son objetivos que apoyan el cierre de brechas, brindan acceso a los servicios de agua y alcantarillado a la población de bajos recursos para alcanzar la cobertura universal en Lima Metropolitana y Callao (Lledo, 2013).

¿Por qué en 2020 y 2021 se ha incumplido con el indicador de lograr el acceso a los servicios de agua y saneamiento? El incremento de megaproyectos ha aumentado la complejidad operativa y la gestión tradicional dejó de ser efectiva, evidenciándose una reducción en la eficiencia entre el área estratégica de Proyectos y Obras y el área de Producción y Distribución Primaria. Debido a los últimos períodos de la Covid-19, la medición de la productividad se ha suspendido en diversos períodos, motivando una reducción en la competitividad. Finalmente, los cambios en las políticas de gobierno, cambios de directorio, gerente general y responsables de equipo afectan la toma de decisiones de la gerencia general, impactando en la variabilidad de las priorizaciones de los proyectos y aprobaciones de avance de gestión (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2021) y (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022). En la Tabla 3 se muestra la comparación de los puntajes obtenidos por SEDAPAL en el 2020 y 2021.

Tabla 3

Puntajes obtenidos por la (EPS) SEDAPAL 2020-2021

EPS SEDAPAL AL Año	Acceso a los Servicios (%)	Calidad del Servicio (%)	Sostenibilidad Financiera (%)	Gobernabilidad y Gobernanza (%)	Gestión de Riesgo de Desastre (%)	Sostenibilidad Ambiental (%)	Gestión de atención a usuarios (%)
2020	91.80	66.36	83.50	100.00	100.00	86.58	100.00
2021	82.90	60.05	77.17	100.00	100.00	85.21	100.00

Nota. Adaptado de SEDAPAL (2020)

Diagnóstico con Value Stream Mapping (VSM)

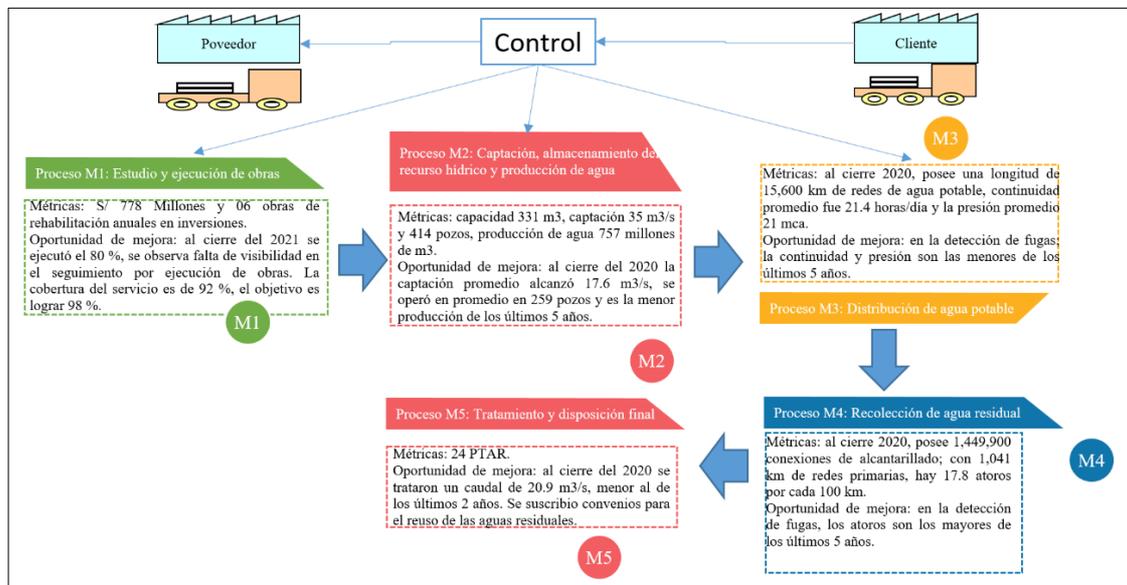
Para el diagnóstico de las operaciones relacionadas con la cadena de suministro, se usará la herramienta (VSM), que levanta información sobre acciones que agregan y no agregan valor para producir un producto o servicio. El mapeo de flujo de valor ha evolucionado desde sus raíces como una herramienta utilizada para reinventar y reconfigurar las operaciones de fabricación a un proceso que permite una intervención y transformación organizacional profunda (Martin & Osterling, 2014). El sector saneamiento, no cuenta con un sistema de información que permita tener datos consistentes y validados (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2010).

En los últimos 20 años, como resultado de la migración y el crecimiento vertical de las viviendas, la población de la zona de Lima Metropolitana, se incrementó en más de cuatro millones de habitantes (ha crecido en 53.6%). Debido a este aumento, la región metropolitana albergó en el 2020 a más de 11.5 millones de habitantes, posicionándose como la quinta ciudad más poblada de Latinoamérica (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2021).

La Figura 1 muestra value stream map adaptado de la cadena de valor del servicio de agua potable y alcantarillado, se inicia con el almacenamiento y captación del recurso hídrico, continúa con la producción, almacenamiento, bombeo y distribución de agua potable al usuario, culminando con la recolección de aguas residuales, su tratamiento y disposición final (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2021).

Figura 1

Value Steam Mapping de la empresa



Nota. Adaptado de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (2021)

Al cierre del 2020, los principales procesos críticos identificados en la empresa son:

- La entrega de proyectos demora 10.4 años en colocar un servicio de agua y saneamiento.
- No existe una planificación para la reposición de activos (redes y colectores) en el área urbana, como reflejo de ello 35% de las redes exceden su vida útil.
- No se aprovechaba al máximo los beneficios que se podrían generar de trabajar de la mano con el sector privado.
- Algunos instrumentos de gestión o proyectos innovadores se encuentran estancados o no cuentan con recursos necesarios para llevar una gestión adecuada que se refleje en la entrega de proyectos y obras fuera de las condiciones estimadas.
- En conclusión, la situación problemática se refleja en el área de Proyectos y Obras.

Diagnóstico con Rethinking the Supply Chain

Al analizar la cadena de suministro en una empresa del sector saneamiento, es estratégico contar con una herramienta que muestre la situación actual de las principales operaciones que realiza. La metodología *Rethinking the Supply Chain* o del mapa estratégico funcional, tiene como principal función ser un nexo entre las estrategias de la empresa y las actividades que realiza en la cadena de abastecimiento, en dos momentos: (i) en el momento inicial de la operación; y (ii) la captura final, luego de identificar las oportunidades de mejora, pilares y definiendo los objetivos específicos y operativos de la de estrategia (Perez-Franco, Phadnis, Caplice, & Sheff, *Rethinking supply chain strategy as a conceptual system*, 2015). La herramienta ayuda a identificar las actividades que presentan oportunidades de mejora y objetivos efectivamente alineados a la estrategia (Perez Franco, 2016).

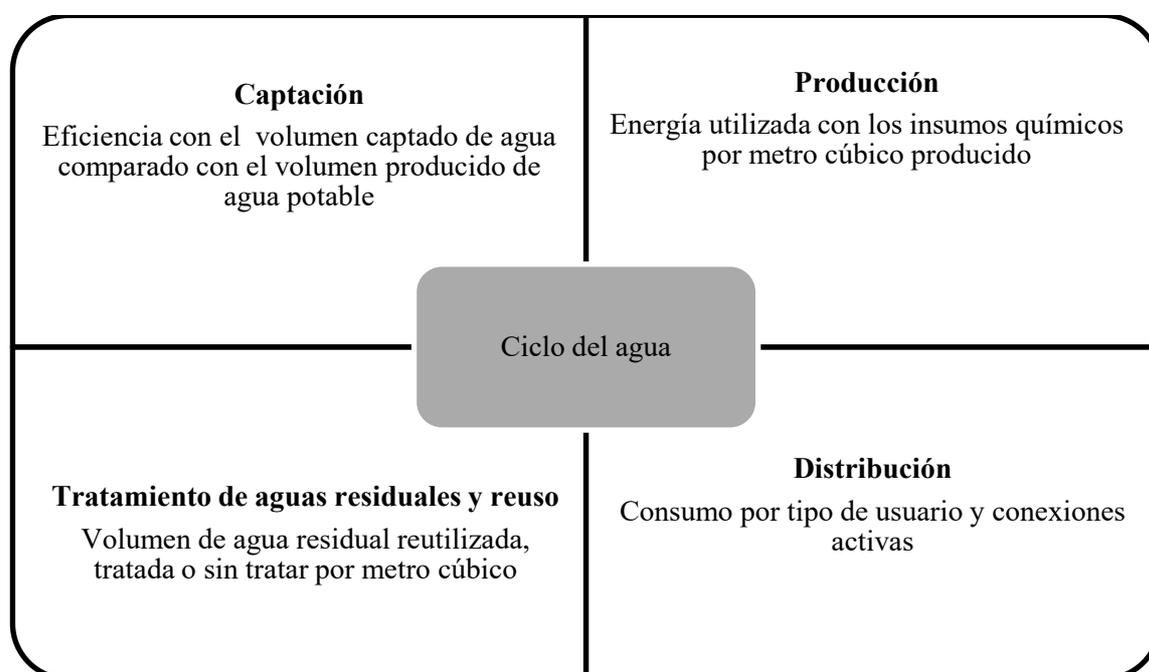
Situación actual

En la Figura 2 se describe la situación actual de los procesos del sistema de agua potable y alcantarillado, con la finalidad de dar a conocer el estado situacional de la infraestructura e identificar oportunidades de mejora. La información que se utilizó para elaborar este diagnóstico fue base del Plan Maestro Optimizado (PMO) presentado por la empresa (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2021).

La empresa realiza el proceso completo: captar el agua, tratarla, almacenarla y distribuirla, luego evalúa la calidad del agua y servicio que brinda. También recolecta las aguas de los desechos. También administra finanzas, atención al cliente, educa al cliente sobre el uso responsable del recurso e implementa nuevas tecnologías para mejorar el servicio (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022).

Figura 2

Economía circular del ciclo del agua



Nota. Adaptado de Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2021)

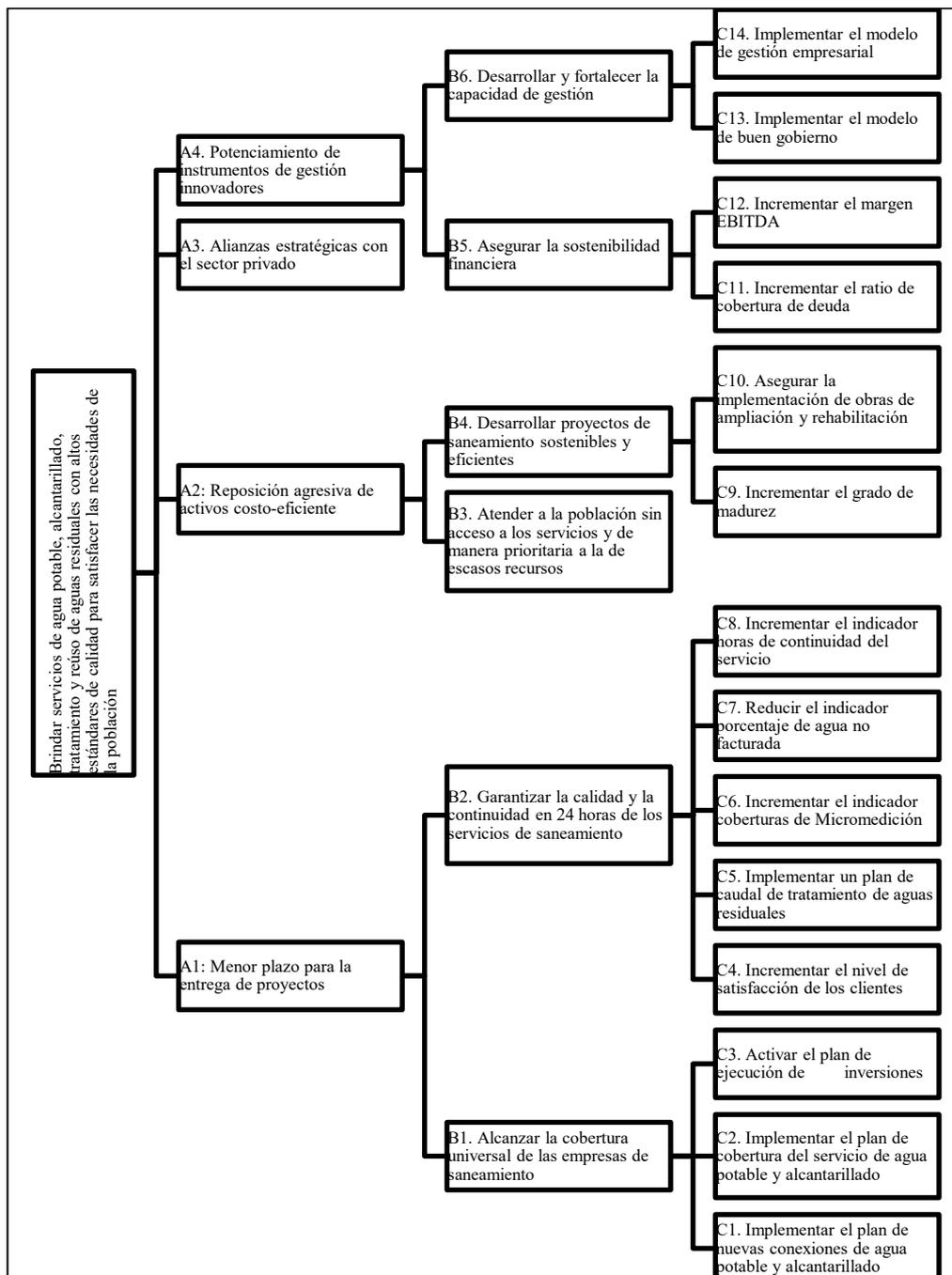
En los últimos años, la empresa ha tomado una serie de decisiones para cumplir con su propósito: llevar agua a más peruanos, mejorar la calidad del servicio y garantizar el recurso hídrico para los próximos años. Sin embargo, estas decisiones no han sido al azar; por el contrario, han respondido a una estrategia concertada entre las diferentes instancias las cuales se enmarcan en cuatro pilares definidos a principios del 2019 (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2021) En la Figura 3 se detalla los cuatro pilares de la empresa (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2020):

- (A1) Menor plazo para la entrega de proyectos: la reducción de tiempos en la ejecución de obras hasta 70% en beneficio de la ciudadanía. La empresa ha suscrito un convenio con la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) que prevé una cartera total de proyectos por más de 4 mil millones de soles, de los cuales el proyecto Rinconada es de aproximadamente S/1,200 millones, va a permitir cerrar la brecha para que más personas accedan a los servicios de agua y saneamiento.

- (A2) Reposición agresiva de activos costo-eficiente: busca impulsar una política de reposición de redes y colectores que ya cumplieron su vida útil. Se espera la firma de un convenio gobierno a gobierno y el decreto de urgencia que habilite al MVCS.
- (A3) Alianzas estratégicas en el sector privado: se inicia el proceso de agua en bloque en el sur con una planta de desalinización que permita potabilizar el agua del mar.
- (A4) Potenciamiento de instrumentos de gestión innovadores: priorizar los mecanismos de obras por impuestos (OxI), promoción de las asociaciones público privadas (APP), también continuar con la nueva estrategia de manejo de aguas subterráneas.

Figura 3

Mapa funcional inicial



Resultados y Discusión

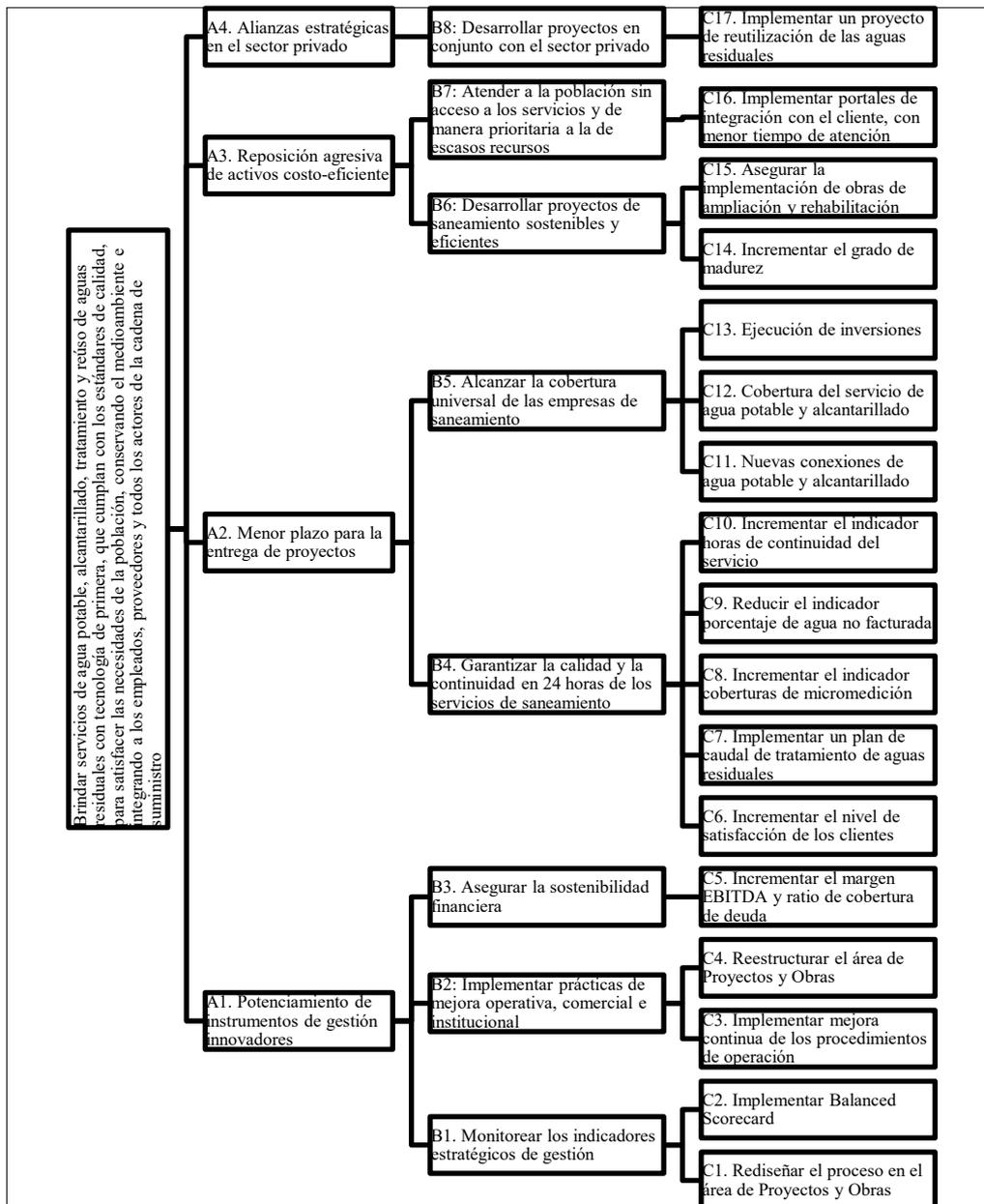
Rethinking the Supply Chain

Situación mejorada

En la Figura 4 se muestra el mapa conceptual final en relación a los objetivos a base de la situación actual y la misión de la empresa. Los cuatro pilares permanecen con nuevo orden y se ha reestructurado los objetivos principales con ayuda de los expertos. Asimismo, se busca asegurar el cumplimiento de todos los pilares.

Figura 4

Mapa conceptual final



- Primer pilar (A1) potenciamiento de instrumentos de gestión innovadores, con los siguientes objetivos: (B1) monitorear los indicadores estratégicos de gestión, (B2) implementar prácticas de mejora operativa, comercial e institucional, y (B3) asegurar la sostenibilidad financiera son determinantes para la mejora de la situación crítica.

- Segundo pilar (A2) menor plazo para la entrega de proyectos, con los siguientes objetivos: (B4) garantizar la calidad y la continuidad en 24 horas de los servicios de saneamiento y (B5) alcanzar la cobertura universal de las empresas de saneamiento, manteniéndose la situación actual.
- Tercer pilar (A3) reposición agresiva de activos costo-eficiente, con los siguientes objetivos: (B6) desarrollar proyectos de saneamiento sostenibles y eficientes y (B7) atender a la población sin acceso a los servicios y de manera prioritaria a la de escasos recursos, manteniéndose la situación actual.
- Cuarto pilar (A4) alianzas estratégicas en el sector privado, con el siguiente objetivo: (B8) desarrollar proyectos en conjunto con el sector privado, principalmente implementar proyectos de reutilización de las aguas residuales, resultantes del proceso de desalinización, aprovechando al máximo los beneficios de trabajar con el sector privado diversos proyectos en conjunto.

En conclusión, en el diagnóstico se ha identificado que la mejor opción para alcanzar la visión de la empresa es el pilar (A1) potenciamiento de instrumentos de gestión innovadores, con los objetivos principales: (B1) monitorear los indicadores estratégicos de gestión y (B2) implementar prácticas de mejora operativa, comercial e institucional.

Resultados del modelo

Para solucionar los problemas de cada pilar de la empresa, se elaboró el mapa conceptual final, en el cual se ha identificado las estrategias a seguir para el logro de los objetivos estratégicos el mediano y largo plazo en la cadena de suministro. En la Tabla 4 se especifican las propuestas de mejora de acuerdo al área encargada.

Tabla 4

Estrategias del mapa conceptual jerarquizado

Listado de propuestas de mejora	Denominación	Área
Implementar proyectos de reutilización de las aguas residuales	P17	Proyectos
Implementar portales de integración con el cliente, con menor tiempo de atención	P16	Comercial
Implementar <i>software</i> para las obras de ampliación y rehabilitación	P15	Proyectos
Incrementar el grado de madurez	P14	Producción
Ejecución de inversiones	P13	Proyectos
Cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado	P12	Producción
Implementar <i>software</i> para las nuevas conexiones de agua potable y alcantarillado	P11	Proyectos
Incrementar el indicador horas de continuidad del servicio	P10	Comercial
Reducir el indicador porcentaje de agua no facturada	P9	Comercial
Incrementar el indicador coberturas de Micromedición	P8	Comercial
Implementar un plan de caudal de tratamiento de aguas residuales	P7	Producción
Incrementar el nivel de satisfacción de los clientes	P6	Comercial
Incrementar el margen EBITDA y ratio de cobertura de deuda	P5	Finanzas
Reestructurar el área de Proyectos y Obras	P4	Proyectos
Implementar mejora continua en los procedimientos y métodos de operación	P3	Proyectos
Implementar <i>balanced scorecard</i>	P2	Proyectos
Rediseñar el proceso de gestión en el área de Proyectos y Obras	P1	Proyectos

Tenemos un conjunto eficiente de alternativas, ninguna de ellas se puede descartar por ser inferior a los demás en todos los criterios y tampoco podemos elegir automáticamente alguna de ellas por ser dominante, es decir, ser mejor que las demás en todos los criterios. Todas las alternativas compiten entre sí.

Para el modelamiento con *Super Decisions*: (1) se define el objetivo, se identifica los elementos y se agrupan en *cluster*, se analiza las relaciones entre elementos de la red, (2) se diseña el modelo de decisión, una red, compuesta por el objetivo “elegir la propuesta de mejora óptima”, luego se representa los criterios de decisión y finalmente se representa las alternativas

que se evaluarán con el software *Super Decisions*, (3) *Objective, criteria y alternative* se les denomina *cluster* en *Super Decisions*, son un lienzo para construir el modelo *Analytic Network Process* (Super Decisions, 2000).

Es necesario elegir una estrategia adecuada para que se logre los objetivos estratégicos con éxito. La Figura 5 y 6 muestran los resultados parciales del modelo “Selección de la propuesta de mejora óptima”, son: (P2) implementar *balanced scorecard*, (P1) rediseñar el proceso de gestión en el área de Proyectos y Obras, (P4) reestructurar el área de Proyectos y Obras, luego de modelar con el software Super Decisions versión 3.2 para Windows (Super Decisions versión 3.2, 2019).

