



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL



FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE SISTEMAS

VOLUME 10, ISSUE 1  
JANUARY 2023  
ISSN: 1390-9266  
e-ISSN:1390-9134

**EDITOR IN CHIEF**

Denys A. Flores, PhD.  
Escuela Politécnica Nacional,  
Ecuador.

# LAJC LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

Associated Institutions:



**UDEM**



**UPR**  
Recinto Universitario de Magagüez

# LAJC

Vol X, Issue 1, January 2023



<https://www.epn.edu.ec>

### MISIÓN

La Escuela Politécnica Nacional es una Universidad pública, laica y democrática que garantiza la libertad de pensamiento de todos sus integrantes, quienes están comprometidos con aportar de manera significativa al progreso del Ecuador. Formamos investigadores y profesionales en ingeniería, ciencias, ciencias administrativas y tecnología, capaces de contribuir al bienestar de la sociedad a través de la difusión del conocimiento científico que generamos en nuestros programas de grado, posgrado y proyectos de investigación. Contamos con una planta docente calificada, estudiantes capaces y personal de apoyo necesario para responder a las demandas de la sociedad ecuatoriana.

### VISIÓN

En el 2024, la Escuela Politécnica Nacional es una de las mejores universidades de Latinoamérica con proyección internacional, reconocida como un actor activo y estratégico en el progreso del Ecuador. Forma profesionales emprendedores en carreras y programas académicos de calidad, capaces de aportar al desarrollo del país, así como promover y adaptarse al cambio y al desarrollo tecnológico global. Posiciona en la comunidad científica internacional a sus grupos de investigación y provee soluciones tecnológicas oportunas e innovadoras a los problemas de la sociedad.

La comunidad politécnica se destaca por su cultura de excelencia y dinamismo al servicio del país dentro de un ambiente de trabajo seguro, creativo y productivo, con infraestructura de primer orden.

### ACCIÓN AFIRMATIVA

La Escuela Politécnica Nacional es una institución laica y democrática, que garantiza la libertad de pensamiento, expresión y culto de todos sus integrantes, sin discriminación alguna. Garantiza y promueve el reconocimiento y respeto de la autonomía universitaria, a través de la vigencia efectiva de la libertad de cátedra y de investigación y del régimen de cogobierno.



## FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

<https://fis.epn.edu.ec>

### **MISIÓN**

La Facultad de Ingeniería de Sistemas es el referente de la Escuela Politécnica Nacional en el campo de conocimiento y aplicación de las Tecnologías de Información y Comunicaciones; actualiza en forma continua y pertinente la oferta académica en los niveles de pregrado y postgrado para lograr una formación de calidad, ética y solidaria; desarrolla proyectos de investigación, vinculación y proyección social en su área científica y tecnológica para solucionar problemas de trascendencia para la sociedad.

### **VISIÓN**

La Facultad de Ingeniería de Sistemas está presente en posiciones relevantes de acreditación a nivel nacional e internacional y es referente de la Escuela Politécnica Nacional en el campo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones por su aporte de excelencia en las carreras de pregrado y postgrado que auspicia, la calidad y cantidad de proyectos de investigación, vinculación y proyección social que desarrolla y su aporte en la solución de problemas nacionales a través del uso intensivo y extensivo de la ciencia y la tecnología.

**LAJC** LATIN-AMERICAN  
JOURNAL OF  
COMPUTING

---

Vol X, Issue 1, January 2023

ISSN: 1390-9266 e-ISSN: 1390-9134

Published by:  
Escuela Politécnica Nacional  
Facultad de Ingeniería de Sistemas

Quito - Ecuador



**Mailing Address**  
Escuela Politécnica Nacional,  
Facultad de Ingeniería de Sistemas  
Ladrón de Guevara E11-253, La Floresta  
Quito-Ecuador, Apartado Postal: 17-01-2759