Figura 5

Prioridades principales con Super Decisions

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	P1. Rediseñar el proceso de gestión	0.24267	0.121333
No Icon	P2. Implementar BSC	0.33635	0.168175
No Icon	P3. implementar mejora continua	0.08016	0.040079
No Icon	P4. Reestructurar el área	0.16630	0.083150
No Icon	P11. Implementar software de nuevas conexiones	0.03091	0.015455
No Icon	P13. Ejecución de inversiones	0.10869	0.054344
No Icon	P15. Implementar software de obras	0.03493	0.017465
No Icon	P17. Implementar la reutilización	0.00000	0.000000
No Icon	Agilidad	0.29717	0.148583
No Icon	Capacidad de respuesta	0.20439	0.102193
No Icon	Confiabilidad	0.49845	0.249225
No Icon	Costo	0.00000	0.000000
No Icon	Propuesta de mejora	0.00000	0.000000

Nota. Super Decisions versión 3.2 (2019)

Figura 6

Síntesis de prioridades con Super Decisions

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
P1. Rediseñar el proceso de gestión		0.721467	0.242666	0.121333
P2. Implementar BSC		1.000000	0.336350	0.168175
P3. implementar mejora continua		0.238316	0.080158	0.040079
P4. Reestructurar el área		0.494427	0.166301	0.083150
P11. Implementar software de nuevas conexiones		0.091895	0.030909	0.015455
P13. Ejecución de inversiones		0.323137	0.108687	0.054344
P15. Implementar software de obras		0.103847	0.034929	0.017465
P17. Implementar la reutilización		0.000000	0.000000	0.000000

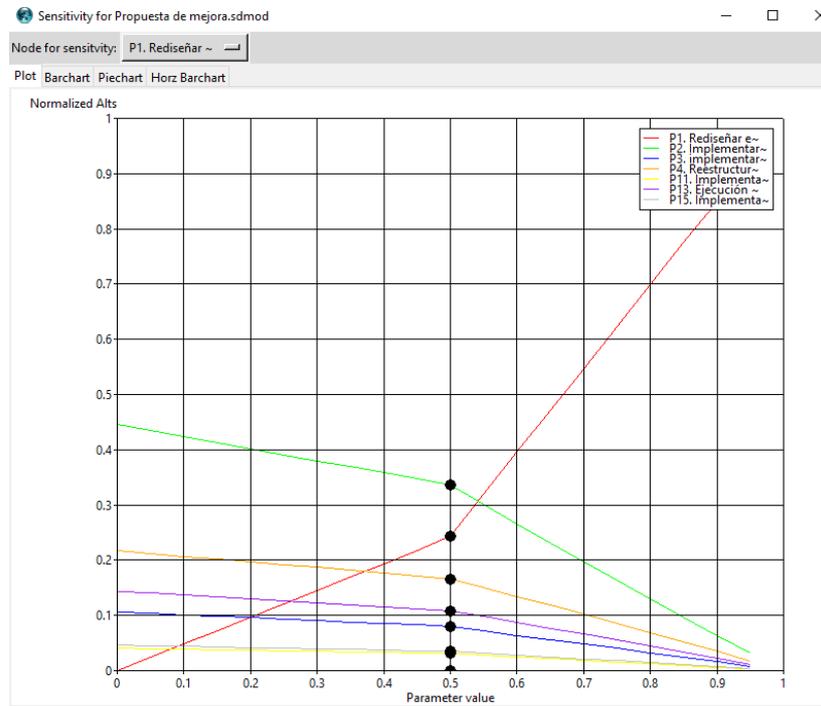
Nota. Super Decisions versión 3.2 (2019)

La Figura 7 muestra los resultados finales, luego de modelar con el *software* Super Decisions versión 3.2, la propuesta de mejora óptima a implementar es: (P2) implementar el

balanced scorecard, las propuestas tentativas por implementar son: (P1) rediseñar el proceso de gestión en el área de Proyectos y Obras y (P4) reestructurar el área de Proyectos y Obras.

Figura 7

Análisis de sensibilidad con Super Decisions



Nota. Super Decisions versión 3.2 (2019)

En conclusión, se sugiere implementar la propuesta de mejora elegida: *balanced scorecard* alineando la información disponible con las bases de la versión 6 de la guía PMBOK del Project Management Institute (PMI) (Project Management Institute [PMI], 2021).

Evaluación económica y financiera del proyecto

El incremento del superávit permite incrementar la rentabilidad de la cadena de suministro, lo que facilita mejorar el desempeño financiero de cada miembro de la cadena de suministro (Chopra, 2020). Del estado de resultados desde el 2019 hasta el 2025 tenemos los valores de ingresos y costos de la empresa con los datos procedemos a calcular el VAN y TIR (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL], 2022). En la Tabla 5 se muestran los valores de la empresa.

Tabla 5

Utilidad bruta de SEDAPAL 2019-2025

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ingresos	2.104.511.308	1.927.458.023	2.204.113.495	2.576.269.214	2.712.852.405	2.746.923.572	2.815.448.791
Costos	1.153.638.189	1.288.803.405	1.404.282.726	1.519.773.128	1.618.935.401	1.657.620.798	1.699.062.927
Utilidad bruta	950.873.119	638.654.618	799.830.769	1.056.496.086	1.093.917.004	1.089.302.774	1.116.385.864

Para la evaluación de viabilidad en la implementación del proyecto de inversión, se hallará la factibilidad, primero se halla la utilidad bruta o flujo de caja (Ingresos – Costos), luego se halla la tasa interna de retorno, que mide los flujos futuros, para determinar si luego de descontar nos queda ganancia, después se halla la tasa de rentabilidad que ofrece la inversión, para las cantidades que no se han retirado del proyecto. A partir de los valores de la Tabla 6, se proceden a calcular el VAN y TIR, los cuales se muestran en la tabla 6.

Tabla 6*Estado de resultados 2019-2025*

	2021	2022	2023	2024	2025
Ingresos		2.576.269.214	2.712.852.405	2.746.923.572	2.815.448.791
Costos		1.519.773.128	1.618.935.401	1.657.620.798	1.699.062.927
Utilidad bruta		1.056.496.086	1.093.917.004	1.089.302.774	1.116.385.864
Flujo de caja	- 1.617.000	1.056.496.086	1.093.917.004	1.089.302.774	1.116.385.864
VAN		2.694.578.401			
TIR		65340%			

El VAN es positivo, lo que quiere decir que el proyecto es rentable para implementarlo; el TIR es positivo, lo que quiere decir que la empresa recupera el 100% de la inversión inicial de S/1,617,000 en los próximos 4 años.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Al implementar el *balanced scorecard* en la empresa, se logrará alinear la comunicación de metas y resultados con de la visión estratégica, se concluiría con éxito la integración de la metodología con las plataformas existentes SIAS, que será el sistema que integre las bases de datos del sector saneamiento, siendo fundamental para el seguimiento, evaluación y logro de los objetivos estratégicos del período 2023-2026. Se estima que en un periodo 3 años, se logrará un aumento en la agregación de valor de 150%, se mostrará una mejora del 50% en los procesos clave y aumentará en 20% la satisfacción de los empleados.

Después de haber analizado la cadena de suministro, la principal fortaleza de SEDAPAL es la capacidad de atención del servicio, integrando a los proveedores y clientes, ello es factible por las diversas fuentes de financiamiento que obtiene.

Luego de implementar la capacitación al personal operativo, se evidencia mejora en todos los procesos, en mayor medida los que son críticos y tienen un impacto directo en el cliente. De esta forma se incrementa la productividad de la empresa. Al implementar la mejora en los procesos que involucran la gestión de proyectos, se logra la meta de tener procesos claros para mitigar observaciones o retrasos, que puedan ser replicados en las diferentes EPS.

Recomendaciones

Actualmente, el sector saneamiento cuenta con plataformas para el seguimiento de las inversiones y el incremento de la cobertura, se debe crear un proyecto que integre al SIAS progresivamente como la “Plataforma de Registro, Evaluación y Seguimiento de Expedientes Técnicos” y la “Plataformas de seguimiento de los prestadores del sector saneamiento”. Adicionalmente, la empresa debe revisar periódicamente sus objetivos estratégicos, considerando que el MVCS ha actualizado en el período 2020-2021 sus objetivos estratégicos e impactan en las metas de la dirección de proyectos y debe implementar un “Programa de concientización sobre el uso adecuado de los recursos” y un “Programa de comunicación sobre el estado de los proyectos y obras”, el cual dará visibilidad a la población y transparencia en el cumplimiento.

Referencias

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2021). *El agua en cifras*. Lima: ANA. Obtenido de El agua en cifras.
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (01 de 09 de 2021). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Washington D.C.: BID. Obtenido de BID Mejorando vidas.

- Barreto-Dillon, L., Basani, M., De Simone, F., & Cotlear, B. (2018). *Transparencia: Impulsando eficiencia en empresas proveedoras de servicios de agua y saneamiento: Buenas prácticas en cuatro empresas de América Latina*. México: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Chopra, S. (2020). *Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management*. Dorset: Pearson.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (10 de 2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú*. Lima: CEPAL.
- Council, S. C. (2005). *Supply Chain Operations Reference model*. Washington: Supply Chain Council.
- David, F. R. (2020). *Administración Estratégica*. México: Pearson Educación.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (18 de 06 de 2019). *Comunicado de prensa 06.2019*. Nueva York: UNICEF.
- Fondo Monetario Internacional [FMI]. (2021). *Informes de perspectivas de la economía mundial*. Nueva York: FMI.
- García, M., Godines, G., Pineda, B., & Reyes, J. (2015). Derecho al agua y calidad de vida. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 16.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Infogon Web SA.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (11 de 06 de 2020). *Estado de la población peruana 2020*. Lima: INEI. Obtenido de Estado de la población peruana 2020.
- Johnson, G., & Scholes, K. (2004). *Dirección Estratégica*. Madrid-España: Pearson Educación.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy*. Boston: Harvard Business School Press.
- Lledo, P. (2013). *Director de Proyectos*. Canada: ISBN.
- Malásquez Ruiz, L. (2016). *Investigación Operativa II*. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Martin, K., & Osterling, M. (2014). *Value Stream Mapping*. McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (2021). *Informe de actualización de proyecciones macroeconómicas 2021-2024*. Lima: MEF.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [VIVIENDA]. (24 de 12 de 2021). *Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026*. Lima: VIVIENDA.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2021). *Evaluación ambiental del Perú*. Lima: OEFA. Obtenido de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (20 de 12 de 2020). *Seis temas transversales de la subregión*. Nueva York: FAO.
- Perez Franco, R. (2016). *Rethinking your supply chain strategy*. Cambridge: MIT Supply Chain Strategy Lab.
- Perez-Franco, R., Phadnis, S., Caplice, C., & Sheff, Y. (03 de 10 de 2015). Rethinking supply chain strategy as a conceptual system. *International Journal of Production Economics*. Obtenido de International Journal of Production Economics.

- Porter, M. (2008). *Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia*. Estados Unidos: Harvard Business Review.
- Project Management Institute [PMI]. (02 de 01 de 2021). *Project Management Institute Foundational*. PMI.
- Saaty, T. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publicati6ns.
- Saaty, T. (02 de 01 de 2022). *Teoría ANP*. Pittsburgh: Super Decisions.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (02 de 10 de 2020). *Estrategias para garantizar la disponibilidad hídrica para los próximos años*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (01 de 07 de 2021). *Cambiando de vidas: Gestión y retos de Sedapal al 2030*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (23 de 03 de 2021). *Memoria anual 2020*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (02 de 01 de 2021). *Quiénes somos*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (28 de 01 de 2022). *Estado de resultados integrales 2019-2025*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima [SEDAPAL]. (31 de 01 de 2022). *Indicadores de Desempeño IV Trim 2020*. Lima: SEDAPAL.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2016). *Estudio de vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurin y parte alta del Mantaro*. Lima: SENAMHI.
- Super Decisions. (02 de 01 de 2000). *Super Decisions*. Obtenido de <http://www.superdecisions.com/>
- Super Decisions versión 3.2. (2019). Super Decisions.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (23 de 12 de 2021). *Proyecto de Estudio Tarifario de SEDAPAL S.A.* Lima: SUNASS .
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (18 de 09 de 2021). *Sunass el regulador de agua potable*. Lima: SUNASS.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2021). *Tarifas*. Lima: SUNASS. Obtenido de Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (15 de 03 de 2022). *Benchmarking regulatorio de las EP 2021*. Lima: SUNASS.
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Weinberger, K. (2009). *Estrategia para lograr y mantener la competitividad de la empresa*. Lima: Media Corp Perú.

Impacto de la pandemia de COVID -19 en el sector del transporte pesado de carga: Empresas de la Provincia de Pichincha como caso de estudio

Impact of the COVID -19 Pandemic on the Freight Transport Sector: Companies in the Province of Pichincha as a Case Study

Claudia Mosquera¹ <https://orcid.org/0000-0003-1511-4126>

Jorge Chicaiza-Vaca^{1,2} <https://orcid.org/0000-0003-0184-7484>, Belén Pinza¹ <https://orcid.org/0000-0003-3696-8331>

¹*Centro de Investigación y Desarrollo en Sistemas de Transporte y Logística – Cámara de Transporte Pesado de Pichincha, Quito, Ecuador*
c.mosquera@ctpp.org.ec, b.pinza@ctpp.org.ec

²*Centro Internacional para la Migración y el Desarrollo (CIM-GIZ), Eschborn, Alemania*
investigacion@ctpp.org.ec

Enviado: 2022/05/27

Aceptado: 2022/06/24

Publicado: 2022/06/30

Resumen

La pandemia de COVID-19 ha causado estragos en todo el mundo, con profundas implicaciones económicas, medioambientales y sociales. La demanda del servicio de transporte terrestre de carga es un indicador de la situación económica de un país en desarrollo como Ecuador. El objetivo principal de este trabajo es evaluar el impacto económico causado por la pandemia COVID-19 en el transporte terrestre de carga (TTC). Para ello, se utilizó una muestra de 212 empresas de la provincia de Pichincha segmentadas por tamaño, es decir, grandes (10), medianas (63), pequeñas (49) y microempresas (90), analizando la información respecto a los ingresos por ventas, ventas totales y las utilidades del ejercicio. Como resultados se pudo inferir que las empresas grandes y pequeñas en la provincia fueron las más afectadas, con pérdidas totales de 8 millones y 600.000 de dólares respectivamente. En contraste, las empresas medianas fue el único segmento que logró tener utilidades en positivo de alrededor de 3 millones de dólares. Además, se realizó un análisis general del aporte del TTC en los

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Mosquera, C., Chicaiza-Vaca, J. & Pinza, B. (2022). Impacto de la pandemia de COVID -19 en el sector del transporte pesado de carga: Empresas de la Provincia de Pichincha como caso de estudio. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 214-227.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/941>

sectores productivos. A futuro, este análisis puede ayudar a los planificadores y tomadores de decisiones a aplicar políticas públicas para mejorar el comportamiento del sector y a reaccionar ante futuras recesiones económicas. Acontecimientos como la pandemia de COVID-19 demuestran que el TTC debe ser rápido y flexible, es crucial actuar a corto plazo para incentivar a su recuperación. Finalmente, para una reactivación adecuada del sector es necesaria la cooperación entre los distintos actores de los sectores económicos tanto públicos como privados.

Palabras clave: Análisis Económico, Empresas de Transporte, Sectores Productivos, Necesidad de Transporte, Ecuador.

Abstract

The COVID-19 pandemic wreaked havoc worldwide, with profound economic, environmental, and social implications. The demand for land freight transport indicates the economic situation of a developing country such as Ecuador. The main objective of this work is to evaluate the economic impact caused by the COVID-19 pandemic on land freight transport (TTC, acronyms in Spanish). For this purpose, a sample of 212 companies in the province of Pichincha was used, segmented by size, i.e., large (10), medium (63), small (49) and micro-companies (90), analyzing information regarding sales revenue, total sales, and profits for that period. The results showed that large and small companies in the province were the most affected, with total losses of US\$8 million and US\$ 600,000, respectively. In contrast, the medium-sized companies were the only segment that achieved positive profits of around US\$ 3 million. In addition, a general analysis was made of the contribution of the TTC in these productive sectors. In the future, this analysis may help planners and decision-makers implement public policies to improve the sector's performance and react to future economic downturns. Events such as the COVID-19 pandemic demonstrate that the TTCD must be quick and flexible; acting in the short term is crucial to encourage recovery. Finally, a proper revival of the sector requires cooperation between the various public and private economic players.

Keywords: Economic Analysis, Transportation Companies, Productive Sectors, Transportation Needs, Ecuador.

Introducción

El brote de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) a principios de 2020 es uno de los peores desastres de la historia de la humanidad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hubo 34.804.348 casos confirmados acumulados de COVID19 en todo el mundo y más de 1.030.738 casos de muerte (OMS, 2020). La incertidumbre de la pandemia fue un serio desafío para el mundo entero y para Ecuador, en términos del comportamiento de consumo y de la actividad económica. Por lo tanto, entender el efecto que provocó esta situación en el volumen de negocio del transporte terrestre de carga (TTC) es fundamental.

El TTC es clave para la gestión logística moderna, que es, a su vez, uno de los pilares de la gestión de la cadena de suministro. La gestión de la cadena de suministro ha evolucionado hasta convertirse en una disciplina fundamental para cualquier actividad relacionada con la producción y comercialización de bienes. Dentro de ella, el TTC es un componente clave, centrando su acción en la organización de los flujos físicos de mercancías e información. La logística abarca algo más que el transporte; también contempla el movimiento de mercancías en el espacio y tiempo (Calatayud & Montes, 2021).

La gestión logística busca minimizar el costo del transporte no de forma aislada. Reducir el costo combinado del transporte y el almacenamiento, tanto en términos del valor físico del almacenamiento como del costo financiero del inventario inmovilizado. Los generadores de carga tratan de gestionar eficazmente sus cadenas de suministro minimizando el costo logístico total, garantizando la calidad del servicio a lo largo de la cadena de suministro. Aunque el transporte es uno de los componentes de la logística, es uno de los fundamentales (Barbero et. al, 2020).

Pese a que el sector del TTC presenta las características de un mercado muy competitivo, homogéneo y atomizado, se observa que la cantidad de oferentes se reduce a medida que aumenta la complejidad de las operaciones demandadas. Por ejemplo, es común observar una amplia oferta de transportistas para carga general, y una mucho más reducida para cargas especiales o para operaciones logísticas (Barbero et. al, 2020). Las empresas de mayor tamaño e incluso algunas individuales se agrupan en cámaras como es el caso de la Cámara de Transporte Pesado de Pichincha (CTPP) en búsqueda de intereses comunes frente a los generadores de carga, así como frente a las autoridades locales y nacionales para de esta manera mejorar las condiciones generales del sector. Las cámaras agrupan a las empresas por su ubicación geográfica, por su especialización de oferta o, a veces, por ambos factores, generando multiplicidad de cámaras, asociaciones y federaciones, lo que refleja la complejidad del sector.

En este contexto, por un lado, Baqaee y Farhi (2022) han analizado los efectos del COVID-19 en la relación entre la oferta y la demanda, basándose en modelos o teorías económicas. En cuanto a la oferta, varias empresas se vieron forzadas a reducir la producción o comercialización de sus productos, debido a las medidas de bioseguridad como aforos limitados por lo cual no podían contar con el 100 % de su personal operativo. En cuanto a la demanda, los mercados de equipos médicos de emergencia, los equipos de protección personal y los alimentos sanos se incrementaron tras el brote de COVID-19. Por lo tanto, la gente acaparó suministros por miedo a la escasez durante la pandemia (Ludvigson, et al., 2020). La pandemia provocó incertidumbre y dificultades económicas, pero también creó nuevas oportunidades y cambió el entorno empresarial. La pandemia modificó el comportamiento de consumo, aumentando la demanda de servicios de entrega y de compras en línea (Liu et al., 2020). Esto se relaciona en un principio con el aumento del volumen de TTC durante la pandemia y la alta demanda de suministros.

Por otro lado, varios trabajos consideran que el COVID-19 es perjudicial para el sector del TTC (Gonzalez et al., 2022; Ho et al., 2021; Munawar et al., 2021; Xu et al., 2021). Estos estudios se centran en el impacto negativo sobre los volúmenes de carga del TTC debido, en ciertos casos, a la disminución de los inventarios de las diferentes empresas industriales de la economía durante la crisis. En contraste, no existen investigaciones que realicen este tipo de análisis para el caso del TTC en Ecuador.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el impacto económico en el TTC en el contexto ecuatoriano, causado por la pandemia COVID-19. Los resultados consideran información respecto a los ingresos por ventas, ventas totales y las utilidades del ejercicio para una muestra de empresas de la provincia de Pichincha. Estos resultados pueden ayudar a los planificadores locales o nacionales a aplicar políticas para mejorar el comportamiento del TTC y a reaccionar ante futuras recesiones económicas causadas por crisis o pandemias futuras. Acontecimientos como la pandemia demuestran que el TTC debe ser rápido y flexible, es crucial actuar a corto plazo para incentivar a su recuperación. Además, para un

restablecimiento adecuado del sector es necesario la cooperación entre los distintos actores de los sectores económicos tanto públicos como privados.

Materiales y Métodos

En primera instancia se realizó un análisis de fuentes secundarias para determinar la importancia del sector de transporte terrestre de carga en la economía nacional. Segundo, se recolectó información de la Superintendencia de Compañías de Ecuador. La base de datos permitió recoger, través de diferentes consultas, toda la información necesaria sobre las ventas y los ingresos netos. Los datos fueron agregados por año para evaluar su tendencia y se extrajeron para los años 2019 y 2020.

Las empresas se dividieron en cuatro grupos en función del nivel de ingresos.

- **Grandes empresas:** Estas empresas son relativamente pocas, pero debido a su tamaño y capacidad de dominar un mercado determinado, generan la mayor parte de las ventas totales cuando se consideran todos los tamaños de empresas en Ecuador. Tienen unos ingresos por ventas de más de 5 millones de dólares.
- **Empresas medianas:** Estas organizaciones son más grandes que las pequeñas empresas, pero más pequeñas que las grandes empresas. Suelen tener unos ingresos por ventas anuales de entre 1 y 5 millones de dólares.
- **Pequeña empresa:** La mayoría de las empresas en Ecuador se encuentran en esta categoría. Las características típicas de una pequeña empresa son ingresos anuales por ventas entre 100.000 y 1 millón de dólares.
- **Las microempresas:** Tienen unos ingresos de ventas anuales que no superan los 100.000 de dólares.

Se seleccionó la región de Pichincha como muestra de empresas. En la región hay un total de 1.512 empresas de servicios de transporte terrestre de carga. Considerando la clasificación de las empresas, se utilizaron las más representativas para el análisis, entotal de 212 empresas. En el caso de las grandes empresas, se seleccionaron 10 (todas las del segmento) en función de su importancia en el sector. En el caso de las medianas (63), pequeñas (49) y microempresas (90), se seleccionó una muestra del 10% de las empresas con mayores ventas del segmento.

En primera instancia se realizó la comparación de cada segmento empresarial, tomando en cuenta 2 aspectos: i) ingresos percibidos y ii) utilidad neta, para lo cual se hizo la sumatoria total de los ingresos y utilidad de toda la muestra por segmento.

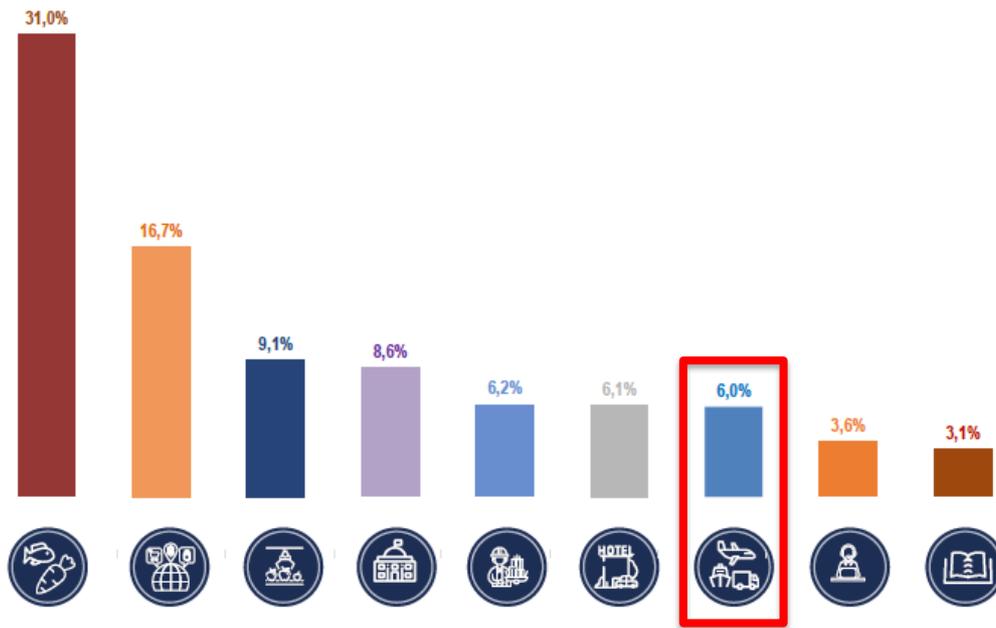
Resultados y Discusión

Importancia del Transporte de Carga en la Economía Nacional

Según los datos presentados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el sector del transporte tiene una participación de 6,0% en relación a la población económicamente activa, ubicándose en el sexto puesto de 13 sectores (Figura 1).

Figura 1

Participación del Transporte de Carga en el Empleo Nacional



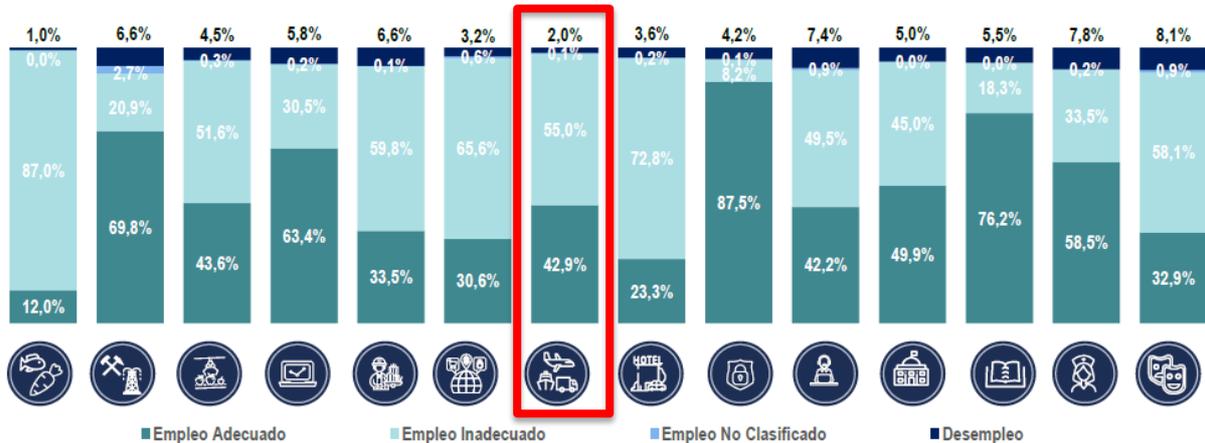
Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

En relación a la situación de empleabilidad del sector, se pudo identificar que el transporte presenta, en su mayoría, empleo inadecuado (55 %), mostrando la falta de formalidad que existe en el sector (Figura 2).

Pese a que las ventas locales en la provincia de Pichincha se ubican en el segundo lugar dentro de las 5 provincias con mayores ingresos a nivel nacional, las exportaciones, movidas en su mayoría por el transporte pesado, representan el porcentaje más alto del país (Figura 3).

Figura 2

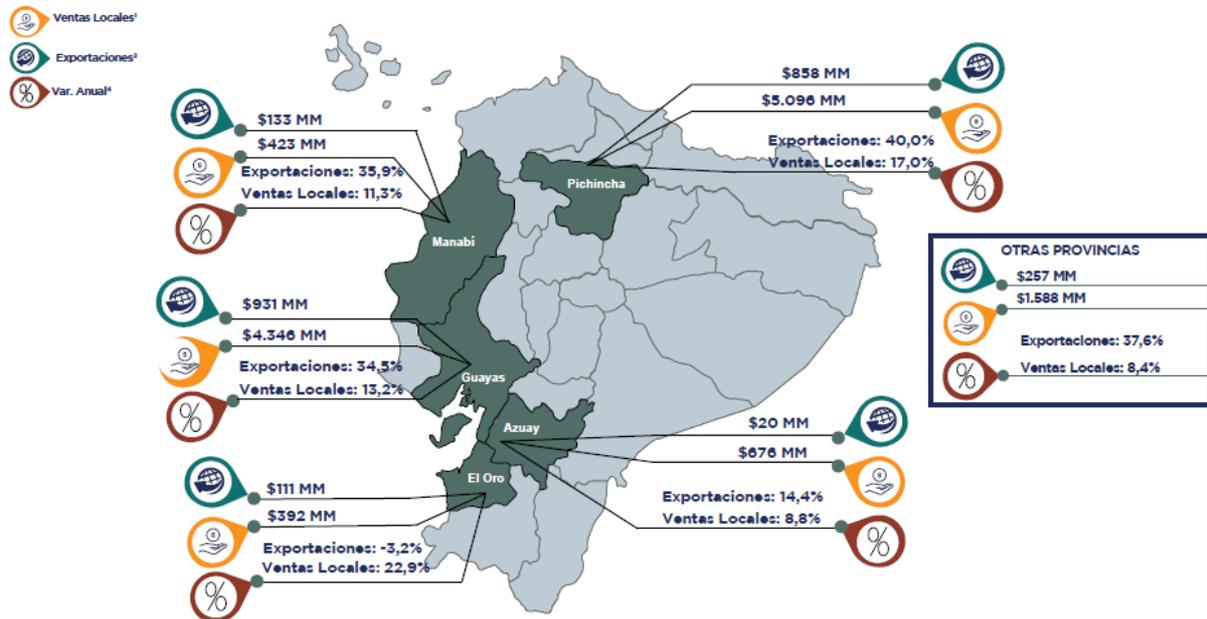
Situación de Empleabilidad Mensual por Sector Productivo



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 3

Mapa de Ventas y Exportaciones por Provincia



Nota: Servicio de Rentas Internas (SRI, 2022)

Impacto del COVID-19 en las Empresas de Transporte Terrestre de Carga de la Provincia de Pichincha

En el caso de los ingresos por ventas de las empresas grandes, para el período de tiempo analizado, los resultados mostraron un descenso de 5,62 % en el año 2020. Un comportamiento similar se evidenció con respecto a los ingresos totales, señalando un decrecimiento de 10,02 % de un año al otro (Figura 4). En lo que respecta a la utilidad neta, las empresas grandes revelaron una evidente disminución, reflejando que en el año 2020 existe una utilidad negativa significativa con una pérdida total de casi 8 millones de dólares, en contraste con la utilidad del año 2019 de 1,4 millones de dólares (Figura 5).

Respecto a los ingresos por ventas percibidos por la muestra de empresas medianas analizada, se pudo identificar que existió un descenso de 1,2 % respecto al año 2019; mientras que, para los ingresos totales del segmento, se evidenció un comportamiento contrario, identificándose así, un incremento de 2,36 % en el año 2020; aduciendo que las empresas en el período de pandemia pudieron tener ventas de activos, reducción de personal, que son los rubros que afectarían directamente al ingreso total (Figura 6). La utilidad registrada para el año 2020 indicó una evidente reducción de 2,22 % respecto al año 2019, cuando se presentaron las primeras medidas de protección respecto a la pandemia (Figura 7).

En el caso de los ingresos percibidos las pequeñas empresas, se identificó un comportamiento totalmente opuesto a los dos segmentos analizados anteriormente, pues para éstas, el año 2020 representó el incremento de 0,09 % y 0,22 % en sus ingresos por ventas e ingresos totales, respectivamente. Se podría analizar que estas, al tener el costo de flete más bajo, el sector público y privado, las empezó a utilizar con mayor frecuencia, para bajar sus gastos, por el impacto económico que representó la pandemia (Figura 8). El comportamiento de la sumatoria de utilidad neta de la muestra de pequeñas empresas mostró que existió una pérdida considerable de 194.500 dólares respecto al año 2019 (Figura 9), presumiendo los siguientes factores: mal cálculo de sus costos versus sus ingresos, falta de asesoramiento para una adecuada declaración tributaria, entre otros.

Con relación a los ingresos en ventas de la muestra de microempresas analizada, se identificó que para el año 2020 existió un decrecimiento de 33,16 % en relación al año 2019; mientras que la variación de los ingresos totales fue mucho más notoria, mostrando que, para el año 2020, descendieron un 67,91 % (Figura 10). Aduciendo estos cambios a los factores siguientes: i) declaraciones tributarias tienden a ser en cero dólares, ii) no son empresas organizadas, iii) existe una sobre población en este segmento, por falta de control de la autoridad.

Respecto a la utilidad neta registrada para la muestra de microempresas escogida, se observó una pérdida total de alrededor de 140.000 dólares para el año 2020, en contraste con las utilidades del año 2019 de cerca de 2 millones de dólares (Figura 11), evidenciando que la pandemia afectó gravemente la utilidad que recibían estas empresas.

Figura 4

Ingresos Percibidos Empresas Grandes años 2019 y 2020



Figura 5

Utilidades Empresas Grandes años 2019 y 2020

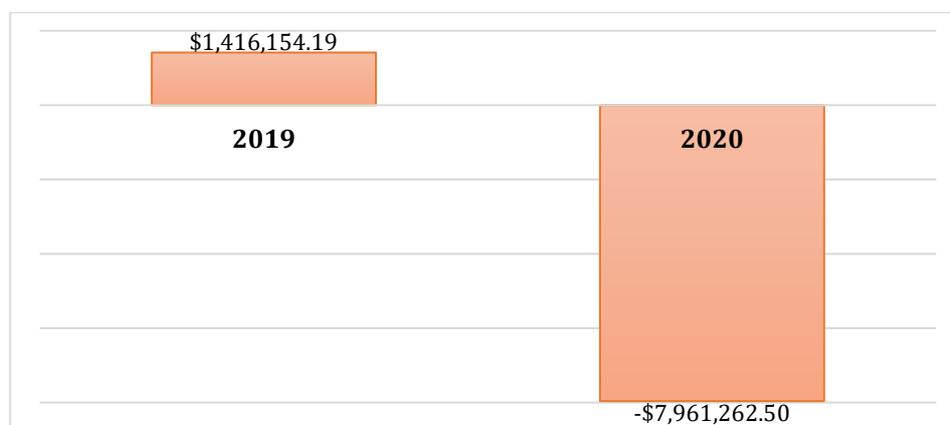


Figura 6

Ingresos Percibidos Empresas Medianas años 2019 y 2020



Figura 7

Utilidades Empresas medianas años 2019 y 2020



Figura 8

Ingresos Percibidos Empresas Pequeñas años 2019 y 2020

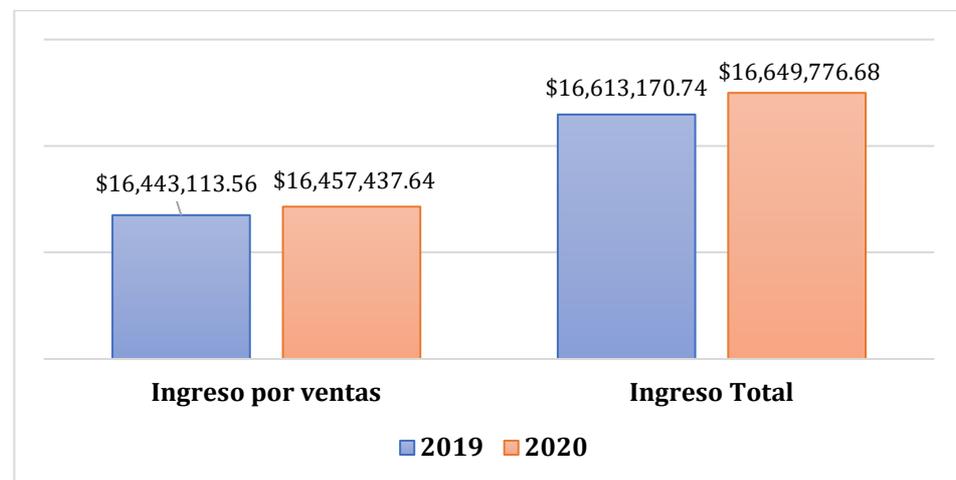
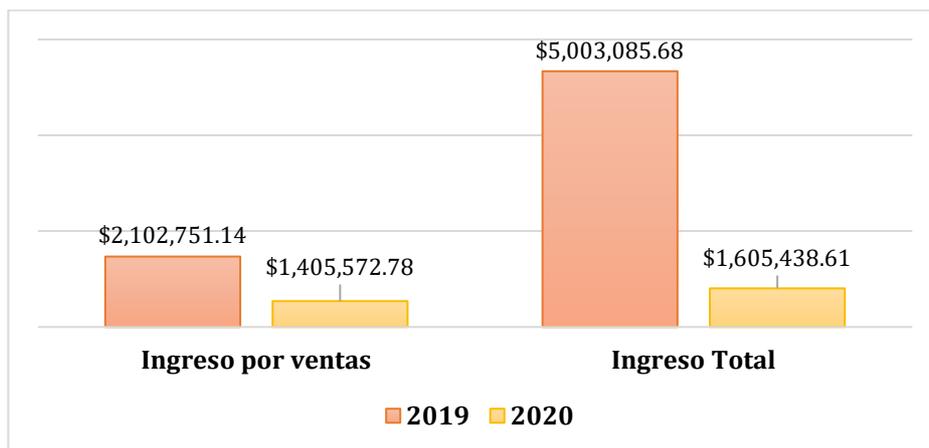
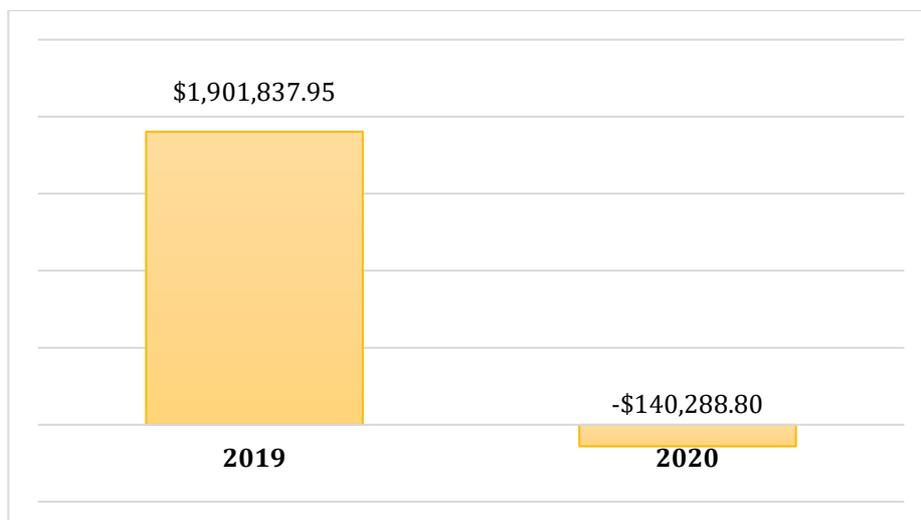


Figura 9*Utilidades Empresas pequeñas años 2019 y 2020***Figura 10***Ingresos Percibidos Empresas Micro años 2019 y 2020***Figura 11***Utilidades Empresas Micro años 2019 y 2020*

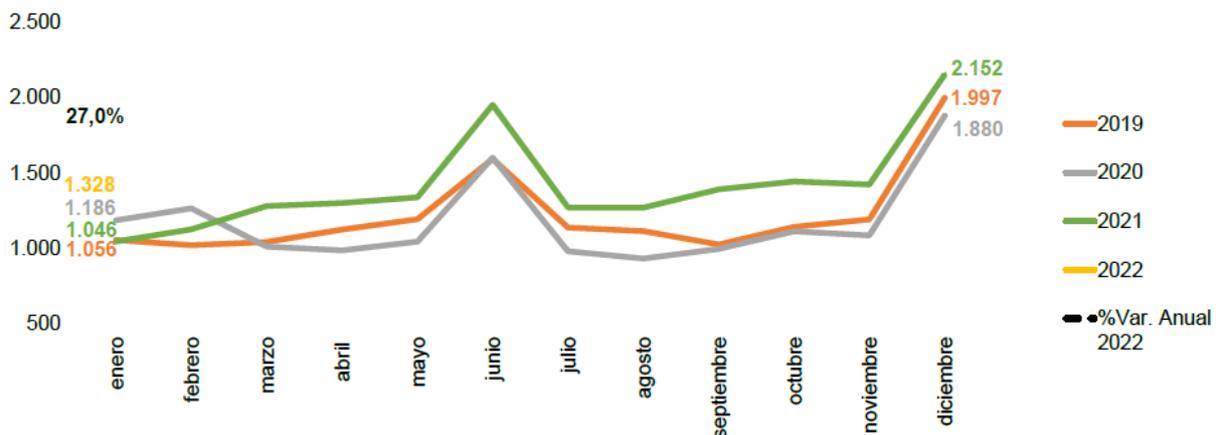
Necesidades de Vehículos de Transporte de Carga Pesada en la Provincia de Pichincha

Por un lado, según los datos presentados en la Revista Gestión Digital y por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), en el año 2019, la cantidad de vehículos matriculados en la provincia de Pichincha se situó en 23.674, mostrando un incremento a 26.066 vehículos de carga pesada para el año siguiente, como se muestra en el cuadro precedente. Pese a que, de un año al otro, el parque automotor creció en un 10 %, el ingreso de vehículos nuevos al segmento de transporte presentó una disminución en un 7 %, lo que permite evidenciar las consecuencias económicas de la pandemia.

Por otro lado, en el caso de las ventas registradas en los sectores de: agricultura, silvicultura, ganadería y pesca; manufactura; construcción e inmobiliaria; comercio y transporte y almacenamiento se identifica un comportamiento de descenso del nivel año 2020 a nivel nacional (Figura 12-17). Con estimaciones para los años 2021 y 2022, con la tendencia actual, en ninguno de los casos se llegan a los niveles de ventas el año 2019, año previo a la pandemia. Esto representa una pérdida directa en el nivel de ingresos para el transporte de carga pesada, que es el encargado de mover los productos terminados, materias primas, e insumos de estos sectores productivos.

Figura 12

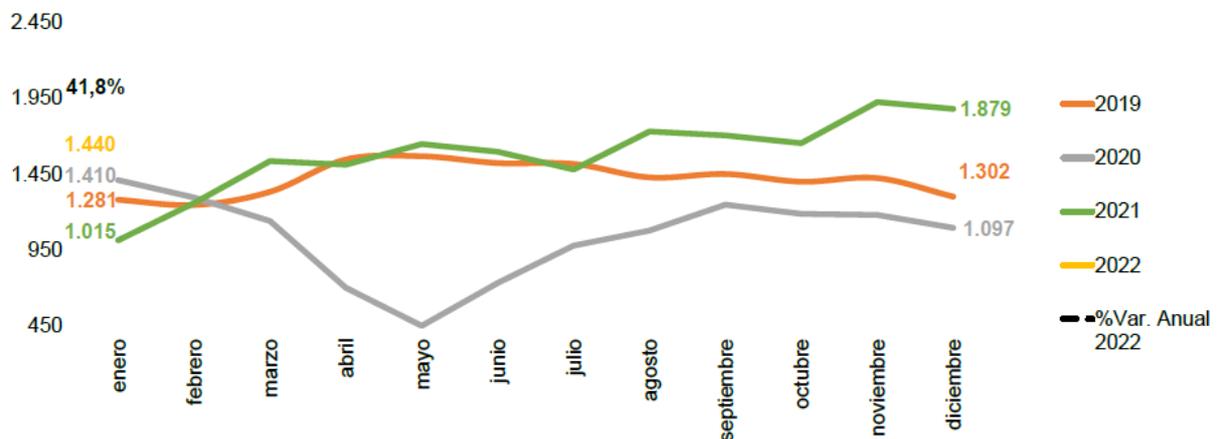
Ventas Netas en el Sector de Agricultura, Silvicultura, Ganadería y Pesca



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 13

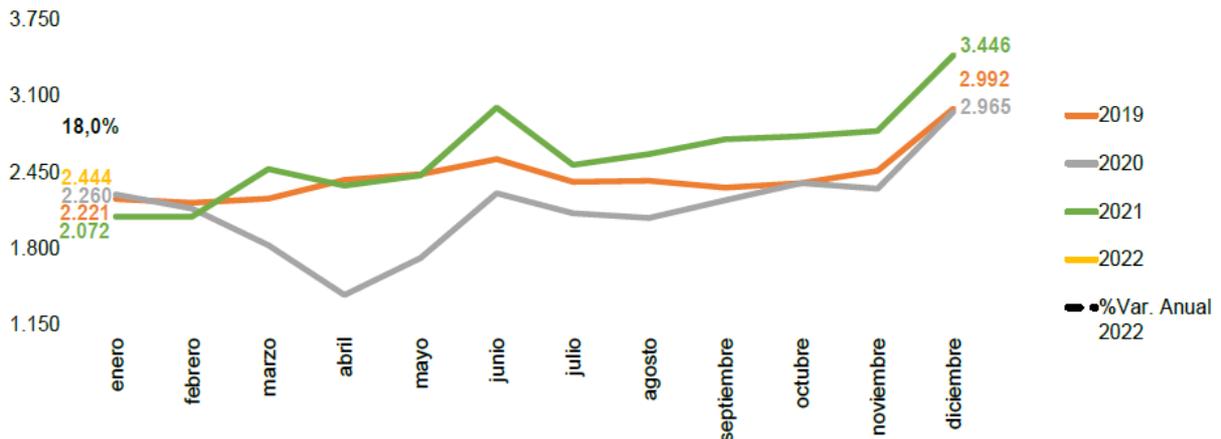
Ventas Netas en el Sector de Petróleo y Minería



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 14

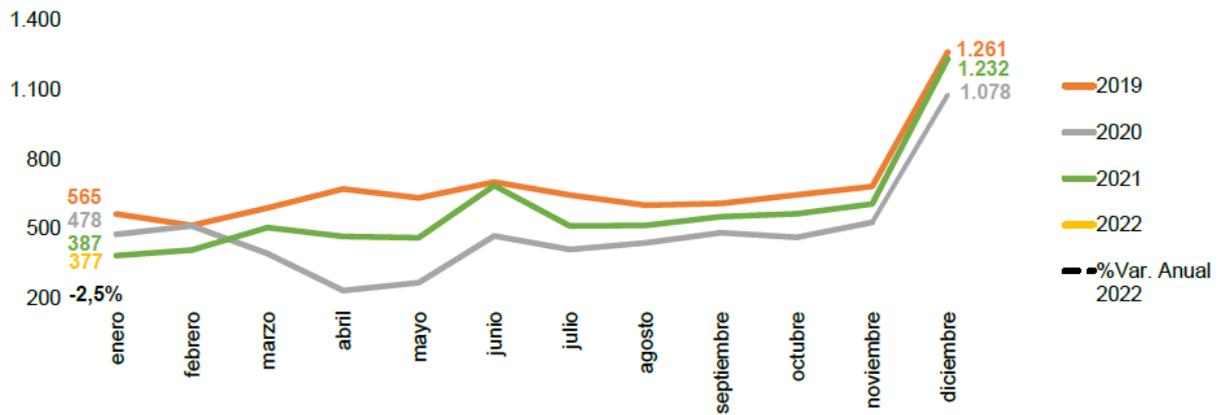
Ventas Netas en el Sector de Manufactura