**Web Address**  
<https://lajc.epn.edu.ec/>

**E-mail**  
[lajc@epn.edu.ec](mailto:lajc@epn.edu.ec)

**Frequency**  
2 issues per year

## Published by

**Escuela Politécnica Nacional**  
Facultad de Ingeniería de Sistemas  
Ecuador

## Editor in Chief

**Denys A. Flores, PhD.**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

## Editorial Committee

**Gabriela Suntaxi, PhD. (Chair)**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[gabriela.suntaxi@epn.edu.ec](mailto:gabriela.suntaxi@epn.edu.ec)  
**Shahzad Zargari, PhD.**  
Sheffield Hallam University, England  
[S.Zargari@shu.ac.uk](mailto:S.Zargari@shu.ac.uk)  
**Matthew Bradbury, PhD.**  
University of Lancaster, England  
[m.s.bradbury@lancaster.ac.uk](mailto:m.s.bradbury@lancaster.ac.uk)

**Hagen Lauer, PhD.**  
Fraunhofer SIT, Germany  
[hagen.lauer@sit.fraunhofer.de](mailto:hagen.lauer@sit.fraunhofer.de)  
**Diana Ramírez PhD (c).**  
Universidad Pompeu Fabra, España  
[diana.ramirez@upf.edu](mailto:diana.ramirez@upf.edu)

## Co-Editors

**Carlos Iñiguez, Ph.D.**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[carlos.iniguez@epn.edu.ec](mailto:carlos.iniguez@epn.edu.ec)  
**Iván Carrera, PhD.**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[ivan.carrera@epn.edu.ec](mailto:ivan.carrera@epn.edu.ec)

**Edison Loza, Ph.D.**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[edison.loza@epn.edu.ec](mailto:edison.loza@epn.edu.ec)

## Assistant Editors

**Ing. Damaris Tarapues**  
Technical Support  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[blanca.tarapues@epn.edu.ec](mailto:blanca.tarapues@epn.edu.ec)

**Ing. Gabriela Quiguango**  
Communications Manager  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[jenny.quiguango@epn.edu.ec](mailto:jenny.quiguango@epn.edu.ec)

## Proofreader

**María Eufemia Torres, MSc.**  
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
[maria.torres@epn.edu.ec](mailto:maria.torres@epn.edu.ec)

# EDITORIAL



Edison Loza  
PhD.

---

**Co-Editor LAJC**  
Escuela Politécnica Nacional,  
Ecuador

## Editorial

Un enunciado ampliamente reconocido establece que lo único que es constante en el mundo es el cambio. Las sociedades, organizaciones y personas evolucionan, cambian, para adaptarse o adelantarse a los desafíos de sus entornos. Estos cambios a su vez engendran nuevos cambios, lo que hace que estas evoluciones se aceleren. Al punto en el cual, los avances que se producen en la actualidad nunca han sido tan masivos ni de tal envergadura.

Es en este marco que, desde este número, tengo el gusto de volver a colaborar como co-editor del Latin American Journal of Computing. Tuve la suerte de trabajar, hasta hace tres años, bajo la dirección de Jenny Torres Olmedo, PhD., cuando ella era editora en jefe. Y ahora tengo el honor de apoyar a Denys Flores Arnas, PhD., y a su equipo en este desafío de difusión científica. Todo el equipo de la revista ha trabajado muy fuerte para poder traer el presente número, y tenemos varias iniciativas que se implementarán en futuros números y de las cuales les tendremos noticias muy pronto.

Los artículos seleccionados para el presente número reúnen contribuciones interesantes de los diferentes campos de la computación. Así, José Sillagana, Daniel Morocho-Lara, Génesis Dayana Pinto y Yennifer Bustos Gamboa nos presentan un estudio mixto experimental enfocado en el aporte de la Gamificación en el aprendizaje de Matemática en educación básica. En su trabajo, estos autores reportan los aportes del desarrollo de recursos de autor de la web 3.0 en las aplicaciones Canvas, Liveworksheet y Nearpod.

Luis Pineda, Bayron S. Gutiérrez, Marcos Orellana Cordero y Jorge Luis Zambrano-Martínez presentan sus resultados de la implementación de métodos de cifrado en capas a través de sistemas distribuidos mediante SOAP. Su trabajo permite incrementar la seguridad de los datos que son enviados de un origen hacia su destino con un consumo de recursos computacionales mínimo en el sistema.