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 15

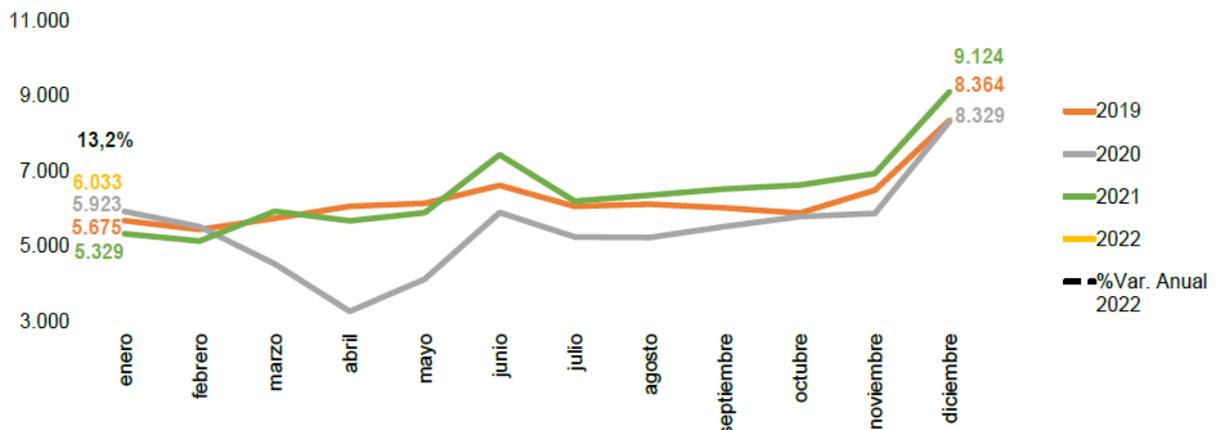
Ventas Netas en el Sector de la Construcción e Inmobiliario



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 16

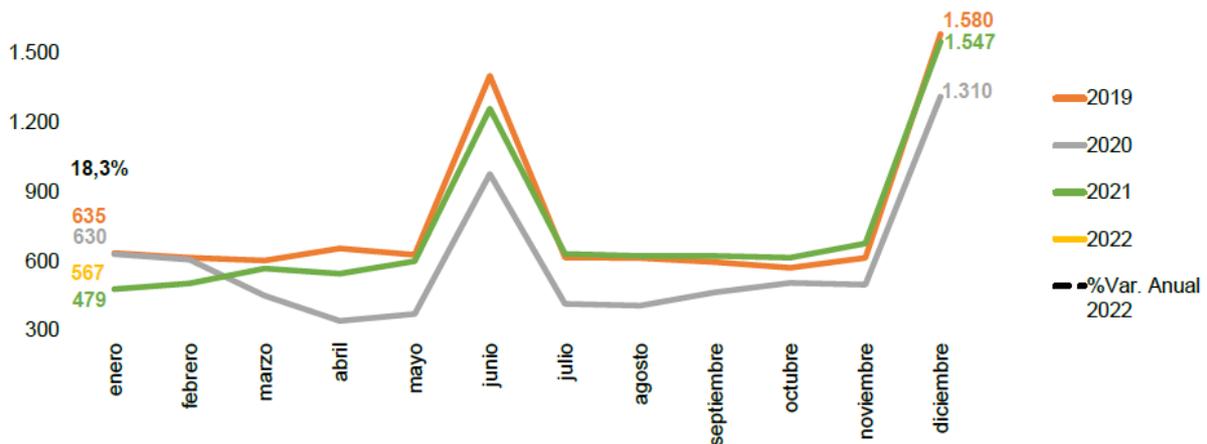
Ventas Netas en el Sector de Comercio



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Figura 17

Ventas Netas en el Sector de Transporte y Almacenamiento



Nota: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

Conclusiones

La pandemia de COVID -19 ha tenido un impacto negativo en el crecimiento del sector del TTC en la provincia de Pichincha debido a las diversas limitaciones creadas por la rápida propagación de la pandemia. El TTC no creció tanto como en años anteriores, su rentabilidad se vio afectada, como se muestra en los resultados de casi todos los segmentos de empresas tuvieron pérdidas en el año 2020.

Es necesario tomar en cuenta la situación del empleo en el sector del TTC (55 % empleo inadecuado) que muestra una realidad que podría cambiar si se realizan los controles adecuados por parte de las entidades correspondientes. Además, se debería tender a la profesionalización del sector. Por otro lado, Pichincha es la provincia que maneja el porcentaje de exportaciones más alto del país, por lo que, es importante mantener y desarrollar a las empresas de transporte pesado, pues contribuyen a dinamizar la economía de todo el país. Así también, este trabajo sirvió para verificar que las ventas tanto de los sectores productivos, como del transporte, en el año de inicio de la pandemia, se vieron disminuidos a nivel nacional, puesto que se tomaron medidas restrictivas en cuanto a transporte, movilidad, y todo tipo de medidas de bioseguridad que garanticen la preservación de la salud.

Este análisis puede ayudar a los planificadores y tomadores de decisiones a adoptar políticas para mejorar el comportamiento del TTC y responder a futuros períodos económicos inusuales. Por lo tanto, se analizan los siguientes puntos de vista para fortalecer el sector:

- Es posible que los programas de crédito a largo plazo deban volver a planificarse y priorizarse a la luz de la reducción de los ingresos.
- Las organizaciones deben planificar la disponibilidad de personal clave para garantizar que los empleados con habilidades y formación crítica estén disponibles para mantener las redes operativas después de una pandemia.
- Es posible que el comportamiento de los fletes y viajes no se recuperen a los niveles anteriores a la pandemia. Las empresas tendrán que replantearse sus operaciones y modelos de negocio.

Se recomienda que, las autoridades de control previo la concesión de nuevos Permisos de Operación, realicen un control de las capacidades técnicas y operativas de las operadoras de

transporte ya existentes, permitiendo así identificar cuáles son aquellas que realmente cumplen la función y objetivo para el cual fueron creadas. Esto dado al incremento sustancial del parque automotor de vehículos de TTC.

Aunque el presente estudio se llevó a cabo para determinar el impacto de COVID-19 en el TTC en las empresas de la provincia de Pichincha, la región de estudio es restringida, y no puede extrapolarse a otras provincias. Por lo tanto, el alcance del estudio podría ampliarse, tomando la muestra de otras regiones del Ecuador, llevando a cabo un análisis más detallado del impacto en todo el país. Aparte de la muestra y la región, el estudio se preparó en un período limitado, debido a lo cual fue difícil completar un análisis prospectivo, ya que requería pruebas estadísticas más sofisticadas. En este contexto, un análisis antes, durante y después de la pandemia resulta de suma importancia para complementar la presente investigación, además, se podría realizar con una muestra de empresas a nivel nacional.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Centro Internacional para la Migración y Desarrollo dentro del programa de Expertos Retornados 2021/2023.

Referencias

- Baqace, D., & Farhi, E. (2022). *Supply and demand in disaggregated keynesian economies with an application to the covid-19 crisis*. *American Economic Review*, 112(5), 1397-1436.
- Barbero, J. (2010). *La logística de cargas en América Latina y el Caribe: una agenda para mejorar su desempeño*. Washington, DC: BID - IDB-TN-103.
- Barbero, J. A., Fiadone, R., & Millán Placci, M. F. (2020). *El transporte automotor de cargas en América Latina*. Washington, DC: Nota técnica del BID; 1877.
- Calatayud, A., & Montes, L. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción*. Washington, DC.
- Gonzalez, J. N., Camarero-Orive, A., González-Cancelas, N., & Guzman, A. F. (2022). *Impact of the COVID-19 pandemic on road freight transportation—A Colombian case study*. *Research in Transportation Business & Management*, 100802.
- Ho, S. J., Xing, W., Wu, W., & Lee, C. C. (2021). *The impact of COVID-19 on freight transport: Evidence from China*. *MethodsX*, 8, 101200.
- INEC, (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Censos en cifras*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/inec-publica-las-cifras-de-inflacion-de-marzo-2022/>
- Liu, M., Choo, W. C., & Lee, C. C. (2020). *The response of the stock market to the announcement of global pandemic*. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(15), 3562-3577.
- Ludvigson, S. C., Ma, S., & Ng, S. (2020). *COVID-19 and the macroeconomic effects of costly disasters* (No. w26987). National Bureau of Economic Research.
- Munawar, H. S., Khan, S. I., Qadir, Z., Kouzani, A. Z., & Mahmud, M. A. (2021). *Insight into the impact of COVID-19 on Australian transportation sector: An economic and community-based perspective*. *Sustainability*, 13(3), 1276.
- OMS, (2020). <https://covid19.who.int/table/>
- SRI, (2022). *Servicio de Rentas Internas*. <https://www.sri.gob.ec/estadisticas-sri>

Xu, Y., Li, J. P., Chu, C. C., & Dinca, G. (2021). *Impact of COVID-19 on transportation and logistics: a case of China*. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 1-19.

Caso práctico de localización óptima de centros logísticos para agro-productores

Case study of optimal location on logistics centers for agro-producers

Jennifer Arellana-Guzman¹ <https://orcid.org/0000-0003-0042-2783>,
Julián Arellana Ochoa¹ <https://orcid.org/0000-0001-7834-5541>, Víctor Cantillo Maza¹
<https://orcid.org/0000-0003-1184-2580>, Carlos Otero Palencia² <https://orcid.org/0000-0001-7517-0918>

¹Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia
arellana@uninorte.edu.co, jarellana@uninorte.edu.co,
victor.cantillo@uninorte.edu.co

²University of California Davis, Davis CA, USA
cjotero@uninorte.edu.co

Enviado: 2022/05/25

Aceptado: 2022/06/24

Publicado: 2022/06/30

Resumen

En América latina, gran parte de la producción agrícola está a cargo de pequeños productores con bajos nivel de tecnificación y carentes de procesos logísticos robustos, lo cual limita la posibilidad de acceder a grandes mercados con precios competitivos, afectando sus posibilidades de crecimiento económico y bienestar. Esta investigación desarrolla un modelo para la localización óptima de instalaciones (centros de acopio) para productores agrícolas, donde se logra consolidación de los productos. El propósito es reducir costos logísticos y de transporte mediante explotación conjunta de economías de escala, considerando la variabilidad de algunos de los factores del modelo y analizando escenarios. Las sinergias entre productores permitirían aumentar el acceso a grandes mercados, facilitar procesos de consolidación y agregación de valor. Se formuló un modelo de programación lineal entero mixto que consiste en una red de centros de acopio compartidos, multiproducto, multicliente, multiperíodo, con opción de viajes directos o a través de los centros consolidadores. El sistema está apoyado en una plataforma web prototipo que permitirá a los agro-productores mayor participación y poder de negociación comercial. Se realizó una aplicación del modelo a pequeños productores del departamento Atlántico, Colombia, cuyos resultados verificaron las bondades de la propuesta. Este estudio comprobó los centros de acopio generan potenciales beneficios económicos para

Sumario: Introducción, Antecedentes, Metodología, Resultados y Conclusiones.

Como citar: Arellana-Guzman, J., Arellana, J., Cantillo, V. & Carlos Otero-Palencia, C. (2022). Caso práctico de localización óptima de centros logísticos para agro-productores. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 228-246. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/940>

el sistema. Los principales factores que influyen los resultados de la aplicación del modelo son los niveles de producción, la distancia transportada y calidad de productos.

Palabras clave: Centros de acopio, economía de escala, localización de instalaciones, transporte, sinergia.

Abstract

In Latin America, a large part of agricultural production is carried out by small producers with low levels of modernization and lacking robust logistic processes, which limits the possibility of accessing large markets with competitive prices, affecting their economic growth and welfare possibilities. This research develops a model for the optimal location of facilities (agricultural warehouses) for agricultural producers, where product consolidation is achieved. The purpose is to reduce logistics and transportation costs by jointly exploiting economies of scale, considering the variability of some factors, and analyzing scenarios. Synergies between producers would increase access to large markets, facilitate consolidation processes and add value. A mixed-integer linear programming model was formulated, consisting of a network of shared multi-product, multi-customer, multi-period collection centers, with the option of direct trips or through the consolidating centers. The system is supported by a prototype web platform that will allow farmers greater participation and commercial negotiating power. The model was applied to small producers in the department of Atlántico, Colombia, and the results verified the benefits of the proposal. This study proved that agricultural warehouses generate potential economic benefits for the system. The main factors influencing the results are production levels, distance transported, and product quality.

Keywords: Agricultural warehouses, economy of scale, location of facilities, transportation, synergy.

Introducción

El sector agropecuario es un pilar esencial para la seguridad alimentaria y representa un activo valioso para cualquier economía. Particularmente, UPRA (2017)UPRA (2017) afirma que en el departamento del Atlántico-Colombia, el sector agropecuario constituye un factor de trascendental importancia y el campesino representa un elemento de equilibrio económico, social y político en el desarrollo regional. El reporte muestra que, a pesar de que el 82% de la superficie total del territorio es utilizada para el sector rural y la actividad agropecuaria, el sector presenta problemas que les dificultan en gran medida su desarrollo y crecimiento en el mercado, destacando entre ellos el bajo acceso a los mercados grandes, altos costos de transporte, escaso nivel de uso de TICs y bajo desempeño logístico. El análisis de indicadores y tendencias del sector agropecuario en el departamento durante los últimos años muestra que la participación del sector agrícola en el PIB ha tenido una tendencia decreciente (DNA, 2021)(DNA, 2021). Los datos de Agronet (2019)Agronet (2019) indican que, en el departamento del Atlántico, el 50% de la producción agrícola de los productos priorizados en este estudio, lo aportan 3 municipios productores de los 21 que tiene esta región. Además, los agro-productores son mayormente pequeños, con bajo nivel de tecnificación (UPRA, 2017)(UPRA, 2017).

La estructura de producción a pequeña escala dificulta el acceso a los grandes mercados, particularmente por los altos costos logísticos y de transporte. Según Munar (2019),Munar (2019),Munar (2019), los factores de llenado de los camiones en estos casos suelen ser bajos. A su vez, es habitual utilizar vehículos pequeños, que llegan a tener mayores costos por tonelada kilómetro transportada.

La presente investigación propone un modelo para localización óptima de centros de acopio (CA) que facilite mejoras en la logística para movilizar los agro-productos hacia mercados más competitivos. El modelo, apoyado en TICs, define el diseño de una red logística que permite reducción de costos aprovechando economías de escala, a la vez que facilita introducir mejoras en la calidad de los productos en los procesos de selección y manipulación. El modelo se aplica al caso del departamento del Atlántico, Colombia; no obstante, la metodología planteada es suficientemente genérica de manera que pueda ser reproducida en otros contextos.

La estrategia consiste en que los productores puedan asociarse y movilizar mayores volúmenes conjuntos. La utilización de centros de acopio (CA) permite realizar envíos en camiones más grandes que poseen menores costos de transporte por unidad. Además, los CA pueden incluir procesos más rigurosos de calidad y reducir pérdidas por manipulación y almacenamiento.

El modelo de localización de los centros de acopio es un modelo lineal entero mixto que busca maximizar los beneficios de los agro-productores, cuyos ingresos son las compraventas de los productos. El caso objeto de estudio involucra los costos concernientes a la gestión de los CA y del transporte. El modelo consiste en una red que permite tanto envíos directos (sin consolidación) como envíos con paradas en los CA (con consolidación), que consideran incentivos de precios sobre los costos de transporte basados en el volumen (economía de escala). Es un modelo multiproducto, multiproductor, multiciente y multiperíodo. Por fines prácticos, se consideró realizar agregación de datos en la cantidad de agro-productores por municipios productores y en la cantidad de productos por familias de productos; además, se conformaron asociaciones entre los productores por sub-coaliciones.

A pesar de que analizar sub-coaliciones implica un mayor esfuerzo computacional, se hizo necesario para encontrar asociaciones entre los productores, donde tanto a pequeños como medianos y mayores productores se les haga atractivo colaborar y participar en la consolidación de los productos. Este estudio busca considerar condiciones racionales para que diferentes productores participen. Asimismo, a pesar de que un gran productor puede colaborar para que más de un CA alcance economía de escala, esto implicaría que aumenten sus costos individuales, con la recompensa de que será un bien para el sistema; sin embargo, puede que el productor prefiera realizar su envío individualmente y no participar. Considerando que los grandes productores son un factor clave para alcanzar economía de escala, para evitar tal riesgo, se consideró que un productor solo puede usar un CA por viaje.

Adicionalmente, en busca de tomar en cuenta la sensibilidad del modelo a las variables incluidas, se realizó un diseño experimental factorial en donde se combinan tres factores, cada uno en tres niveles. A su vez, para cada formación de sub-coalición se analizan dos escenarios en el que se comparan las ganancias al consolidar los productos, haciendo uso de los CA versus a cuando se realiza individualmente por los CA y por viajes directos al cliente.

El sistema propuesto se apoya en una plataforma web prototipo que servirá como una herramienta para realizar comercio electrónico que permitirá aumentar la participación y poder de negociación de los pequeños agro-productores. El sistema facilita la asociación, consolidando las ofertas de varios productores, utilizando para tal propósito los centros de acopio.

El modelo logístico propuesto ofrece oportunidades a pequeños productores para acceder a mercados más competitivos, mejorando el poder de negociación, agregando valor y

calidad a la oferta. En síntesis, se busca facilitar el desarrollo de formas de comercialización más competitivas, lo cual permitirá avanzar hacia una agricultura más eficiente, equitativa y sostenible, con mayores posibilidades para los pequeños agricultores de mejorar su participación en los mercados.

Antecedentes

Un impulsador que pudiera compensar en parte las dificultades que se presentan en el desarrollo económico del sector, es lograr asociaciones colaborativas, para lo cual resulta particularmente útil la aplicación de TICs. El comercio electrónico facilita la expansión hacia nuevos mercados, aumenta la competitividad y calidad de servicio, y otorga respuesta rápida a las necesidades y cadenas de entrega más cortas o inexistentes, lo que puede dar lugar a una reducción de precios finales e incremento de la producción (Murillo, 2011)(Murillo, 2011). Un ejemplo relevante del alcance del comercio electrónico es Taobao, en China, que es la tienda en línea líder para el comercio de agro alimentos con un modo de comercio Business To Consumer (Yang & Wang, 2015)(Yang & Wang, 2015). En Colombia está la plataforma Comproagro que funciona gratuitamente como una *market place*, donde los agricultores se registran, comparten la información de sus productos y se publica el clasificado, para que posteriormente el comprador y el vendedor concreten la logística (Benavides, 2019)(Benavides, 2019).

Los centros de acopio son instalaciones logísticas que facilitan la consolidación, transporte y comercialización de los productos agrícolas. Dados los recursos requeridos para su operación y mantenimiento, un problema típico es definir la localización óptima de tales facilidades. Para la construcción del modelo de localización de instalaciones, también conocido como Facility Location Problem (FLP), se tomaron como referencia artículos como el escrito por Keskin & Üster (2007)Keskin & Üster (2007), quienes proponen un modelo de localización de instalaciones minimizando costos involucrando análisis multiproducto, costos fijos en los centros de distribución, restricciones capacidad y uso de variable de decisión para definir la localización de los centros de acopio.

Autores como Tsiakis et al. (2001)Tsiakis et al. (2001) estudiaron costos por manipulación de productos y costos de transporte para distintas familias de productos. Los ahorros por economía de escala fueron estudiados por Andrade-Pineda et al. (2015),Andrade-Pineda et al. (2015), quienes modelaron los descuentos por cantidad no lineales en un problema de selección de proveedores mediante una optimización lineal entera mixta, analizan tres métodos alternativos de linealización de la función de costos de descuento de todas las unidades modificadas y abordan los problemas mediante un artilugio que permite reducir el número de variables binarias y, en consecuencia, el número de restricciones enteras, sin afectar el tamaño de la red y beneficiando eficiencia computacional. Definen un conjunto de rangos de descuentos que es aplicado sobre el flujo que se envía en cada arco de la red.

Lu et al. (2018)Lu et al. (2018) propusieron un modelo de localización de instalaciones logísticas a nivel regional en diferentes niveles de las cadenas de suministros. En una red multimodal definen las necesidades de expansión o cierre de instalaciones durante diferentes periodos de tiempo. La configuración de la red envía altos volúmenes entre parques logísticos y centros de distribución, para luego enviar volúmenes más pequeños hacia los clientes. El modelo involucra restricciones de capacidad, balance de masa y sincronización oferta-demanda.

Metodología

Este estudio propone como estrategia para aumentar la competitividad y desarrollo agro-productores un modelo de localización de instalaciones, centros de acopio, apoyado en TICs. Se usó centros de acopio compartidos ubicados estratégicamente para la consolidación de agro-productos. El modelo fue aplicado a cultivadores del departamento del Atlántico, Colombia.

Modelo de localización de centros de acopio

Inicialmente se diseñó una red logística que involucra resolver el problema de localización de instalaciones codificado en AMPL® con solver CPLEX. Es un modelo de programación lineal entero mixto donde se maximizan las ganancias del sistema. El modelo implica centros de acopios (CA) multiproducto, multiproductor, multcliente y multiperíodo. Incluye límites de capacidad en CA, economía de escala variables según los volúmenes transportados, consideraciones de calidad de los productos y asignación de la carga en viajes directos del productor al cliente o en viajes utilizando los CA bajo una demanda determinística. El modelo consideró incentivos por volumen de carga consolidada en centros de acopio, utilizando para tal fin, el factor de descuento $FD^{r_i t_i}$, los factores de descuentos utilizados como los rangos de volumen en que aplican se puede ver en la Tabla 4. La formulación matemática se presenta a continuación y las notaciones utilizadas se pueden observar en la Tabla 1.

Maximizar: (MLI)

$$\begin{aligned}
 &= \left[\sum_{o_i \in O} \sum_{c_i \in C} \sum_{p_i \in P} \sum_{t_i \in T} \alpha I^{p_i} X_{o_i c_i}^{p_i t_i} + \sum_{a_i \in A} \sum_{c_i \in C} \sum_{p_i \in P} \sum_{t_i \in T} I^{p_i} X_{a_i c_i}^{p_i t_i} \right] \\
 &- \left[\sum_{o_i \in O} \sum_{a_i \in A} \sum_{p_i \in P} \sum_{t_i \in T} X_{o_i a_i}^{p_i t_i} (CT_{o_i a_i} + CM) \right. \\
 &+ \sum_{a_i \in A} \sum_{c_i \in C} \sum_{r_i \in R} \sum_{t_i \in T} CT_{a_i c_i} X D_{a_i c_i}^{r_i t_i} \\
 &\left. + \sum_{o_i \in O} \sum_{c_i \in C} \sum_{p_i \in P} \sum_{t_i \in T} CT_{o_i c_i} X_{o_i c_i}^{p_i t_i} + \sum_{a_i \in A} CF_{a_i} Y_{a_i} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

S.A.

$$\sum_{r_i \in R} Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} = 1 \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, t_i \in T \quad (2)$$

$$X_{a_i c_i}^{p_i t_i} = \sum_{r_i \in R} X_{a_i c_i}^{p_i r_i t_i} \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, p_i \in P, t_i \in T \quad (3)$$

$$X_{a_i c_i}^{r_i t_i} = \sum_{p_i \in P} X_{a_i c_i}^{p_i r_i t_i} \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (4)$$

$$-X_{a_i c_i}^{r_i t_i} + L^{r_i t_i} * Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq 0 \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (5)$$

$$X_{a_i c_i}^{r_i t_i} - U^{r_i t_i} * Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq 0 \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (6)$$

$$X N^{r_i t_i} * Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq X D_{a_i c_i}^{r_i t_i} \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (7)$$

$$X_{a_i c_i}^{r_i t_i} * (1 - FD^{r_i t_i}) \leq X D_{a_i c_i}^{r_i t_i} \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (8)$$

$$X_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} * M \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (9)$$

$$V_{o_i t_i}^{p_i} = \sum_{a_i \in A} X_{o_i a_i}^{p_i t_i} + \sum_{c_i \in C} X_{o_i c_i}^{p_i t_i} \quad \forall o_i \in O, p_i \in P, t_i \in T \quad (10)$$

$$\sum_{a_i \in A} X_{a_i c_i}^{p_i t_i} + \sum_{o_i \in O} X_{o_i c_i}^{p_i t_i} \leq D_{c_i t_i}^{p_i} \quad \forall c_i \in C, p_i \in P, t_i \in T \quad (11)$$

$$\sum_{o_i \in O} X_{o_i a_i}^{p_i t_i} = \sum_{c_i \in C} X_{a_i c_i}^{p_i t_i} \quad \forall a_i \in A, p_i \in P, t_i \in T \quad (12)$$

$$\sum_{c_i \in C} \sum_{r_i \in R} X_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq W * Y_{a_i} \quad \forall a_i \in A, t_i \in T \quad (13)$$

$$\sum_{o_i \in O} \sum_{p_i \in P} X_{o_i a_i}^{p_i t_i} \leq W * Y_{a_i} \quad \forall a_i \in A, t_i \in T \quad (14)$$

$$X_{o_i a_i}^{p_i t_i} \leq Y_{a_i} * M \quad \forall o_i \in O, a_i \in A, p_i \in P, t_i \in T \quad (15)$$

$$X_{a_i c_i}^{r_i t_i} \leq Y_{a_i} * M \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (16)$$

$$0 \leq X_{o_i a_i}^{p_i t_i}, X_{a_i c_i}^{p_i t_i}, X_{a_i c_i}^{r_i t_i}, X_{o_i c_i}^{p_i t_i}, XD_{a_i c_i}^{r_i t_i} \quad \forall o_i \in O, a_i \in A, c_i \in C, p_i \in P, r_i \in R, t_i \in T \quad (17)$$

$$Y_{a_i}, Z_{a_i c_i}^{r_i t_i} \in \{0,1\} \quad \forall a_i \in A, c_i \in C, r_i \in R, t_i \in T \quad (18)$$

La función objetivo (1) maximiza los beneficios de los agro-productores. Se destaca que hay dos costos para el uso de un CA, uno es un costo fijo anual que corresponde a los gastos que se incurren por solo mantener abierto el centro de acopio y otro son los costos variables de cargue y descargue; en tanto que los ingresos corresponden a la compraventa de los productos agro en las centrales de abasto, asumiendo que los productos que provienen de viajes directos ($X_{o_i c_i}^{p_i t_i}$) se le aplicará un factor igual o menor a 1 al precio de compraventa, ya que a diferencia de los productos provenientes de centrales de abasto, estos no pasan por una selección previa ni mantienen la calidad de los productos. La ecuación (2) indica que por viaje con uso de CA solo se puede aplicar un factor de descuento. La ecuación (3) define que $X_{a_i c_i}^{p_i t_i}$ es la carga por familia de producto por periodo que se transporta desde un CA hasta un cliente. La ecuación (4) determina que $X_{a_i c_i}^{r_i t_i}$ es la carga consolidada que se transporta desde un CA hasta un cliente con un descuento del rango r en un periodo de tiempo. Las restricciones (5) y (6) identifican en que rango de descuento se encuentra la carga a transportar desde cada CA hacia cada cliente. La ecuación (7) define la cantidad mínima que se puede cobrar para aprovechar el siguiente descuento en cada periodo de tiempo, aplicable en envíos desde CA hasta clientes. La ecuación (8) refleja el descuento aplicado sobre el flujo de carga transportado ($XD_{a_i c_i}^{r_i t_i}$) desde el CA hasta el cliente para cada periodo de tiempo. La ecuación (9) indica que cuando la variable binaria $Z_{a_i c_i}^{r_i t_i}$ es uno, existe un flujo de carga $X_{a_i c_i}^{r_i t_i}$ que aplica a un descuento del rango r_i ($r_i \in R$), de lo contrario, si $Z_{a_i c_i}^{r_i t_i}$ es cero, el flujo $X_{a_i c_i}^{r_i t_i}$ es cero también. La ecuación (10) garantiza que toda la oferta disponible en cada periodo de tiempo sea enviada, lo que implica que se aprovecha toda la oferta interna. La ecuación (11) permite al modelo que la oferta pueda ser menor o igual que la demanda de cada familia de producto para cada periodo de tiempo. La ecuación (12) garantiza conservación de flujos. Las ecuaciones (13) y (14) restringen al modelo para que no se exceda la capacidad de la instalación. Las restricciones (15) y (16) limita al modelo para que el flujo enviado hacia y desde un CA solo tenga un valor mayor a cero cuando se abre un CA. La ecuación (17) previene que el flujo de carga a transportar sea no negativo y (18) define variables que son binarias.

Tabla 1

Notaciones de Matemáticas Utilizadas en el Modelo de Localización de Instalaciones

Conjuntos	
O	Conjunto de Orígenes de municipios productores.
A	Conjunto de potenciales centros de Acopio.
C	Conjunto de Clientes.
P	Conjunto de Familias de Productos Agropecuarios.
R	Conjunto de rangos de descuentos para el flujo de carga transportado.
T	Conjunto de periodos de tiempo en el año.
Parámetros del modelo	
$CT_{o_i a_i}$	Costo de transporte por tonelada del nodo o_i ($o_i \in O$) al nodo a_i ($a_i \in A$).
$CT_{a_i c_i}$	Costo de transporte por tonelada del nodo a_i ($a_i \in A$) al nodo c_i ($c_i \in C$).
$CT_{o_i c_i}$	Costo de transporte por tonelada del nodo o_i ($o_i \in O$) al nodo c_i ($c_i \in C$).
CF_{a_i}	Costos fijos de apertura y administración del centro de acopio ubicado en a_i ($a_i \in A$).
CM	Costos de manipulación por tonelada en los CA a_i ($a_i \in A$).
W	Capacidad límite de las bodegas de los CA a_i ($a_i \in A$).
M	Es un número muy grande.
$D_{c_i t_i}^{p_i}$	Demanda del cliente c_i ($c_i \in C$) de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) para cada periodo t_i ($t_i \in T$).
$V_{o_i t_i}^{p_i}$	Oferta del origen o_i ($o_i \in O$) de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) para cada periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$L^{r_i t_i}$	Límite inferior del flujo de carga con descuento del rango r_i ($r_i \in R$) para un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$U^{r_i t_i}$	Límite superior del flujo de carga con descuento del rango r_i ($r_i \in R$) para un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$FD^{r_i t_i}$	Factor de descuento del rango r_i ($r_i \in R$) para un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$XN^{r_i t_i}$	Cantidad mínima negociada de la carga a transportar para aprovechar un descuento del rango r_i ($r_i \in R$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
IP_i	Importe o precio de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) en el mercado.
α	Factor de calidad aplicados sobre los precios de las familias de producto p_i ($p_i \in P$) en viajes directos del nodo o_i ($o_i \in O$) al nodo c_i ($c_i \in C$).
Variables de decisión	
Y_{a_i}	1, si el centro de acopio es abierto en a_i ($a_i \in A$); 0 sí no.
$Z_{a_i c_i}^{r_i t_i}$	1, si el flujo de carga transportado desde el centro de acopio a_i ($a_i \in A$) hasta el cliente c_i ($c_i \in C$) tiene el descuento del rango r_i ($r_i \in R$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$); 0 sí no.
$X_{o_i a_i}^{p_i t_i}$	Flujo de carga de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) en toneladas que se transporta desde el origen o_i ($o_i \in O$) al nodo a_i ($a_i \in A$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$X_{a_i c_i}^{p_i t_i}$	Flujo de carga de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) en toneladas que se transporta desde el centro de acopio a_i ($a_i \in A$) hasta el cliente c_i ($c_i \in C$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$X_{a_i c_i}^{p_i r_i t_i}$	Flujo de carga de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) en toneladas que se transporta desde el centro de acopio a_i ($a_i \in A$) hasta el cliente c_i ($c_i \in C$) con rango de descuento r_i ($r_i \in R$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$X_{a_i c_i}^{r_i t_i}$	Flujo de carga total cuando se consolidan varias familias de productos que se transporta desde el centro de acopio a_i ($a_i \in A$) hasta el cliente c_i ($c_i \in C$) con rango de descuento r_i ($r_i \in R$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$X_{o_i c_i}^{p_i t_i}$	Flujo de carga de la familia de producto p_i ($p_i \in P$) en toneladas que se transporta desde el origen o_i ($o_i \in O$) hasta el cliente c_i ($c_i \in C$) en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).
$XD_{a_i c_i}^{r_i t_i}$	Cantidad de flujo de carga transportada desde el centro de acopio a_i ($a_i \in A$) hasta un cliente c_i ($c_i \in C$) con descuento del rango r_i ($r_i \in R$) y en un periodo de tiempo t_i ($t_i \in T$).

Nota. Elaboración propia

Comercio electrónico en plataforma web

Considerando que los pequeños agricultores conforman un sector con bajo nivel de uso de tecnologías TIC para los procesos de comercialización (Montiel Paternina, 2013; SPDA, 2016), se propuso complementar el modelo de gestión logística con una plataforma web prototipo de apoyo para realizar comercio electrónico, amigable y flexible. La plataforma facilitará gestionar procesos de comercialización directa entre productores y compradores, eliminar intermediarios y brindar la información necesaria para tal fin. Así también, posibilitará

aplicar estrategias colaborativas por medio de una modalidad que funciona como ventas de tipo subasta al por mayor para el aprovechamiento de economía de escala, pero con la particularidad de que los productores aquí podrán consolidar sus productos para atender demandas que superen sus capacidades. Es una herramienta de apoyo a agro-productores que tienen bajos niveles de producción, que no pueden satisfacer independientemente una demanda y/o no se les hace rentable transportar sus productos. Al mismo tiempo, disminuye la desconfianza, que es uno de los principales problemas que se presentan en las estrategias colaborativas (Hartman & Dror, 2003; Nagarajan & Sošić, 2008).

La aplicación del comercio electrónico brinda importantes oportunidades para el sector agropecuario, las empresas lo usan como medio de comercialización, generando ventajas como incremento de la producción, creación de oportunidades de negocio y nuevas formas de distribución de sus productos y servicios. Desde los inicios del comercio electrónico, su aplicación ha impactado positivamente en el mercado, favoreciendo altos crecimientos. Un ejemplo claro en Colombia fueron las ventas minoristas por canales electrónicos, ya que han venido incrementándose a una tasa interanual cercana a 50% desde 2013, superando los 5.000 millones de dólares en el 2017 (Medina, 2018). La pandemia COVID-19 demostró claramente las bondades del comercio electrónico (Guthrie et al., 2021).

La iniciativa propuesta busca conectar a los agro-productores con mercados competitivos, mejorando los beneficios tanto para productores como para consumidores, dignificando la vida de los agro-productores. La nueva modalidad que se sugiere para la plataforma web prototipo consiste en un espacio donde se podrán realizar publicaciones de compraventa tipo subasta con modalidad colaborativa. La dinámica consiste en que el cliente (comprador) podrá demandar la cantidad y proponer un precio y los vendedores podrán aceptar, rechazar o contraofertar, ya sea variando la cantidad o el precio. La dinámica de oferta y contraoferta se repite hasta lograr un acuerdo entre ambas partes. Cabe destacar que, si un productor(vendedor) no tiene la oferta suficiente para satisfacer la demanda del comprador, podrá ofertar su inventario disponible. Esto es posible ya que existe la posibilidad de consolidar los productos entre varios agro-productores en un CA. Esta dinámica favorece relaciones más equitativas entre los productores agropecuarios por medio de una dinámica de negociación activa con modalidad colaborativa. El diagrama de flujos del aplicativo se encuentra en el Anexo 1.

Método de solución

Inicialmente, antes de resolver el modelo de localización de instalaciones (MLI), se propone la formación de sub-coaliciones (SB). Para ello, se estima el modelo MLI en la instancia donde están todos los municipios productores del Atlántico. Seguidamente se realiza un filtro escogiendo como productores interesados en consolidar sus productos, aquellos a quienes les conviene usar los CA para lograr beneficios adicionales respecto al envío directo. La distribución de productores por sub-coalición (SB) será la misma que la de los productores que hay en cada CA en la instancia donde están todos los municipios productores; es decir, la cantidad de sub-coaliciones, sería la misma cantidad de CA abiertos. Cabe destacar que un productor no puede estar en más de una sub-coalición y, por lo tanto, aquellos productores que realizan envíos a más de un CA serán asignados a la sub-coalición que hace referencia al CA donde más envían carga.

Posteriormente, se calcula, para cada una de las sub-coaliciones (SB), su valor resultante $V(SB)$, el cual representa las ganancias alcanzadas, obtenidas de correr el MLI con parámetros $CT_{O_i a_i}$, $CT_{a_i c_i}$, $CT_{O_i c_i}$, $X_{O_i a_i}^{p_i t_i}$, $X_{a_i c_i}^{p_i r_i t_i}$, $X_{a_i c_i}^{p_i t_i}$, $X_{a_i c_i}^{r_i t_i}$, $X_{O_i c_i}^{p_i t_i}$, $XD_{a_i c_i}^{r_i t_i}$, CF_{a_i} , CM , W , M , $D_{c_i t_i}^{p_i}$,

$V_{o_i t_i}^{p_i}$, $L^{r_i t_i}$, $U^{r_i t_i}$, $FD^{r_i t_i}$, $XN^{r_i t_i}$, I^{p_i} y α . El algoritmo general del MLI resuelve problema MLI para cada subcoalicción SB_j y se calcula la ganancia $V(SB_j)$, cómo se presenta a continuación:

Algoritmo MLI

For $j=1: N_{SB}$. Calcular $V(SB_j)$ resolviendo el problema MLI_i

donde $i = 1, 2, \dots, |SB_j|$.

N_{SB} : Cantidad de sub-coaliciones.

En este estudio se analizaron dos escenarios (E1 y E2), donde se compararon las ganancias de transportar consolidando con otros productores por centros de acopio versus cuando se envía individualmente ya sea por CA o por viaje directo. En el escenario E1 (D1vsD2) se comparó cuando se consolida entre varios productores versus a cuando se transporta individualmente, haciendo uso de centros de acopio, en tanto que, el escenario E2 (D1vsD3) se comparó cuando se consolida entre varios productores versus cuando se realiza envíos directos individualmente, sin usar los CA. A continuación, se define cada alternativa para transportar los productos a las centrales de abastos:

Alternativa D1, transportar consolidando con otros productores haciendo uso de CA.

Alternativa D2, transportar individualmente haciendo uso de CA.

Alternativa D3, transportar individualmente, en viajes directos entre origen y destino, sin usar CA.

Para determinar las ganancias alcanzadas individualmente cuando se transporta por las alternativas D2 y D3, se debe resolver los subproblemas MLI_D2 que es MLI cuando se corre el modelo con solo un productor o_i ($o_i \in O$) y el subproblema MLI_D3 que es MLI con la modificación de que solo existe la alternativa de transporte a través de viajes directos por productor o_i ($o_i \in O$). Los algoritmos para determinar las ganancias cuando se transporta por las alternativas D2 y D3 se resuelve para cada productor, se calcula las ganancias por productor $V(o_i)$ y se suman las ganancias de los productores por subcoalicción ($V_D2(SB_j)$ y $V_D3(SB_j)$), como se puede ver continuación:

Algoritmo para D2

For $k=1:N$. Calcular $V(o_i)$ resolviendo el subproblema $MLI_D2_{o_i}$,

(Ganancias D2 por productor)

For $j=1: N_{SB}$

$V_D2(SB_j) = \sum_{o_i \in O_{SB_j}} V(o_i)$, (Ganancias D2 por subcoalicción)

donde $o_i = 01, 02, \dots, 021$ y $N = 21$, (Todos los municipios productores)

o_j = ultimo productor considerado en SB_j .

O_{SB_j} = es el conjunto de productores que conforman la subcoalicción SB_j .

Algoritmo para D3

For $k=1:N$. Calcular $V(o_i)$ resolviendo el subproblema $MLI_D3_{o_i}$,

(Ganancias D3 por productor)

For $j=1: N_{SB}$

$V_D3(SB_j) = \sum_{o_i \in O_{SB_j}} V(o_i)$, (Ganancias D3 por subcoalicción)

donde $o_i = 01, 02, \dots, 021$ y $N = 21$, (Todos los municipios productores)

o_j = último productor considerado en SB_j .

O_{SB_j} = es el conjunto de productores que conforman la subcoalicción SB_j .

El análisis consideró la variabilidad que existe en algunos de los parámetros y variables del modelo y la sensibilidad de la respuesta frente a cambios en ellas. Para tal propósito, se realizó un diseño factorial fraccional en donde se combinan 3 factores o atributos, representado por las letras A, B y C, con 3 niveles representado por los números 1, 2 y 3 (ver Tabla 2), donde el nivel 1 es el que representa las peores condiciones y 3 las mejores condiciones para realizar consolidación. Los signos + o - de los factores A y C indican qué incrementos o disminuciones respecto de los valores de referencia, mientras que el factor B, los datos señalan directamente el valor que tendrá dicho factor. Aunque el diseño factorial completo fue $3^3=27$, se decidió un diseño factorial fraccional, considerando 9 situaciones (S) en total (ver Tabla 3). Este estudio resolvió el MLI, MLI_D2 y el MLI_D3 para cada formación de sub-coaliciones (SB) de cada situación del diseño factorial fraccional (S). Seguidamente se presenta el algoritmo general:

Algoritmo general

For S=1:9.

Algoritmo MLI

Algoritmo para D2 y para D3

For j=1: N_{SB}

$$\%Gananancias E1 = \frac{(V(SB_j) - V_{D2}(SB_j))}{V_{D2}(SB_j)}$$

$$\%Gananancias E2 = \frac{(V(SB_j) - V_{D3}(SB_j))}{V_{D3}(SB_j)}$$

Fin

Fin

Tabla 2

Factores y Niveles del Diseño Experimental

FACTORES		NIVELES		
		1	2	3
A	%Factor de descuento	-10%	0%	+10%
B	%Factor de calidad	0%	-20%	-40%
C	Oferta	-30%	0%	+30%

Nota. Elaboración propia

Tabla 3

Situaciones del Diseño Experimental

SITUACIONES	COMBINACIONES		
	A	B	C
S1	3	3	3
S2	1	3	2
S3	1	1	1
S4	2	2	2
S5	2	1	3
S6	2	3	1
S7	3	1	2
S8	1	2	3
S9	3	2	1

Nota. Elaboración propia

Datos

El caso de estudio consideró como nodos oferta a 21 de los 23 municipios que conforman el departamento del Atlántico, Colombia. La capital, Barranquilla y Puerto Colombia no registran producción en los productos priorizados en este estudio. Los nodos de demanda fueron los 4 clientes seleccionados: Central de abasto Gran Abasto-Soledad, Barranquillita-Barranquilla, Cedi Grupo Éxito-Malambo y Mercado Bazurto-Cartagena.

Cada familia de productos agrupa elementos de similares características, clasificados según grupo de cultivos de Agronet (2019). Se consideraron productos priorizados por la Gobernación del Atlántico & UPRA (2018) y se realizaron diagramas de Pareto con datos recopilados de Agronet (2019). Con respecto a la demanda utilizada se tomó como base el consumo promedio per cápita en toneladas semestral para las familias de productos frutales, tubérculos y plátanos recopilado en Cruz Thiriat et al. (2005) y para las hortalizas y leguminosas se utilizó el modelo de consumo propuesto por Cantillo & López (2008). Cabe destacar que, debido a que este estudio buscó que la demanda sea satisfecha con la oferta interna del departamento, con posibilidades de abarcar demandas en otros departamentos, se estimaron los consumos considerando la base poblacional de los municipios según el DANE (2005).

Con respecto a los costos de transporte utilizados, se tomó como referencia los fletes suministrados por Gran Abastos (2021) y las referencias del Sice TAC (Ministerio de transporte, 2019), resultando en un valor de referencia de \$1062/ton-km. Se tomó una distancia promedio al interior de cada municipio de 5 km, representando el acceso desde las zonas productoras hasta las cabeceras municipales.

El análisis consideró incentivos de precios sobre los costos de transporte según el volumen; es decir, economía de escala. Esto se aplicó en los tramos entre los CA hasta los puntos de demanda. En los CA se puede consolidar carga, utilizar vehículos con mayor capacidad y aprovechar más eficientemente la capacidad de los vehículos. Generalmente en los vehículos de carga, cuando no se realiza una pre-consolidación, la tasa de ocupación en términos del volumen es de aproximadamente de 60%- 70% (Rincón Munar, 2019). Para establecer los límites de los rangos de flujo transportado y los factores de descuento correspondientes, se tomaron en cuenta los costos de diferentes configuraciones de vehículos obtenido de SiceTAC (Ministerio de transporte, 2019). Se definieron cuatro rangos de volumen de carga para aplicar descuentos. Además, se estableció que en cada rango de descuentos existe una cantidad negociada (XN^{rt_i}), que es un valor fijo que se utiliza cuando es más económico declarar un exceso en la cantidad a transportar para aplicar al siguiente descuento del rango r . Para determinar estos valores se utilizó la Ecuación (19), propuesta por Andrade-Pineda et al. (2015). Los rangos, descuentos y cantidad negociada por rango se detallan en la Tabla 4.

$$XN^{rt} = L^{rt} * (1 - FD^{rt}) \quad (19)$$

Tabla 4

Rangos de Descuentos, Límites y Cantidad Negociada para los Periodos del Año en la Condición Base

Set R	Set T	L^{rt_i}	U^{rt_i}	FD^{rt_i}	XN^{rt_i}
R1	T1	0	999	0	0
R2	T1	1000	1999	0.2	800
R3	T1	2000	2999	0.3	1400

Set R	Set T	$L^{r_i t_i}$	$U^{r_i t_i}$	$FD^{r_i t_i}$	$XN^{r_i t_i}$
R4	T1	3000	267832	0.4	1800
R1	T2	0	999	0	0
R2	T2	1000	1999	0.2	800
R3	T2	2000	2999	0.3	1400
R4	T2	3000	267832	0.4	1800

Nota. Elaboración propia

Los costos fijos en los CA corresponden a los gastos que se incurren por mantener abierto un CA. Para tal propósito, se consideraron gastos por alquiler de bodega con un promedio \$11400/m²-mes. Además, se incluyeron costos de vigilancia de \$1'500.000/mes (Tu salario.org, 2021) y de administración por \$2'000.000/mes (Mosahab et al., 2011). Los costos por manipulación de productos en CA fueron estimados según el estudio de Mosahab et al. (2011), resultando \$2490/ton para cada operación de carga o descarga.

Por último, para el importe de los productos se tomó como referencia los precios pagados por las centrales de abasto, complementado con encuestas a líderes de grupos del sector agropecuario. Los precios utilizados para cada familia de productos se pueden ver en la Tabla 5.

Tabla 5

Promedio de los Importes de los Productos Priorizados en Cada Familia de Productos

FAMILIAS DE PRODUCTOS	IMPORTE [\$/ton]
Cereales	\$1,331,268.42
Frutales	\$1,537,274.39
Hortalizas	\$2,025,851.75
Leguminosas	\$2,663,829.99
Tubérculos y plátanos	\$1,221,120.31

Nota. Elaborado con los datos recopilados de las centrales de abasto Gran Abasto, Bazaruto y Grupo cedi éxito

Resultados

El MLI se evaluó en diferentes condiciones para considerar la variabilidad que existe en algunos de los parámetros y variables para el caso de aplicación. El modelo definió la localización de los CA maximizando los beneficios del sistema, considerando diferentes alternativas para transportar los productos y corridas exclusivas del modelo para cada propuesta de sub-coaliciones.