En su artículo, Cristhian H. Bastidas Paz y Héctor F. Chinchero Villacís presentan un Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida. Para ello, los autores utilizan un sistema de control basado en un microcomputador raspberry, el cual define un algoritmo de control basado en diferentes escenarios donde se determinan las reglas de energía para cada uno de los servicios del edificio. Como resultado, se reportan reducciones de consumo energético en un 50 %.

Carlos A. Aguirre y Carlos E. Anchundia reportan los resultados del desarrollo de un middleware para la interconexión de una aplicación móvil con un sistema heredado. Para ello los autores trabajaron en un proceso de reingeniería con base en el sistema heredado, desarrollaron métodos para la traducción de datos, aplicaron controles de seguridad y rediseñaron las pantallas para adaptarlas a un entorno móvil.

El trabajo de Brian Jordano Cagua Gómez, Julia Edith Pilatasig Caizaguano y Roberto Rodrigo Aguiar Falconí se enfoca en contribuir, mediante análisis no lineal estático, con un método para la evaluación de pórticos de acero. Se presentan nuevas funcionalidades del sistema para el análisis sísmico-estructural CEINCI LAB.

Sergio Jiménez y Andrés Merino presenta la aplicación de modelos de aprendizaje automático basados en CRISP-DM para analizar niveles de depresión en los estudiantes de una universidad ecuatoriana. Los autores realizaron un estudio con 302 estudiantes constituida por el Inventario de Depresión de Beck II. Del trabajo se obtuvo un modelo con 0.59 de exactitud y se verificó que las variables de género, edad y relaciones interpersonales son las más significativas

al determinar la severidad de depresión.

Esperamos que estos artículos sean un aporte interesante para nuestros lectores. Invitamos a toda nuestra audiencia a seguir contribuyendo con sus aportes. Mantenemos la puerta abierta para toda inquietud y contacto con nosotros y con los autores de las contribuciones presentadas en este número.

Edison Loza-Aguirre

Co-editor LAJC

### Editorial

A recognized statement states that change is the only constant in life. Societies, organizations, and people evolve, change, to adapt or anticipate the challenges of their environments. These changes in turn engender new changes, which causes these evolutions to accelerate. To the point at which, the advances that are taking place today have never been so massive or of such magnitude.

It is within this framework that, starting with this issue, I have the pleasure of once again collaborating as co-editor of the Latin American Journal of Computing. I was fortunate to work, until three years ago, under the direction of Jenny Torres Olmedo, PhD., when she was editor-in-chief. And now I have the honor of supporting Denys Flores Arnas, PhD., and his team in this scientific dissemination challenge. The entire team of the journal has worked very hard to bring you this issue, and we have several initiatives that will be implemented in future issues and of which we will have news very soon.

The articles selected for this issue gather interesting contributions from the different fields of computing. Thus, José Sillagana, Daniel Morocho-Lara, Génesis Dayana Pinto and Yennifer Bustos Gamboa present a mixed experimental study focused on the contribution of gamification in the learning of Mathematics in basic education. In their work, these authors report the contributions of the development of web 3.0 authoring resources for Canvas, Liveworksheet and Nearpod.

Luis Pineda, Bayron S. Gutiérrez, Marcos Orellana Cordero and Jorge Luis Zambrano-Martínez present their results on the implementation of layered encryption methods through distributed systems using SOAP. Their work allows to increase the security of the data that is sent from an origin to its destination with a minimum consumption of computational resources in the system.

In their article, Cristhian H. Bastidas Paz and Héctor F. Chinchero Villacis present an energy management system for intelligent buildings using distributed generation. For this, the authors use a control system based on a microcomputer, which defines a control algorithm based on different scenarios where the energy rules for each of the building services are determined. As a result, reductions of about 50% in energy consumption are reported.

Carlos A. Aguirre and Carlos E. Anchundia report the results of the development of a middleware for the interconnection of a mobile application with a legacy system. To do this, the authors worked on a reengineering process for the legacy system, developed methods for data translation, applied security controls, and redesigned user interfaces to adapt them to a mobile environment.

The work of Brian Jordano Cagua Gómez, Julia Edith Pilatasig Caizaguano and Roberto Rodrigo Aguiar Falconí focuses on contributing, through static nonlinear analysis, a method for the evaluation of steel frames. New functionalities of the system for seismic-structural analysis CEINCI LAB are presented.