Los productores fueron agrupados por sub-coalición con el fin de hacer atractiva la colaboración y consolidación de carga para pequeños y grandes productores. Esto se logra si hay beneficios netos positivos resultantes de utilizar los CA respecto de comercializar en forma independiente. Con tal fin, el algoritmo buscó que en los CA se puedan alcanzar las cantidades necesarias de consolidación de productos para obtener los incentivos económicos por volumen. Se consideró que un productor solo pueda usar un CA por viaje para evitar que el algoritmo, al maximizar los beneficios en el sistema, asigne a los grandes productores a más de un CA y así alcanzar economía de escala en varios sitios. Sin embargo, esto puede ser conveniente para el sistema, pero no para el individuo, lo que puede ocasionar de que los grandes productores prefieran realizar sus envíos individualmente. Teniendo en cuenta que los grandes productores son un factor clave para lograr economías de escala, se reconoció el valor de realizar una adecuada formación de las sub-coaliciones.

Al evaluar el modelo MLI para cada sub-coalición SB en cada situación S, se identificó que entre los factores considerados en el diseño factorial, el que más influyó en los beneficios de usar los CA es el factor de calidad (Factor B). El factor de calidad afectó directamente al precio del producto y, a su vez, los beneficios del productor; además, evitó tener sobrecostos por devolución de productos en mal estado. Los beneficios derivados de garantizar alta calidad de los productos en los CA y disminuir las pérdidas por manipulación son determinantes en el éxito de la estrategia logística propuesta. Es menester precisar que se realizó agregación de productores por municipio. Ello supone una consolidación previa no formal de la oferta de los agro-productores por municipio.

En este estudio se consideró que el productor puede decidir entre las tres alternativas para transportar sus productos (D1, D2 y D3). Para identificar qué tan conveniente es consolidar con otros productores (D1), se realizó dos comparaciones. En un escenario E1, se comparó D1 versus D2 y en el escenario E2, se contrastó D1 versus D3. Se estimó la diferencia que existe entre alternativas y el porcentaje de ganancia que se alcanza al elegir la alternativa D1 para cada una de las situaciones del diseño factorial (S).

En general, existen altos beneficios derivados del uso de los CA. La única excepción fue en la situación con peores condiciones (S3), para la SB 2, donde resultó más conveniente la alternativa D3 (envío directo); sin embargo, la diferencia entre ambas alternativas (D1 y D3) fue solo de 0.06% (ver

Anexo 2). No obstante, existen otros beneficios derivados de la colaboración que no se reflejan directamente en el modelo. Entre estos se destacan los siguientes:

- Mayores posibilidades de acceder a grandes mercados, con posiciones más sólidas de negociación. Además, acceso a mejores condiciones de financiación.
- Mayor equidad para los pequeños productores, ya que al consolidar con otros productores pueden alcanzar los mismos beneficios que poseen productores con altos niveles de producción.
- El modelo colaborativo permite compartir riesgos, particularmente en periodos con bajos niveles de producción o ante eventos como plagas o baja de precios, como también pérdidas de clientes.

Por otra parte, los resultados evidenciaron que los productores que persistieron consolidando con otros productores en todas las situaciones (S) y en todas las sub-coaliciones (SB), fueron aquellos que se encuentran más alejados de los clientes. Por lo tanto, cuando se trata de contextos geográficos más grandes, donde se tiene que recorrer distancias más largas, se vuelve más atractivo elegir actuar de forma colaborativa (D1).

En torno a la apertura de los centros de acopios (CA), la cantidad y ubicación necesarios en cada situación (S) son presentados en la Figura 1. La tabla muestra, en forma ordenada, las situaciones con peores condiciones (color rojo) hasta las mejores condiciones (color verde) para consolidar productos. En cuanto a los municipios, con color rojo se señalan los municipios con menor frecuencia de coincidencia en la apertura de CA en todas las situaciones (S), en tanto que el color verde indica mayor frecuencia. Este análisis permitió identificar los CA más atractivos pese a la variabilidad que existe en algunos de los parámetros del modelo, considerando así la incertidumbre asociada. En general, se evidenció que a medida que en el sistema mejoran las condiciones para consolidar productos, aumenta la cantidad de CA a abrir. Las decisiones de apertura de CA deben tomar en cuenta la proximidad geográfica de algunos municipios. Se sugiere desarrollar un plan secuencial para la apertura de los CA. Los resultados sugieren apertura de CA en los municipios Repelón (o Luruaco), Candelaria (o Campo de la

Cruz), Palmar de Varela (o Santo Tomás) y Baranoa, en ese orden de prioridad. Notar que, por proximidad geográfica, se muestra una localización alternativa entre paréntesis.

Figura 1

Centros de Acopio Abiertos por Situación del Diseño Experimental Relacionado con la Frecuencia y Cantidad de Centros de Acopio

Situación	Centros de acopio abiertos											Centros de acopio abiertos por situación
	Baranoa	Ponedera	Campo de la Cruz	Barranquilla	Manatí	Santo Tomás	Palmar de Varela	Malambo	Candelaria	Luruaco	Repelón	
S3									X		X	2
S7					X				X	X	X	4
S5					X				X	X	X	4
S6							X	X	X	X	X	5
S9							X	X	X	X	X	5
S2				X		X	X	X	X	X	X	7
S4						X	X	X	X	X	X	6
S8				X		X	X	X	X	X	X	7
S1	X	X	X		X	X		X		X	X	8
Frecuencia	1	1	1	2	3	4	5	6	8	8	9	

Con todos los jugadores

Nota. Elaboración propia

Conclusiones

El modelo logístico propuesto tiene un gran potencial para aumentar la competitividad de los productores agropecuario, tal como se mostró en su aplicación al caso del departamento del Atlántico. Los resultados muestran que existen muy buenos incentivos para consolidar con otros productores usando CA. En el escenario más desfavorable, a pesar de que para algunos productores no hay ahorros por consolidar con otros productores, los resultados indican que las diferencias de las ganancias no son lo suficientemente relevantes como para renunciar a los demás beneficios que se obtienen al consolidar los productos en CA. La estrategia colaborativa permite compartir riesgos en periodos con bajos niveles de producción y otras contingencias, también, disminuye las pérdidas por daños y condiciones de almacenamiento.

La variable más relevante en el beneficio percibido por los productores fue la calidad de los productos (Factor B), por su impacto en el precio de venta. Otras variables relevantes que influyen en las ganancias percibidas por productor o_i ($o_i \in O$) y en la decisión de colaborar fueron el nivel de producción (oferta) y la distancia transportada.

Por otra parte, el uso complementario de la plataforma web prototipo para realizar comercio electrónico permitió que la estrategia colaborativa sea más eficiente, a la vez que favorece el acceso a mercados al facilitar la interacción con los clientes.

En futuras investigaciones se puede expandir el tamaño del modelo, escalándolo a otros contextos geográficos. También, analizar instancias más grandes aumentando la cantidad de clientes y agro-productores. Así mismo, es posible lograr mayores niveles de desagregación en los nodos de producción, las familias de producto y los periodos. Por su parte, las extensiones del modelo pueden involucrar la naturaleza estocástica de la demanda, la posible existencia de productos defectuosos y/o pérdidas en los envíos. Finalmente, resulta de interés realizar un análisis multimodal y la consideración de compatibilidades en las consolidaciones de diferentes tipos de carga, ya que dos productos agropecuarios podrían tener restricciones para ser enviados en el mismo vehículo.

Referencias

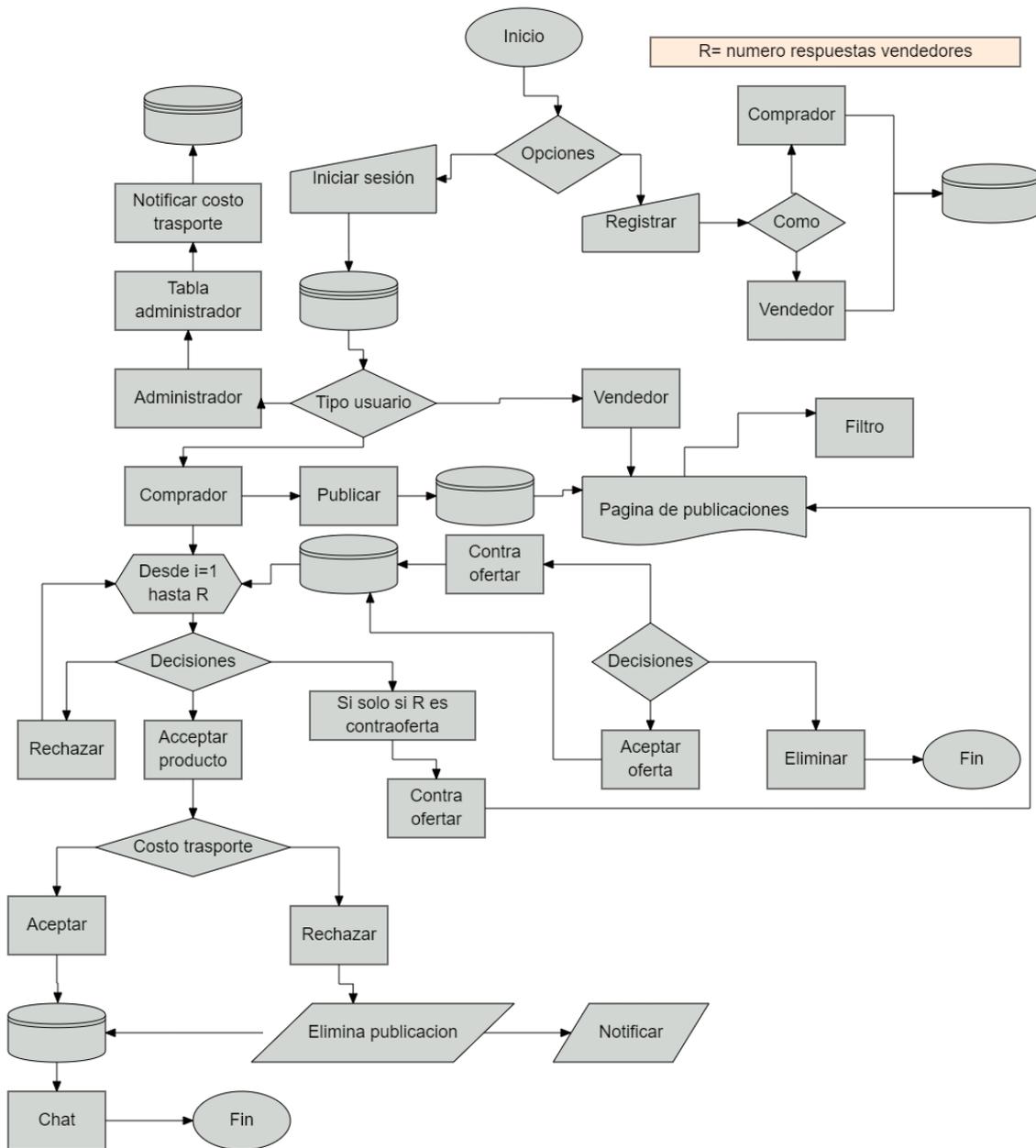
- Abaunza O., A., & León G., A. (2011). Diseño de la operatividad del centro de distribución de Colfrigos S.A. haciendo uso de un WMS – regional Bogotá. *Universidad Libre*, 4(3), 410–419.
- Agronet. (2019). *Evaluaciones Agropecuarias (EVA)*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Andrade-Pineda, J. L., Canca, D., & Gonzalez-R, P. L. (2015). On modelling non-linear quantity discounts in a supplier selection problem by mixed linear integer optimization. *Annals of Operations Research*, 258(2), 301–346. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-1941-2>
- Benavides, L. G. (2019). La tienda virtual Comproagro llegó a 26.000 usuarios y lanzará su propia app. *AGRONEGOCIOS, Agro*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-tienda-virtual-comproagro-llego-a-26000-usuarios-y-lanzara-su-propia-app-2838760>
- Cantillo, V., & López, M. F. (2008). *Monografía de productos G21: Legumbres y Horatizas*.
- Cruz Thiriart, R., Ramírez-Vélez, R., Martínez-Torres, J., & Correa-Bautista, J. E. (2005). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia. In *Revista Chilena de Nutricion* (Vol. 44, Issue 4). <https://doi.org/10.4067/s0717-75182017000400307>
- DANE. (2005). *Proyecciones de población municipal del 2019 en base a la del 2005*.
- DNA. (2021). *Cuentas nacionales anuales*. <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-anuales>.
- Gobernación del Atlántico, & UPRA. (2018). *Priorización de alternativas productivas y diagnóstico del mercado de productos agropecuarios del departamento del atlántico. Iii*, 1–78.
- Gran Abastos. (2021). *Mercadeo*. <https://www.granabastos.com.co/servicios/>
- Guthrie, C., Fosso-Wamba, S., & Arnaud, J. B. (2021). Online consumer resilience during a pandemic: An exploratory study of e-commerce behavior before, during and after a COVID-19 lockdown. *Journal of Retailing and Consumer Services*. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102570>
- Hartman, B. C., & Dror, M. (2003). Optimizing centralized inventory operations in a cooperative game theory setting. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 35(3), 243–257. <https://doi.org/10.1080/07408170304363>
- Keskin, B. B., & Üster, H. (2007). Meta-heuristic approaches with memory and evolution for a multi-product production/distribution system design problem. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 5. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.034>
- Lu, H., Li, L., Zhao, X., & Cook, D. (2018). A model of integrated regional logistics hub in supply chain. *Enterprise Information Systems*, 12(10), 1308–1335. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1533588>
- Ministerio de transporte. (2019). *SICETAC*. <https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>
- Montiel Paternina, S. (2013). Impacto del tlc con estados unidos sobre los sectores económicos colombianos. *Saber, Ciencia y Libertad*, 8(1), 125–130. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2013v8n1.1885>
- Murillo, S. (2011). *Beneficios del comercio electrónico*.
- Nagarajan, M., & Sošić, G. (2008). Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 719–745. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.045>
- Rincón Munar, J. N. (2019). *Productividad en el transporte de carga por carretera en Colombia*.

- Sebastián Medina Cadena. (2018). *La Influencia Del E-Commerce En La Dinamización De Los Negocios Internacionales Entre El 2008 Y El 2018: Un Análisis Comparativo Entre Colombia Y México*. 83. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6936/1/5122427-2018-II-NIIE.pdf>
- SPDA. (2016). *Plan de Desarrollo “Atlántico Líder.”*
- Tsiakis, P., Shah, N., & Pantelides, C. C. (2001). Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(16), 3585–3604. <https://doi.org/10.1021/ie0100030>
- Tu salario.org. (2021). *Guardias de protección*. <https://tusalario.org/colombia/carrera/funcion-y-salario/guardias-de-seguridad>
- UPRA. (2017). Plan de desarrollo: Atlántico líder. *Ministerio de Agricultura*, 54.
- Yang, J., & Wang, Z. (2015). Research on the application of e-commercial modes for agro-food in mainland China: O2O and B2C. *2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Science, LISS 2015*. <https://doi.org/10.1109/LISS.2015.7369645>

Anexos

Anexo 1

Arquitectura de la Plataforma Agrounidos.Online



Nota. Elaboración propia utilizando GoConqr (2021)

Anexo 2

Resultados del Modelo Logístico Colaborativo

S	SB	Productores	Ganancias [millones de pesos COP]			Dif. en ganancias [millones de pesos COP]		%Ganancias	
			D1	D2	D3	Dif Gan E1: D1vsD2	Dif Gan E2: D1vsD3	%Gan E1: D1vsD2	%Gan E2: D1vsD3
1	1	O1,O4,O5,O20,O21	\$23,179.12	\$22,832.78	\$13,837.49	\$346.35	\$9,341.64	1.52%	67.51%
	2	O2,O16,O19	\$23,826.65	\$23,645.16	\$13,774.00	\$181.49	\$10,052.65	0.77%	72.98%

S	SB	Productores	Ganancias [millones de pesos COP]			Dif. en ganancias [millones de pesos COP]		%Ganancias	
			D1	D2	D3	Dif Gan E1: D1vsD2	Dif Gan E2: D1vsD3	%Gan E1: D1vsD2	%Gan E2: D1vsD3
	3	O3,O12	\$39,101.35	\$39,070.19	\$23,023.31	\$31.15	\$16,078.03	0.08%	69.83%
	4	O6,O10	\$36,167.68	\$36,062.85	\$20,869.63	\$104.82	\$15,298.05	0.29%	73.30%
	5	O7,O11,O14,O18	\$56,017.88	\$55,858.11	\$33,763.26	\$159.77	\$22,254.62	0.29%	65.91%
	6	O9,O15,O17	\$52,935.07	\$52,835.65	\$31,652.70	\$99.42	\$21,282.37	0.19%	67.24%
	7	O8	\$22,627.43	\$22,627.43	\$12,953.25	\$-	\$9,674.18	0.00%	74.69%
	8	O13	\$44,538.99	\$44,538.99	\$25,444.63	\$-	\$19,094.37	0.00%	75.04%
2	1	O13	\$33,896.30	\$33,896.30	\$19,573.47	\$-	\$14,322.83	0.00%	73.17%
	2	O6,O10	\$27,559.51	\$27,470.61	\$16,054.26	\$88.90	\$11,505.25	0.32%	71.66%
	3	O4,O20,O5,O18	\$12,140.56	\$11,884.36	\$7,300.83	\$256.20	\$4,839.73	2.16%	66.29%
	4	O12,O9	\$36,206.74	\$36,156.76	\$21,581.21	\$49.98	\$14,625.53	0.14%	67.77%
	5	O8,O2,O3,O19,O16	\$43,793.77	\$43,496.24	\$25,508.71	\$297.53	\$18,285.05	0.68%	71.68%
	6	O7,O17,O11,O14,O21,O15,O1	\$74,636.07	\$74,301.85	\$44,905.62	\$334.22	\$29,730.45	0.45%	66.21%
3	1	O13	\$23,696.64	\$23,696.64	\$23,631.90	\$-	\$64.74	0.00%	0.27%
	2	O8,O2,O3,O16,O19	\$30,647.33	\$30,287.12	\$30,665.42	\$360.20	-\$18.10	1.19%	-0.06%
4	1	O1,O4,O5,O7,O11,O14,O15,O18,O20,O21	\$64,985.26	\$64,335.38	\$52,302.80	\$649.88	\$12,682.46	1.01%	24.25%
	2	O2,O3,O8,O16,O19	\$43,950.14	\$43,678.07	\$34,653.44	\$272.06	\$9,296.70	0.62%	26.83%
	3	O6,O10	\$27,678.15	\$27,579.86	\$21,801.48	\$98.29	\$5,876.67	0.36%	26.96%
	4	O9,O12	\$36,254.00	\$36,217.95	\$28,992.37	\$36.05	\$7,261.63	0.10%	25.05%
	5	O11,O15,O17	\$35,737.51	\$35,575.79	\$28,692.54	\$161.71	\$7,044.96	0.45%	24.55%
	6	O13	\$34,066.75	\$34,066.75	\$26,666.12	\$-	\$7,400.63	0.00%	27.75%
5	1	O13	\$44,317.32	\$44,317.32	\$43,885.52	\$-	\$431.80	0.00%	0.98%
	2	O2,O3,O19,O16	\$34,665.43	\$34,435.14	\$34,575.73	\$230.29	\$89.70	0.67%	0.26%
	3	O6,O10	\$36,013.37	\$35,913.17	\$35,812.39	\$100.20	\$200.98	0.28%	0.56%
	4	O8	\$22,512.39	\$22,512.39	\$22,345.63	\$-	\$166.76	0.00%	0.75%
6	1	O13	\$23,815.91	\$23,815.91	\$13,702.19	\$-	\$10,113.72	0.00%	73.81%
	2	O13,O12	\$25,351.18	\$25,315.59	\$15,112.16	\$35.58	\$10,239.02	0.14%	67.75%
	3	O8,O2,O3,O19,O16	\$30,754.53	\$30,407.61	\$17,862.81	\$346.92	\$12,891.72	1.14%	72.17%
	4	O6,O10	\$19,342.07	\$19,248.61	\$11,238.74	\$93.47	\$8,103.33	0.49%	72.10%
	5	O7,O17,O11,O14,O4,O20,O15,O21,O1,O5,O18	\$60,774.66	\$60,087.48	\$36,568.85	\$687.19	\$24,205.81	1.14%	66.19%
7	1	O13	\$34,237.20	\$34,237.20	\$33,758.77	\$-	\$478.43	0.00%	1.42%
	2	O2,O3,O19,O16	\$26,731.62	\$26,489.40	\$26,597.77	\$242.22	\$133.86	0.91%	0.50%
	3	O6,O10	\$27,796.79	\$27,688.40	\$27,548.70	\$108.39	\$248.09	0.39%	0.90%
	4	O8	\$17,371.86	\$17,371.86	\$17,200.39	\$0.00	\$171.47	0.00%	1.00%
8	1	O4,O20,O5,O18	\$15,808.29	\$15,553.69	\$12,735.49	\$254.60	\$3,072.80	1.64%	24.13%
	2	O17	\$28,464.28	\$28,464.28	\$22,863.27	\$-	\$5,601.00	0.00%	24.50%
	3	O13	\$44,095.65	\$44,095.65	\$34,665.08	\$-	\$9,430.58	0.00%	27.20%
	4	O9,O12	\$47,065.04	\$47,021.48	\$37,654.82	\$43.56	\$9,410.22	0.09%	24.99%
	5	O2,O3,O8,O16,O19	\$56,922.54	\$56,704.15	\$45,033.22	\$218.39	\$11,889.32	0.39%	26.40%
	6	O6,O10	\$35,859.06	\$35,770.83	\$28,341.01	\$88.23	\$7,518.05	0.25%	26.53%
	7	O7,O11,O14,O15,O21,O1	\$68,618.57	\$68,302.69	\$55,247.72	\$315.88	\$13,370.85	0.46%	24.20%
9	1	O13	\$23,935.18	\$23,935.18	\$18,667.04	\$-	\$5,268.14	0.00%	28.22%

S	SB	Productores	Ganancias [millones de pesos COP]			Dif. en ganancias [millones de pesos COP]		%Ganancias	
			D1	D2	D3	Dif Gan E1: D1vsD2	Dif Gan E2: D1vsD3	%Gan E1: D1vsD2	%Gan E2: D1vsD3
	2	O9,O12,O17	\$40,714.53	\$40,672.38	\$32,640.71	\$42.15	\$8,073.82	0.10%	24.74%
	3	O2,O3,O8,O16,O19	\$30,861.73	\$30,533.86	\$24,264.12	\$327.87	\$6,597.61	1.07%	27.19%
	4	O6,O10	\$19,425.19	\$19,324.65	\$15,261.80	\$100.54	\$4,163.39	0.52%	27.28%
	5	O1,O4,O5,O7,O11,O14,O15,O18,O20,O21	\$45,495.69	\$44,792.15	\$36,616.96	\$703.54	\$8,878.73	1.57%	24.25%

Nota. Elaboración propia. Resuelto con AMPL® y MATLAB®



Methodological proposal to improve organizational innovation in the logistics sector of Cartagena, Colombia

Propuesta metodológica para mejorar la innovación empresarial del sector logístico en Cartagena, Colombia

Jorge Armando Luna Amador¹ <https://orcid.org/0000-0002-2427-6090>, Álvaro Andrés Escobar Espinoza¹ <https://orcid.org/0000-0003-4108-3650>, July Vanessa Arrieta Rodríguez² <https://orcid.org/0000-0003-2013-7306>

¹Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

jlunaa@unicartagena.edu.co, aescobare@unicartagena.edu.co

²Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia

jarrietar@utb.edu.co

Sent: 2022/03/26

Accepted: 2022/06/21

Published: 2022/06/30

Abstract

This paper aims to design a methodological proposal to improve the innovation of companies belonging to the logistics sector in Cartagena, Colombia. The multiple case study methodology was applied, where nine axes that directly affect organizational innovation (strategy, culture, planning, people, tools, products/services, processes, efficiency, and capitalization) were analysed. The sample consisted of five Logistics Service Providers located in Cartagena. Among the main results of the research, it was found that planning is fundamental for improving organizational innovation because it is essential to have a stipulated strategic direction and to design a plan to propitiate an innovative culture in the company. Additionally, the company's diagnosis showed that most have innovative resources and processes; however, they do not have the necessary tools to implement the processes effectively. Finally, four of the five companies are working to develop an innovative culture, which places culture as the second most crucial axis after planning. These results led to the proposal of a methodology that seeks to improve organizational innovation levels and mainly focuses on three phases: Strategic Direction, Processes, and Results.

Summary: Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion and Conclusions.

How to cite: Luna, J., Escobar, A. & Arrieta, V. (2022). Methodological proposal to improve organizational innovation in the logistics sector of Cartagena, Colombia. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 247-263. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/927>

Keywords: Innovative Culture, Planning, Organizations, Processes, Methodology, Logistics Operator.

Resumen

Este trabajo investigativo busca estructurar una propuesta metodológica para mejorar la innovación de las empresas pertenecientes al sector logístico en Cartagena, Colombia. Se aplicó la metodología de estudio de casos múltiples, donde se analizaron nueve ejes que inciden directamente en la innovación organizacional (estrategia, cultura, planificación, personas, herramientas, productos/servicios, procesos, eficiencia y capitalización). La muestra estuvo conformada por cinco Operadores Logísticos ubicados en Cartagena. Entre los principales resultados de la investigación se encontró que la planeación es fundamental para mejorar la innovación organizacional debido a que es fundamental tener un direccionamiento estratégico estipulado y diseñar un plan para propiciar una cultura innovadora en la empresa. Adicionalmente, el diagnóstico de las empresas arrojó que la mayoría cuentan con recursos y procesos innovadores; sin embargo, no cuentan con las herramientas necesarias para implementar los procesos de manera efectiva. Finalmente, cuatro de las cinco empresas están trabajando para desarrollar una cultura innovadora, lo que sitúa la cultura como el segundo eje más importante después de la planificación. Estos resultados llevaron a la propuesta de una metodología que busca mejorar los niveles de innovación organizacional y se enfoca principalmente en tres fases: Dirección Estratégica, Procesos y Resultados.

Palabras clave: Cultura Innovadora, Planeación, Organizaciones, Procesos, Metodología, Operador Logístico.

Introduction

Innovation management is an important source of sustainable growth and a determining factor in achieving competitive advantages (Nimfa et al., 2021; Tali et al., 2021), which allows companies to remain and succeed in a complex organizational environment composed of uncertain markets.

There are different positions and approaches of academics and researchers on the concept of innovation. Schumpeter (1934) states that in capitalist systems, companies remain in an evolutionary process of new goods and services, new methods, and market and organizational structures. From this evolutionary process lies the importance of innovation. Innovation, according to Chesbrough et al. (2018) and Lavikka et al. (2021), is not about generating new value or creating new things (inventions) but about creating value for customers, therefore, for the company.

Drucker (2002) defines *innovation* as the effort to create a change with a defined purpose and commercial or organizational potential. He also stated that having ideas was easy and having good ideas were complicated. However, what is vital for the company is constantly generating good ideas and materializing them in products, services, or processes. On the other hand, Gault (2020) and Goldman & Gabriel (2005) say that *innovation* is found everywhere, since innovation is spoken of in the scientific and technical literature, but also the social sciences. Hence, innovation has become an emblem of society used to solve many of the problems that arise in an unstable environment.

Currently, the phenomenon of innovation is being studied from a multidimensional perspective, which includes several types of innovation, such as innovations in product,

process, marketing, and organization; the latter being the type of innovation to be analyzed in this research (Koren & Palčič, 2015; Lalic et al., 2019, 2017; Palčič et al., 2020).

According to Machado & Davim (2020), when academic literature speaks of organizational innovation, reference is made to three large areas of study: a) the innovation itself, b) the different types of innovation in organizations, and c) changes in the structure of the organization.

Organizational innovation affects the price and the quality (differentiation of goods and services). The European Union (European Commission, 1995) describes it as the mechanisms that generate internal business interactions and make up the networks with which the organization communicates with its environment. Finally, the OECD (2018) defines *innovation* as implementing new methods in business practice, jobs, and company-environment interactions.

The organizational innovation model of the COTEC Foundation (2013) states that innovation management is based on five interdependent stages: focus, training, implementation, monitoring, and learning. Additionally, they consider that innovative attitudes in companies are opt for innovation, recognize it as an operation, and value innovation. The COTEC Foundation is widely recognized in innovation due to the models and methodological tools it has developed, as well as the reports about the state of innovation in different sectors that it has published (Mathison & Primera, 2007; Ortiz, 2016). In this sense, different authors have referenced the reports, models, and tools developed by COTEC to carry out their research. Among these authors we can mention Atehortúa (2022), Casas and Urrego (2013), Doumecq et al. (2013), and D'Alvano and Nuchera (2011). All of the aforementioned confers validity to using the COTEC model for the methodological proposal developed in this research.

Based on the above, this research article aims to develop a methodology for the improvement of organizational innovation in the logistics sector of Cartagena, Colombia; a sector that has been a beneficiary of the neoliberal policies of economic opening implemented by the Colombian government in recent years. In fact, according to Foreign Trade Statistical System -DIAN-SIEX-, Cartagena is the most important customs office in Colombia, with a value of US\$ 19,639 million, which corresponds to 47.6% of the total products processed in the country and sent abroad in 2021 (Direction of Taxes and Customs in Colombia, n.d.).

Despite the above, some drawbacks affect the competitiveness of Cartagena's logistics sector, such as the lack of technological development in transport systems and port terminals and the insufficient incorporation of track and trace technology to implement the "last mile" in e-commerce logistics (Arrieta Rodríguez et al., 2018). Based on the preceding, Arrieta Rodríguez et al. (2018) indicate that there is a need for companies in the logistics sector to develop innovation strategies that allow them to differentiate themselves and be more competitive internationally.

The methodology used for the developing this quantitative and explanatory research was the study of multiple cases, considering that the analysis of organizational innovation is complex and implies the study of multiple participants. This case study was delimited to five companies in Cartagena's logistics sector, which were subjected to structured surveys in order to determine their levels of organizational innovation based on the Organizational Innovation Model developed by the COTEC Foundation (2013). This tool that has had a great impact on the academic community and has been used as a guide for the development of research such as the one presented here.

In general terms, this paper consists of an introduction with a review of the postulates of theoretical references that have contributed to the construction of innovation concepts, delving into organizational innovation. Next, the methodology used to determine and analyze the levels of organizational innovation in logistics companies is presented in order to subsequently develop the proposed methodology to improve the levels of organizational innovation in these companies. Finally, conclusions or final considerations are shown as results of the findings obtained during the research process.

Materials and Methods

A multiple case study was carried out to develop this research. It is a methodological tool widely used in organizational studies (Yin, 2014). It is the most appropriate strategy when seeking to answer how and why a contemporary phenomenon occurs when the researcher has little control over the facts and events (Yin, 2014). For Mills et al. (2010), case studies can be defined as in-depth research on data obtained in a given period from one or more companies, in order to analyze the context and the processes involved in the phenomenon under study. In this sense, this case study is presented as empirical research that studies a contemporary phenomenon (organizational innovation) within its real context, with no visible limits between the phenomenon and the context. For this purpose, different sources of information are used.

Case studies can be simple when they refer to one company or multiple when two or more companies participate (Yin, 2014). In this research, the explanatory multiple case study methodology is used in order to understand the causes of the phenomenon under study through fieldwork that allows inducing hypotheses that explain the organizational variables to be analyzed. To define the number of companies to be included in the design of multiple cases, it was taken as a point of reference the research of influential authors such as Gonzalez (2016); Nagano et al. (2014); Orth et al. (2021); Santa-Maria et al. (2021) and Tarafdar & Gordon (2005). They have used around five analysis units (companies in this case) for innovation-related studies. Stake (2013) stated that the greater the number of cases, the greater the understanding of the problem. However, the number of cases will rather depend on the economic resources and the time available to the researcher. Five analysis units were selected in this specific study, which is an adequate number of cases according to the literature reviewed. At the analyzed companies' request, proper names were omitted, and the following abbreviations were used instead: PTOM, PTOS, MROL, SERP, INTG.

The companies selected for the study are logistics service providers that carry out foreign trade activities and are recognized in Cartagena. These are SME companies willing to supply all the internal documentation required for the research. The methodological tool developed by the COTEC Foundation is aimed to analyze SME companies' innovation capacity from different economic sectors and offers recommendations to improve their situation (COTEC Foundation, 2013; El País, 2013). Therefore, the sample selected in this study applies to this methodology.

As mentioned before, data gathering techniques used were surveys, semi-structured interviews, documentary reviews, and direct observation. The surveys were used to analyze the current status of organizational innovation in the companies under study. They were adapted from a technological innovation model developed by the COTEC Foundation, which assesses the foundations of a business model for innovation in SMEs. The COTEC Foundation's SME Self-Assessment instrument comprises 36 questions with Yes/No response options. Additionally, with the approval of an academic expert in innovation, the research team, added other response options to some questions such as: Which ones? have you used them? How? The previous in order to validate the data initially collected with the main response options

(Yes/No) (COTEC Foundation, 2013). The expert opinion is a technique used for the validation and adaptation of questionnaires (Blasco et al., 2010; Pamies et al., 2020; Ruiz & García, 2013).

There are different methodologies to measure the level of innovation in SME companies, such as: The Potential Innovation Index (Enjolras et al., 2014), the AIDA approach (Petit et al., 2011), the Fuzzy Logic Set methodology (Attallah et al., 2019), models based on Key Performance Indicators (Banu, 2018) and Community Innovation Surveys (Jones-Evans et al., 2018), among others. However, the COTEC Foundation model was selected for the population under study - Logistics Service Providers in Cartagena, Colombia - due to its transversality, its applicability in SMEs and the usefulness of the models developed by COTEC in different research works such as those of Aterhortua (2022), Casas and Urrego (2013), Doumecq et al. (2013), and D'Alvano & Hidalgo (2011).

Additionally, this model provides a good basis to build upon due to its comprehensiveness and since it considers different variables of the innovative attitude in the organization such as culture, strategy, planning, people, processes, tools, goods/services, efficiency, and capitalization – see Table 1-

Table 1

Description of the Organizational Innovation Axes

AXIS	DESCRIPTION
Culture	Dissemination of innovation information to employees, management of innovation processes with suppliers, good relationship with clients, reward for contributing new ideas, the company's management motivates employees to innovate, innovation issues are discussed in executive meetings.
Strategy	Attendance at fairs and innovation events, the existence of specific innovation objectives within the organizational plan, knowledge of government programs to support business innovation, new goods or services are advertised, the existence of strategic alliances with training centers and universities.
Planning	the company draws up innovation plans and projects, establishing a specific company budget for innovation activities.
People	Regular staff training on innovation aspects.
Processes	Formalized processes to participate in government programs to promote business innovation and having a department dedicated to innovation procedures.
Tools	Availability of tools and indicators to measure innovation in the company.
Products/Services	Launching new products and/or services on the market, improvement of existing products and/or services, innovation in marketing processes.
Efficiency	Availability of a system to value and measure intangible assets and productivity related to innovation.
Capitalization	Increase in intangible assets.

Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

In order to comply with the organizational innovation axes, a company should have more than 80% compliance. The ideal state of organizational innovation is reached when all the axes are fulfilled. Each of the nine axes measures specific aspects of organizational innovation. Companies reach the axis' required level of organization when they meet most of the questions in that axis.

Each of the axis has a specific quantity of questions out of the total surveys questions. In this sense, the culture axis has eight questions, strategy eight questions, planning two questions, people three questions, processes five questions, tools two questions, products/services four questions, efficiency two questions, and capitalization two questions. Each question has a proportional weight; for example, the process axis – which has five questions –has a percentage value of 20% each.

Based on the above, if a company meets all the questions of a specific axis, it gets 100% compliance. However, if it does not comply with some questions, its compliance percentage decreases proportionally to the weight of each unfulfilled question.

For its part, the documentary review is a primary source of information that provides relevant data on the company's processes. For this, access to the organizations' strategic plan, annual reports, procedural manuals, technical and commercial value proposition documents, and financial documentation was requested. These reviews are important to compare with the responses provided during the surveys and allow to check whether the innovation processes are properly documented in the company. Additionally, there was a review of public documents of the companies, web pages, and studies of the logistics sector in Cartagena. All of the foregoing is useful to analyze which aspects of organizational innovation are duly documented in the companies under study and to give meaning to the results obtained in the surveys. As mentioned, the survey results and their comparison with the business documentary information were validated using the expert criteria technique (Pamies et al., 2020).

The semi-structured interviews were applied to experts in the logistics sector who made it possible to contextualize and analyze the results obtained from the surveys and the documentary review. Additionally, with their experience and knowledge of the logistics sector, it was possible to structure a methodology according to the needs of the companies under study, which could be projected towards other companies in the sector.

Finally, with the information collected and thanks to the different data gathering techniques, an analysis was carried out, which allowed the design of the proposed methodology to improve organizational innovation in the logistics sector companies in Cartagena, Colombia.

Results and Discussion

Diagnosis of Organizational Innovation

The results obtained from the nine pillars or axes proposed in the methodology allow us to determine the current state of organizational innovation in companies under study. The results of each of the five companies under study are described in detail below.

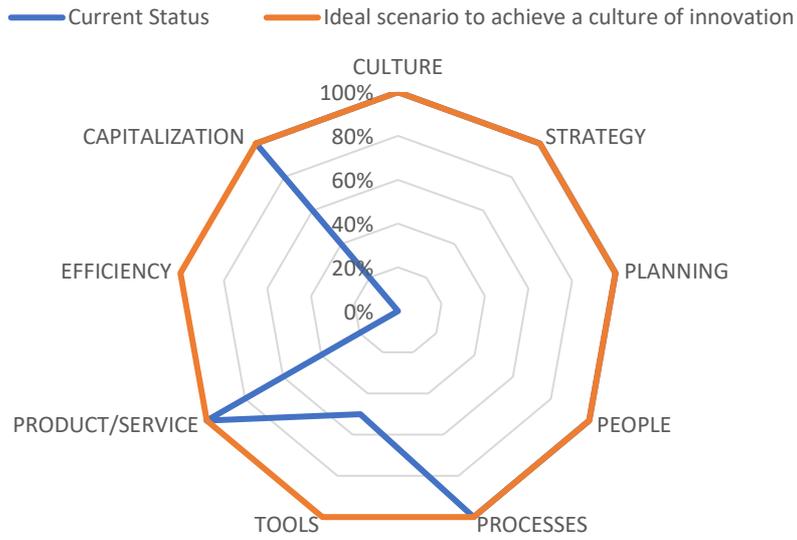
In the case of PTOM company – see Figure 1- it can be observed that it reaches an ideal level of organizational innovation in the axes of culture, strategy, planning, people, processes, products/services, and capitalization. On the other hand, in the axes of tools and efficiency, the ideal level of organizational innovation is not reached due to the inexistence of an innovation department or an accounting system to identify the value of the company's intangible assets.

Figure 2 shows that PTOS company have ideal levels of organizational innovation in the axes of culture, planning, people, tools, products/services, and efficiency, whereas it did not reach the required levels in the axes of strategies, processes, and capitalization.

Figure 3 shows that MROL company reached the levels of organizational innovation in the axes of culture, strategy, planning, people, and capitalization. However, in the axes of processes, tools, products/services, and efficiency, the required level was not reached.

Figure 1

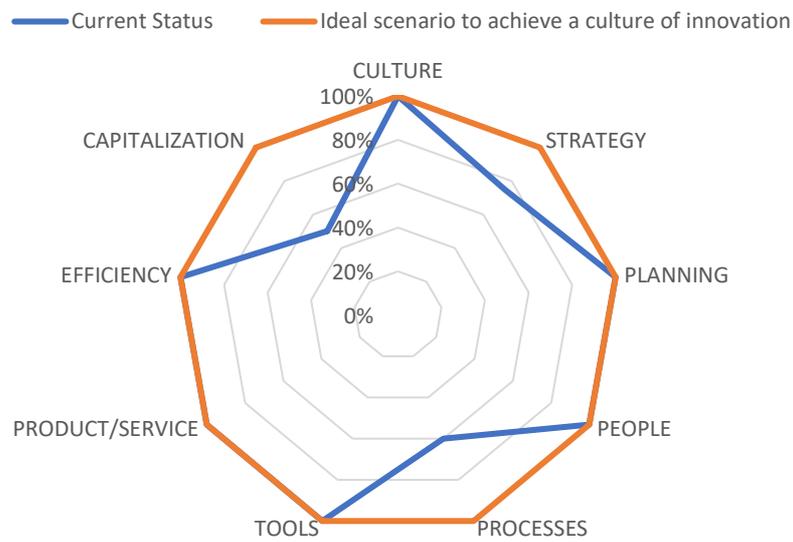
Innovation variables in PTOM company



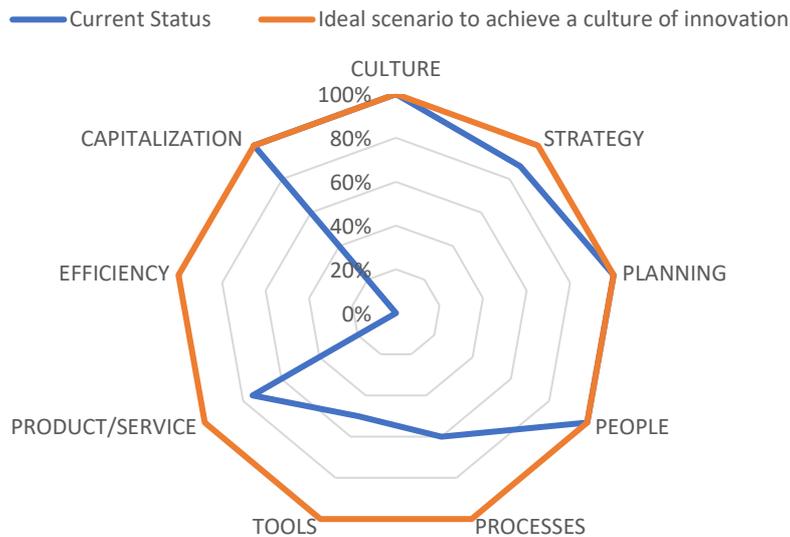
Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

Figure 2

Innovation variables in PTOS company

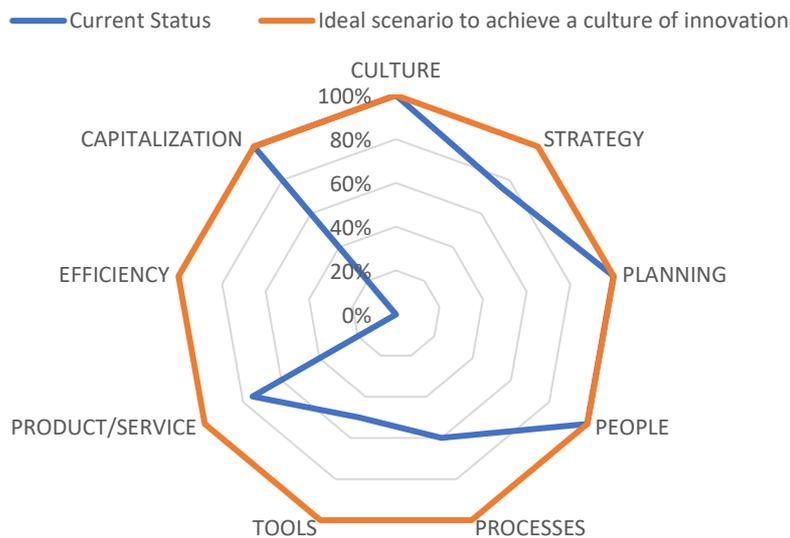


Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

Figure 3*Innovation variables in MROL company*

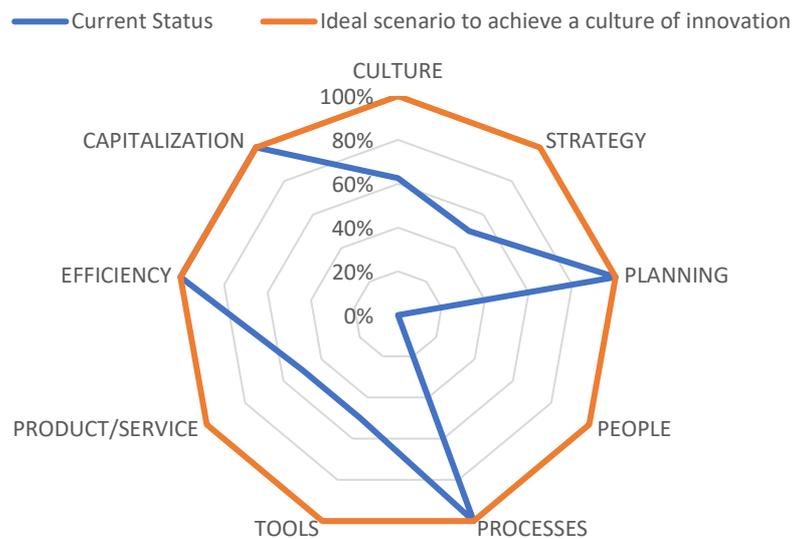
Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

For its part, Figure 4 shows that SERP company stood out with acceptable levels of organizational innovation in the axes of culture, planning, people, and capitalization. However, it did not reach the required levels in the axes of strategy, processes, tools, products/services, and efficiency.

Figure 4*Innovation variables in SERP company*

Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

Finally, Figure 5 shows that INTG company reached acceptable levels of organizational innovation in the axes of planning, processes, efficiency, and capitalization. On the other hand, the required level in the axes of culture, strategy, people/means, tools, and products/services was not reached.

Figure 5*Innovation variables in INTG company*

Source: prepared by the authors, based on COTEC Foundation (2013)

In general terms (as seen in Table 2), none of the companies analyzed reached an ideal state of organizational innovation. PTOM was the company that achieved the highest level of compliance with the axes of business innovation (culture, strategy, planning, people, process, product/service, and capitalization). Conversely, INTG was the company that showed the lowest level of compliance achieving only four axes (planning, processes, efficiency, and capitalization).

Regarding the axes, the one that obtained the highest degree of compliance was planning, which was fulfilled in each company. In contrast, the axis related to the tools was the one with the lowest level of compliance (acceptable results were achieved in only one company). The foregoing shows that companies are approving budgets to develop innovation projects. However, companies do not have sufficient physical and technological tools to execute those projects, implying a barrier in their materialization.

Table 2*Organizational innovation level of compliance in companies under study*

AXES/COMPANIES	PTOM	PTOS	MROL	SERP	INTG
Culture	YES	YES	YES	YES	NO
Strategy	YES	NO	YES	NO	NO
Planning	YES	YES	YES	YES	YES
People	YES	YES	YES	YES	NO
Processes	YES	NO	NO	NO	YES
Tools	NO	YES	NO	NO	NO
Product/ Service	YES	YES	NO	NO	NO
Efficiency	NO	YES	NO	NO	YES
Capitalization	YES	NO	YES	YES	YES

Source: Own elaboration

Methodological proposal for the improvement of organizational innovation

The strategic diagnosis showed that planning process is vital for developing an innovative culture in the organization and executing innovative corporate projects. However, the diagnosis also showed that companies do not have the necessary tools to carry out these planned innovation initiatives. These results are crucial when designing the methodological proposal for the improvement of organizational innovation in the population under study, as it is described below:

Firstly, planning is fundamental for improving organizational innovation because it is essential to have a stipulated strategic direction and to design a plan to propitiate an innovative culture in the company. The importance of planning is demonstrated when 100% of the companies analyzed comply with this axis. In this sense, the proposed methodology must start from a planning or strategic direction focused on organizational innovation.

Additionally, it is important to ensure the availability of resources, formalized processes, and tools to carry out organizational innovation projects. The companies' diagnosis showed that most companies have some innovative resources and processes. However, some of the companies did not have tools such as laboratories, specialized software for Business Intelligence, Blockchain technology for the implementation of Smart Contracts, and automated equipment for storage logistics. The lack of these tools impedes the effective implementation of processes; therefore, the innovation tools must be essential in the proposed methodology.