Sergio Jiménez and Andrés Merino present the application of machine learning models based on CRISP-DM to analyze the levels of depression in students at an Ecuadorian university. The authors conducted a study with 302 students consisting of the Beck Depression Inventory II. From their work, a model with 0.59 accuracy was obtained and it was verified that the variables of gender, age and interpersonal relationships are the most significant when determining the severity of depression.

We hope these articles will be an interesting contribution for our readers. We invite all our audience to continue sending with their contributions. We keep the door open for any concerns and contacts with us and with the authors of the contributions presented in this issue.

Edison Loza-Aguirre

Co-editor LAJC

We are most grateful to the following individuals for their time and commitment to review manuscripts for the Latin American Journal of Computing - LAJC

## Reviewers

**Carlos Montenegro, MSc.**

Escuela Politécnica Nacional

**Diego Pinto, MSc.**

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

**Diego Riofrío, PhD.**

Universidad Internacional SEK

**Emilio Insfran, PhD.**

Universitat Politècnica de València

**Graciela Salum, PhD.**

Instituto Tecnológico Regional Suroeste -  
Universidad Tecnológica Fray Bentos

**Guadalupe Andrade, PhD.**

Multiversidad Mundo Real Edgar Morin

**Hernán Ordoñez, MSc.**

Escuela Politécnica Nacional

**Jessica Morales, MSc.**

ESPAM MFL, Grupo de Investigación SISCOM

**Jorge Miranda, MSc.**

Universidad Politécnica Estatal del Carchi

**José Lucio, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Juan Ibijes, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Julio Sandobalín, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Lorena Mahecha, MSc.**

Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Luis Urquiza, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Manuel Sanchez, PhD.**

Universidad Internacional de La Rioja

**Marcelo García, PhD.**

Universidad Técnica de Ambato

**Marco Santórum, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Mauricio Pardo, MSc.**

Universidad Técnica de Machala

**Pamela Flores, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Roberto Andrade, MSc.**

Escuela Politécnica Nacional

**Sang Yoo, PhD.**

Escuela Politécnica Nacional

**Yasmina Vizuete, MSc.**

Escuela Politécnica Nacional

# TABLE OF CONTENTS

**Modelos de aprendizaje automático aplicando la metodología CRISP-DM para análisis de variables que inciden en el nivel de depresión de estudiantes universitarios de la Escuela Politécnica Nacional**

**CRISP-DM based Machine Learning Models for Analyzing the Depression Level in Students of the National Polytechnic School**

Sergio Jiménez  
Andrés Merino

22

**Desarrollo de middleware para interconexión de una aplicación móvil con un sistema heredado**

**Middleware development for interconnecting a mobile app with a legacy system**

Carlos A. Aguirre  
Carlos E. Anchundia

44

**Texto encriptado a través de sistemas distribuidos**

**Text encryption through distributed systems**

Luis D. Pineda  
Bayron Gutiérrez  
Marcos Orellana  
Jorge Luis Zambrano-Martínez

56

**Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida**

**Energy Management System for Smart Buildings using Distributed Generation**

Cristhian H. Bastidas Paz  
Héctor F. Chinchero Villacís

68

**Análisis Estático No Lineal de Pórticos de Acero empleando OpenSees y CEINCI LAB**

**Nonlinear Static Analysis of Steel Frames using OpenSees and CEINCI LAB**

Brian Jordano Cagua Gómez  
Julia Edith Pilatasig Caizaguano  
Roberto Rodrigo Aguiar Falconí

86

**Gamificación en Matemática**

**Gamification in Mathematics**

José Sillagana  
Daniel Morocho-Lara  
Yennifer Bustos Gamboa  
Génesis Dayana Pinto

102

ARTICLE HISTORY

Received 30 September 2022  
Accepted 26 October 2022

**Sergio Jiménez**

Facultad de Ingeniería de Sistemas  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
sergio.jimenez@epn.edu.ec

**Andrés Merino**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Quito, Ecuador  
aemerinot@puce.edu.ec

# Modelos de Aprendizaje Automático basados en CRISP-DM para el análisis de los niveles de Depresión en los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional

## *CRISP-DM based Machine Learning Models for Analyzing the Depression Level in Students of the National Polytechnic School*

## Modelos de Aprendizaje Automático basados CRISP-DM para el Análisis de los niveles de Depresión en los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional

### CRISP-DM based Machine Learning Models for Analyzing the Depression Level in Students of the National Polytechnic School

**Sergio Jiménez**

Facultad de Ingeniería de Sistemas  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito - Ecuador  
sergio.jimenez@epn.edu.ec

**Andrés Merino**

Facultad de Ciencias Exactas y  
Naturales  
Pontificia Universidad Católica del  
Ecuador  
Quito - Ecuador  
aemerinot@puce.edu.ec

**Resumen—** El presente proyecto analiza las variables de depresión que puede tener un estudiante universitario de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) mediante modelos de aprendizaje automático (ML). Participaron un total de 302 estudiantes de distintas carreras quienes completaron de manera voluntaria y anónima una encuesta en línea constituida por el Inventario de Depresión de Beck II (BDI-II). Las 19 preguntas de la encuesta están relacionadas al estilo de vida promedio de un estudiante de la EPN y fueron revisadas y avaladas sobre su relación con trastornos depresivos por una profesional en el campo de la psicología. Se utilizó la metodología CRISP-DM para las fases del proyecto que consistieron en el análisis de la situación actual, planteamiento de objetivos, recolección, análisis y preparación de datos, construcción de modelos de ML para predecir la severidad de depresión con base en las métricas de BDI-II y evaluación de modelos. Se obtuvo un modelo con 0.59 de exactitud y se verificó que las variables de género, edad y relaciones interpersonales son las más significativas al determinar la severidad de depresión.

**Palabras clave—** Trastornos de Depresión, Aprendizaje Automático, Selección de Características, Ciencia de datos, Inventario de Depresión de Beck II, CRISP-DM, Python

**Abstract—** This project analyzes the depression rates among students from Escuela Politécnica Nacional (EPN). A total of 302 students from different EPN careers, voluntarily and anonymously completed an online survey of the Beck Depression Inventory-II (BDI-II). In addition, they were asked to answer 19 questions related to the lifestyle of an EPN student; These questions were reviewed and endorsed about their possible relationship with depressive

disorders by a professional in the field of psychology. The CRISP-DM methodology was used for the project phases, which involved the analysis of the current situation, objectives setting, data collection, data preparation, and construction of ML models that allows predicting the degree of depression based on the BDI-II metrics and evaluation of the models. The model obtained has 0.59 accuracy score and shows that variables of gender, age and relationships are significant to determine severity depression.

**Keywords—** Depression Disorders, Machine Learning, Feature Selection, Data Science, Beck Depression Inventory II, CRISP-DM, Python

## I. INTRODUCCIÓN

La depresión es un trastorno psicológico, por el cual un individuo experimenta un estado de pérdida de interés prolongado en las actividades habituales. Este trastorno puede manifestarse de manera psíquica (tristeza, cansancio, falta de concentración y memoria, etc.) y física (desórdenes alimenticios, trastornos de sueño, fatiga corporal, dolores de cabeza, etc.) [1]. De acuerdo con la OMS, el trastorno de depresión se estima que afecta al 5% de los adultos, con mayor prevalencia en mujeres y personas jóvenes a nivel global [2]; índice que iría en incremento debido al impacto del COVID-19 en la salud mental [2] [3]. Este trastorno psicológico es uno de los más frecuentes motivos de consulta en centros de bienestar estudiantil en universidades [4]. Los factores que influyen en la depresión de estudiantes universitarios están relacionados con los ámbitos académicos, sociales, familiares, económicos, culturales y personales [4]. Estos factores llegan a afectar a los estudiantes, sumiéndolos en un

estado prolongado de desánimo y tristeza; haciendo que su rendimiento académico, social y personal vayan disminuyendo. En casos graves de depresión, puede provocar la deserción de asignaturas académicas, rupturas sentimentales, pérdida de trabajo y, en casos extremos, llevar a la autolesión y el suicidio [4] [2].