Finally, four of the five companies analyzed are working to develop an innovative culture, which places culture as the second most vital axis after planning. The aforementioned may indicate that achieving an innovative culture should be a relevant factor in the proposed methodology for organizational innovation.

It is relevant to mention that the proposed methodology has limitations in its application because the foreign trade logistics sector of Cartagena includes different members, such as customs agencies, port terminals, shipping companies, land carriers, practical pilot service companies, tug service companies, customs warehouses, logistics operators, international cargo agents, and diving service companies. Each of them has different processes for the execution of their business activities. Hence, it is difficult to design a methodology that fully adjusts to all the companies belonging to the different links of the supply chain, even though these companies have a common denominator: to achieve a smooth operation of foreign trade and its inherent logistics activities. For this reason, it should be clarified that this methodological proposal applies to Logistics Service Providers, the type of company selected to carry out this study.

The guidelines of this methodology are presented taking into account the results of the diagnosis implemented with the companies under study and the methodological proposals of theoretical references such as Beltrán & Pulido (2012) and Cândido et al. (2015). Among the variety of factors used in their research, they point out the importance of strategic design, processes, and results.

Based on the above, this methodological proposal starts from the STRATEGIC DESIGN variable since the research results showed that innovation is an issue that should be conceived from the strategic level and make it flow to the other hierarchical levels of the organizations in a coordinated way. Then, the PROCESS variable refers to the processes, tools, and activities required to promote innovation in the company. Finally, the RESULTS variable is included to identify the results of all the innovation management implemented with the

previous variables. Each of the above variables will be described in-depth, and some management indicators will be designed for control, monitoring, and follow-up purposes:

Table 3

Methodological variables for the improvement of organizational innovation in the Strategic Design phase

PHASE	VARIABLES	DESCRIPTION
Strategic Design	Senior Management	This is the head of the organization (Partners); inclusion of innovation in the corporate values, mission, vision and objectives of the organization. The objectives set must be achievable and consistent with reality.
	Resources	Allocation of an economic budget for the management of innovation, authorization to involve all the human talent that makes up the organization in its different departments, authorization of spaces and time to carry out innovation activities. In this sense, innovation is not seen as a waste of time.
	Search and identification of human resources for innovation	Identification of the leader and person responsible for innovation management who must inspire the rest of the organization. Search, participation and evaluation of innovation groups by departments. These groups for innovation management includes different professionals from different areas.

Source: own elaboration

Table 4

Indicators of methodology variables for the improvement of organizational innovation in the Strategic Design phase

PHASE	VARIABLE	INDICATOR
Strategic Design	Senior Management	Corporate objectives aimed at innovation/ Total Corporate objectives
	Resources	1) Economic resource authorized for innovation/ Total income 2) Authorized time for innovation/ Total working hours
	Search and identification of human resources for innovation	Percentage of compliance with the required profile

Source: own elaboration

Table 5

Methodological variables for the improvement of organizational innovation in the Processes phase

PHASE	VARIABLES	DESCRIPTION
Process	Tools	Equipment and technologies, surveys, R+D+I department, management systems for innovation. To innovate, it is necessary to be organized, therefore the existence of management systems that guarantee the organization of the company is important.
	Internal and external sources of innovation	Participation of all employees, suppliers, customers, port, customs and environmental authorities, universities, and community in the innovation activities. In other words, all the agents from which information necessary for the generation of innovation can be obtained. Institutional actors are also involved in this variable and strategic alliances are generated in order to promote an adequate innovation ecosystem. This variable seeks to know the perception of the community about corporate social responsibility, since growth is not only conceived for the company, but for the territory where it is located and it must be aligned with regional development plans. These activities can be implemented through the formation of work networks with representatives belonging to each of the aforementioned stakeholders. In these meetings specific commitments must be established which must be recorded in minutes with responsible individuals and compliance deadlines.

PHASE	VARIABLES	DESCRIPTION
	Process innovation management	Commercial, operational and administrative management. Inclusion of innovation in the main processes that make up the business activity of the company.
	Plan of activities for innovation	Meetings, dissemination of information, brainstorming, entertainment and recreation activities that provide a setting for the generation of ideas; economic and verbal motivation for employees; participation in innovation fairs; innovation projects and training for innovation.

Source: own elaboration

Table 6

Indicators of methodology variables for the improvement of organizational innovation in the Processes phase

PHASE	VARIABLE	INDICATOR
Process	Tools	1) Management systems with modules specialized in innovation / Total management systems used in the company 2) Total technological resources authorized for innovation management / Total resources used
	Internal and external sources of innovation	1) Total of internal sources of information for innovation / Total of internal sources 2) Total of external sources of information for innovation / Total of external sources
	Process innovation management	Total of main processes that include innovation / total of main processes
	Plan of activities for innovation	Total activities executed for innovation / Total activities planned for innovation

Source: own elaboration

Table 7

Methodological variables for the improvement of organizational innovation in the Results phase

PHASE	VARIABLES	DESCRIPTION
Results	Model or prototype	Design of the innovation process in the company, in this way the dynamics of innovation will be easier and it should be disseminated to all the employees involved.
	Adequate accounting systems	As a result of the innovation, an adequate accounting system is found, which is adapted to the innovation management and allows identifying the intangible assets generated by the innovation process. The growth of sales as a result of the innovation management and the improvement of the services provided.
	Efficiency	Lower costs in service operations provided, innovative processes that allow a quicker provision of the service.
	Culture	Change in the behavior of employees oriented towards innovation. Habits, permanent motivation, experimentation, breaking the status quo, frequency of meetings, appropriation of knowledge for innovation. There must be knowledge transfer, capture and appropriation of new knowledge. Innovation becomes part of the organization's DNA.

Source: own elaboration

Table 8

Indicators of methodology variables for the improvement of organizational innovation in the Processes phase

PHASE	VARIABLE	INDICATOR
Results	Model or prototype	Number of improved processes / Number of innovation activities
	Adequate accounting systems	1) Total sales invoiced as a result of innovation activities / Total investment for innovation 2) Total intangible assets resulting from innovation activities / total intangible assets Note: Intangible assets generated internally by innovation activities will be measured in accordance with the provisions of the International Accounting Standards (IAS): "The cost of an internally generated intangible asset, for the purposes of the initial measurement, will be the sum of the disbursements incurred from the moment in which the element meets the conditions for its recognition, established in relation to the conditions necessary to be an asset and to be recognized". This condition can be found on IAS 38.
	Efficiency	Operating costs for service provision prior to implementation of innovation activities - Operating costs for service provision after implementation of innovation activities
	Culture	1) Total monthly meetings to discuss innovation issues / total monthly meetings 2) Total New Ideas Submitted by Employees / Total New Ideas Approved by Employer 3) Total working time dedicated to innovation activities / Total working time

Source: own elaboration

The methodological proposal presented above, arises from the results obtained in the strategic diagnosis of the companies under study. Additionally, the expert opinion method was used to validate the elaboration of the phases, the variables, and the indicators of the methodology proposed. The expert opinion has been widely used as a validation instrument for methodological proposal in the field of innovation (Monsonís-Payá et al., 2017).

Conclusions

This research showed the current state of organizational innovation of five companies in the logistics sector in Cartagena, showing that none of them has been able to reach an ideal state of organizational innovation. This result is because they do not fully comply with the nine axes used to measure innovation in these companies (culture, strategy, planning, people, processes, tools, product/service, efficiency, and capitalization).

On average, the companies analyzed reach levels of innovation above 80% in five of the nine measured areas, which shows the need for logistics companies to improve their levels of organizational innovation to reach the ideal state (100% on all nine axes). Based on the foregoing, the methodological proposal for improving organizational innovation was structured.

The methodological proposal was designed considering the importance of the planning axis in the companies analyzed. The relevance of the planning axis positions it on the first phase of the methodological proposal which focuses on strategic direction.

Additionally, the proposal considers the interdependence shown by the axes of processes and tools, which must be developed jointly to get better results. The importance of the interdependence between processes and tools was evidenced in the strategic diagnosis, which showed that most companies have processes and resources dedicated to innovation. However, they do not have tools such as specialized software, blockchain technology, and automated equipment to implement those innovation processes effectively. For this reason, the methodological proposal in its Process phase contains a Tool variable to ensure that companies have the necessary tools to implement their innovation processes.

Finally, it tends to create an innovative culture since companies will be innovative when their members internalize an ideology focused on creativity and develop habits for generating new ideas.

Despite all the efforts that are being made in the logistics companies in Cartagena, it is evident that they still have some weaknesses in the management and generation of innovation. Therefore, it is important to make available methodological tools like this one, which intend to improve levels of organizational innovation.

For future stages of this research, it is expected to implement the proposed methodology in the five selected companies. Then, carry out a comparative analysis to determine if there was an improvement in the levels of organizational innovation. Finally, the academic community is invited to carry out studies like this in other economic sectors in order to provide companies with methodological tools to improve their innovation levels and, hence, their competitiveness.

References

- Arrieta Rodríguez, D. A., Guzman, H. L., & González, J. S. (2018). Análisis De Las Empresas De Cartagena Del Sector Logístico Portuario Basado En El Modelo De Configuración Estratégica De Danny Miller. *Revista Aglala*, 9(1), 62–90. <https://doi.org/10.22519/22157360.1182>
- Atehortúa, J. (2022). *Propuesta de Gestión de la Innovación Tecnológica en la administración de la tierra bajo la norma ISO 19152 : 2012 LADM COL . Estudio de Caso : Catastro Medellín* [Instituto Tecnológico Metropolitano]. https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/5584/LuzJeannette_AtehortuaGoez_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Attallah, S. A. A., Mamlook, R., & Al-Jayyousi, O. (2019). A proposed methodology for measuring sme innovation. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 37(2).
- Banu, G. S. (2018). Measuring innovation using key performance indicators. *Procedia Manufacturing*, 22, 906–911. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.128>
- Beltrán Duque, A., & Pulido, B. (2012). Innovación: estrategia que contribuye a asegurar crecimiento y desarrollo en micro, pequeñas y medianas empresas en Colombia. *Revista Sotavento*, 19, 104–113. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/3344>
- Blasco, J., López, A., & Mengual, S. (2010). Para Conocer Las Experiencias E Interés Hacia Las Water Activities With Special Attention To Windsurfing. *Ágora*, 12(2005), 75–96. <https://www.eutm.es/journal/index.php/gt/article/view/85/83>
- Cândido, A. P., Vianna, C. T., Gauthier, F. O., Aradas, A. R.-P., & Koslovsky, M. A. N. (2015). Proposta de modelo para avaliação e supervisão de gestão da inovação tecnológica em pequenas e médias

- organizações. *Espacios*, 36(20), 8. <https://www.revistaespacios.com/a15v36n20/15362008.html>
- Casas, R. D., & Urrego, N. M. (2013). Selección de modelo de gestión tecnológica para pymes colombianas. *Revista Científica*, 1(17), 125. <https://doi.org/10.14483/23448350.4572>
- Chesbrough, H., Lettl, C., & Ritter, T. (2018). Value Creation and Value Capture in Open Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 35(6), 930–938. <https://doi.org/10.1111/jpim.12471>
- COTEC Foundation. (2013). *La Innovación en las Pymes Españolas*. Fundación COTEC.
- D'Alvano, L., & Nuchera, A. H. (2011). Uso de técnicas y el desarrollo del proceso de innovación en las organizaciones de servicio. *Actas de Las XIV Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica - ALTEC 2011*, 409. <http://oa.upm.es/11543/>
- Direction of Taxes and Customs in Colombia. (n.d.). *ESTADÍSTICAS DE COMERCIO EXTERIOR*. <https://www.dian.gov.co/dian/cifras/Paginas/EstadisticasComEx.aspx>
- Doumecq, J. C., Domingo, P. J., & Antonio, M. O. (2013). La Gestión de la Innovación Tecnológica y el Desarrollo Territorial (GIT). *Dyna*, October. <https://www.researchgate.net/publication/259282203>
- Drucker, P. (2002). The Discipline of Innovation. *Harvard Business Review*, 80, 95–100. https://www.researchgate.net/publication/11192227_The_Discipline_of_Innovation
- El País. (2013). Cotec crea una herramienta para medir la capacidad de innovación de las pymes. *Teritorio PYME*. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2013/02/27/emprendedores/1361978053_587363.html
- Enjolras, M., Galvez, D., Camargo, M., & Morel, L. (2014). Proposal of a methodology to elicit maturity curves: Application to innovation and protection capabilities of SMEs. *2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering Responsible Innovation in Products and Services, ICE 2014*. <https://doi.org/10.1109/ICE.2014.6871592>
- European Commission. (1995). *Libro Verde de la Innovación*. European Commission.
- Gault, F. (2020). *Measuring Innovation Everywhere*. Edward Elg.
- Goldman, R., & Gabriel, R. (2005). *Innovation Happens Elsewhere: Open Source as Business Strategy* (First edit). Morgan Kaufmann.
- Gonzalez, I. V. D. P. (2016). As Características para o Surgimento da Aprendizagem Organizacional, da Inovação e da Gestão da Inovação: Estudo de caso múltiplo em empresas industriais do setor de cosméticos. *Espacios*, 37(31), 32. <https://www.revistaespacios.com/a16v37n31/16373132.html>
- Jones-Evans, D., Gkikas, A., Rhisiart, M., & MacKenzie, N. G. (2018). Measuring Open Innovation in SMEs. In *Researching Open Innovation in SMEs* (p. 536). World Scientific. <https://doi.org/https://doi.org/10.1142/10733>
- Koren, R., & Palčič, I. (2015). The impact of technical and organisational innovation concepts on product characteristics. *Advances in Production Engineering and Management*, 10(1), 27–39. <https://doi.org/10.14743/apem2015.1.190>
- Lalic, B., Anisic, Z., Medic, N., Tasic, N., & Marjanovic, U. (2017). The impact of organizational innovation concepts on new products and related services. *24th International Conference on Production Research, ICPR 2017*, 110–115. https://www.researchgate.net/profile/Ugljesa-Marjanovic/publication/323888119_THE_IMPACT_OF_ORGANIZATIONAL_INNOVATION_CONCEPTS_ON_NEW_PRODUCTS_AND_RELATED_SERVICES/links/5ac387b6a6fdccda661053b/THE-IMPACT-OF-ORGANIZATIONAL-INNOVATION-CONCEPTS-ON-NEW-PROD
- Lalic, B., Rakic, S., & Marjanovic, U. (2019). Use of industry 4.0 and organisational innovation concepts in the Serbian textile and apparel industry. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 27(3), 10–18. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.0737>

- Lavikka, R., Chauhan, K., Peltokorpi, A., & Seppänen, O. (2021). Value creation and capture in systemic innovation implementation: case of mechanical, electrical and plumbing prefabrication in the Finnish construction sector. *Construction Innovation*, 21(4), 837–856. <https://doi.org/10.1108/CI-05-2020-0070>
- Machado, C., & Davim, J. P. (2020). *Entrepreneurship and Organizational Innovation* (First Edit). Springer International Publishing.
- Mathison, L., & Primera, C. (2007). INNOVACIÓN : FACTOR CLAVE PARA LOGRAR VENTAJAS COMPETITIVAS INNOVATION : KEY FACTOR TO ACHIEVE COMPETITIVE ADVANTAGES Introducción Consideraciones Iniciales. *Revista NEGOTIUM / Ciencias Gerenciales*, 7, 65–83. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2573532>
- Mills, A., Durepos, G., & Wiebe, E. (2010). *Multiple-Case Designs*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4135/9781412957397.n216>
- Monsonís-Payá, I., García-Melón, M., & Lozano, J. F. (2017). Indicators for responsible research and innovation: A methodological proposal for context-based weighting. *Sustainability (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/su9122168>
- Nagano, M. S., Stefanovitz, J. P., & Vick, T. E. (2014). Organizational context as a support to innovation: A comparative case study in Brazilian companies | O contexto organizacional como aporte à inovação: Um viés comparativo de casos em empresas Brasileiras. *Gestao e Producao*, 21(3), 477–490. <https://doi.org/10.1590/0104-530X510>
- Nimfa, D. T., Islam, A., Latiff, A. S. A., & Wahab, S. A. (2021). Role of Innovation Competitive Advantage on Strategic Orientation Dimensions and Sustainable Growth of SMEs in Nigeria. *Communications in Computer and Information Science*, 1477 CCIS, 46–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86761-4_5
- OECD. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. In *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264304604-en.pdf?expires=1635188344&id=id&acname=guest&checksum=A0EFE082698559115B1F21499AE294A1%0Ahttps://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Orth, P., Piller, G., & Rothlauf, F. (2021). How Companies Develop a Culture for Digital Innovation: A Multiple-Case Study. In *Lecture Notes in Business Information Processing* (Vol. 430). https://doi.org/10.1007/978-3-030-87205-2_15
- Ortiz, J. (2016). *COTEC, 1990-2015. Un Cuarto de Siglo Impulsando la Innovación*. COTEC.
- Palčič, I., Klančnik, S., Ojsteršek, R., Lerher, T., Buchmeister, B., & Ficko, M. (2020). The Use of Organizational Innovation Concepts in Manufacturing Companies. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 591 IFIP*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_9
- Pamies, M., Cascales, A., & Gomariz, M. (2020). La validación de expertos en el proceso de adaptación de cuestionarios. El cuestionario de transferencia de la formación del profesorado no universitario. In *La docencia en la Enseñanza Superior. Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas* (pp. 528–538). Ediciones OCTAEDRO. <https://octaedro.com/libro/la-docencia-en-la-ensenanza-superior/>
- Petit, C., Dubois, C., Harand, A., & Quazzotti, S. (2011). A new, innovative and marketable IP diagnosis to evaluate, qualify and find insights for the development of SMEs IP practices and use, based on the AIDA approach. *World Patent Information*, 33(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2010.03.001>
- Ruiz Suárez, M., & García Rubiano, M. (2013). *Adaptación Lingüística Y Validación Del Cuestionario De Justicia Organizacional De Colquitt Con Una Muestra De Trabajadores Colombianos Linguistic Adaptation and Validation of the Colquitt Justice Organizational Questionnaire Applied To Colombian Workers*. 16(29), 65–83. <http://portal.unisimonbolivar.edu.co:82/rdigital/psicogente/index.php/psicogente>
- Santa-Maria, T., Vermeulen, W. J. V., & Baumgartner, R. J. (2021). Framing and assessing the emergent field

of business model innovation for the circular economy: A combined literature review and multiple case study approach. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 872–891.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.037>

Schumpeter, J. (1934). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press.

Stake, R. (2013). *Multiple Case Study Analysis*. The Gilford Press.

Tali, D., Uzir, M. U. H., Maimako, L. N., Eneizan, B., Latiff, A. S. A., & Wahab, S. A. (2021). The impact of innovation competitive advantage on product quality for sustainable growth among SMES: An empirical analysis. *International Journal of Business Science and Applied Management*, 16(3), 39–62.
https://www.researchgate.net/publication/353573368_The_Impact_of_Innovation_Competitive_Advantage_on_Product_Quality_for_Sustainable_Growth_among_SMEs_An_Empirical_Analysis

Tarafdar, M., & Gordon, S. R. (2005). How information technology capabilities influence organizational innovation: Exploratory findings from two case studies. *Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems, Information Systems in a Rapidly Changing Economy, ECIS 2005*.
[https://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/how-information-technology-capabilities-influence-organizational-innovation\(7dba75bd-3d07-4e21-a6db-538f28251aa5\).html](https://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/how-information-technology-capabilities-influence-organizational-innovation(7dba75bd-3d07-4e21-a6db-538f28251aa5).html)

Yin, R. (2014). *Case Study Research: Design and Methodology*. SAGE Publications Inc.

Información para Autores



Travel is to make a journey or to make an adventure to
somewhere by bicycle, train, airplane, car, motorcycle, or
boat. It could be an exploration to somewhere new, planned
or unplanned to meet new people, see things and new
places. There are different types of adventures waiting
for you to explore.

There are lots of places to explore. Places could be cities
or mountains. Some people love to be with nature to find
their souls and refresh their souls. Or some like to be
in the city. You will get lots of benefits when you explore
the world.

Evaluación por pares

La Revista Tecnológica Espol - RTE es una revista arbitrada que se rige por el sistema doble par anónimo. Los artículos enviados por los autores son evaluados en previamente por el Comité de Redacción para comprobar si se ajustan a las normas de edición y a las políticas temáticas de la revista. Cuando el artículo pasa ese primer filtro es enviado a dos evaluadores externos expertos en la temática abordada por el autor. Para cumplir y defender la ética de la investigación, estos evaluadores son siempre ajenos a la institución a la que pertenece el autor y son los encargados de dictaminar si responde a los intereses científicos de la revista y procede su publicación. En la valoración final, los revisores deciden entre las siguientes opciones: publicable, publicable con modificaciones menores, publicable con modificaciones mayores o no publicable. En el caso de que haya disparidad de opinión entre revisores del Comité Científico, se someterá al juicio de un tercer experto, que dirimirá en conflicto de pareceres.

Derechos de autor (Copyright)

Los originales publicados, en las ediciones impresa y electrónica, de la Revista Tecnológica Espol - RTE, bajo derechos de primera publicación, son propiedad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, República del Ecuador, siendo absolutamente necesario citar la procedencia en cualquier reproducción parcial o total de los contenidos (textos o imágenes) publicados. RTE proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, pues creemos firmemente en el acceso público al conocimiento, lo cual no obsta para que la cita de la fuente sea obligatoria para todo aquél que desee reproducir contenidos de esta revista.

De igual modo, la propiedad intelectual de los artículos o textos publicados en la revista RTE pertenece al/la/los/las autor/a/es/as, quienes conservan sus derechos de autor.

Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

Todo el contenido de RTE mantiene una licencia de contenidos digitales otorgada por Creative Commons.



*Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.*

Directrices para autores

Los textos postulados deben:

1. Corresponder a las categorías universalmente aceptadas como producto de investigación.
2. Ser originales e inéditos.
3. Sus contenidos responden a criterios de precisión, claridad y brevedad.

Se clasifican en:

3.1 Artículos. En esta sección se publican:

- 3.1.1 Artículos de investigación científica o tecnológica:** presenta de manera detallada los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro aportes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- 3.1.2 Artículo de reflexión o ensayo:** presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico recurriendo a fuentes originales.
- 3.1.3 Artículo de revisión:** resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, ya sea en el campo científico, artístico o artístico tecnológico, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo.

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 34, N° 3

Edición Especial: TICEC 2022

- i. Convocatoria abierta: hasta el 19 de junio de 2022*
- ii. Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos: hasta el 19 de agosto de 2022*
- v. Publicación del volumen: 30 de noviembre de 2022*

Mayor información:

<http://www.rte.espol.edu.ec/public/site/special-issue-ticec2022.pdf>

Próximos Volúmenes

PROGRAMACIÓN

Vol. 34, N° 4

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de septiembre de 2022*
- ii. Notificación de artículo seleccionado por pares ciegos: hasta el 30 de noviembre de 2022*
- v. Publicación del volumen: 30 de diciembre de 2022*

PROGRAMACIÓN

Vol. 35, N° 1

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de abril de 2023*
- ii. Artículos seleccionados para publicación: hasta el 30 de mayo de 2023*
- iii. Publicación del volumen: 30 de junio de 2023*

PROGRAMACIÓN

Vol. 35, N° 2

Volumen Regular

- i. Convocatoria abierta: hasta el 30 de septiembre de 2023*
- ii. Artículos seleccionados para publicación: hasta el 30 de noviembre de 2023*
- iii. Publicación del volumen: 30 de diciembre de 2023*

NOTE: For interest in publications of special issues, universities and organizations related to research are invited to contact us at nsolorza@espol.edu.ec

NOTA: Para interés en publicaciones de volúmenes especiales, se invita a universidades y organizaciones relacionadas con investigación a contactarnos a nsolorza@espol.edu.ec



espol



rte.espol.edu.ec