Con base en esta situación, se plantea la necesidad de realizar un análisis de los posibles factores que pueden afectar psicológicamente a un estudiante promedio de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), centrándose en aquellos aspectos que puedan provocar un estado de depresión prolongado de mínimo dos semanas. La recolección de datos se la realizó durante las 2 últimas semanas del semestre 2022A, en donde, se sabe que los casos de estrés, ansiedad y depresión pueden llegar a manifestarse con mayor frecuencia.

Específicamente, se plantea la elaboración de un análisis estadístico descriptivo y la implementación de modelos de aprendizaje automático para determinar cuáles son las variables que inciden en el nivel de depresión de los estudiantes.

Los objetivos principales del presente trabajo consisten en el análisis, desarrollo y evaluación de modelos de aprendizaje automático, capaces de predecir el nivel de depresión que puede padecer un estudiante de la EPN. Los resultados de la evaluación del rendimiento de estos modelos permitirán el análisis estadístico de las variables que pueden incidir más en la detonación de trastornos depresivos, además de desarrollar un modelo de aprendizaje automático (ML por sus siglas en inglés) que sea capaz de predecir un posible cuadro de depresión en base a las variables analizadas.

El análisis estadístico de los datos mostrará las proporciones de estudiantes hombres, mujeres y de otros géneros, de diferentes rangos de edad, que presenten distintos niveles de depresión. Por otro lado, se presentará un contraste de los resultados de los niveles de depresión y las variables relacionadas con aspectos académicos, sociales, personales y hábitos de consumo.

El modelo de aprendizaje automático no busca reemplazar el diagnóstico profesional de parte de un experto en la salud mental, sino ser una herramienta que proporcione información útil para la toma de decisiones en tratamiento y/o campañas para disminuir o prevenir los casos de depresión en estudiantes de la EPN.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

De acuerdo con estudios realizados en universidades ecuatorianas, en el año 2015 por la universidad de Cuenca y en 2018 por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, existe una prevalencia de casos de depresión en estudiantes mujeres y jóvenes de entre 19 a 24 años [5] [6]. Sin embargo, otro estudio desarrollado en 2018 muestra ausencia de diferencias en cuanto al género respecto a trastornos de depresión, ansiedad o estrés [7]. Por otro lado, un estudio desarrollado en 2020, y aplicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, mostró que los hombres tenían más alteraciones en la salud mental que las mujeres [8].

Un evento que influye en este análisis es la pandemia provocada por el COVID-19 donde, de acuerdo con los resultados de una evaluación de estrés, ansiedad y depresión en Ecuador en el año 2021, la población ecuatoriana sufre de estrés en un 41%, depresión en 39%, y ansiedad en 46% [9].

El enfoque de utilizar herramientas de Aprendizaje Automático para detectar trastornos de depresión se ha llevado a cabo a través de distintas técnicas que van desde el procesamiento del lenguaje natural a través de textos en redes sociales o procesamiento de metadatos de publicaciones [10, 11], utilizar distintas técnicas de Aprendizaje Automático y Aprendizaje profundo con base en métricas de uso de dispositivos móviles [12, 13] o creando distintos modelos de acuerdo con los resultados de cuestionarios de evaluación de depresión estandarizados, además de cuestionarios con preguntas relacionadas al medio en que los participantes se encuentran involucrados [14].

## III. MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de recolectar datos, se realizaron encuestas a voluntarios cuyas respuestas mostrarán una estimación de si padecen un estado de depresión y puntuarán aproximadamente en que escala se encuentra. Para esto, se analizaron las pruebas estandarizadas para medir el nivel de depresión y ansiedad; de entre ellas, se escogió el Inventario de depresión de Beck (BDI-II por sus siglas en inglés).

### A. INVENTARIO DE DEPRESIÓN DE BECK II

Desarrollado por Aaron T. Beck y siendo una versión mejorada del BDI (1961) y BDI-AI (1978). El BDI-II es un inventario para evaluar la severidad de depresión desarrollado con

base en los criterios del American Psychiatric Association's Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders - Fourth Edition (DSM-IV). Este inventario está compuesto de 21 elementos de evaluación, cada uno con 4 puntos de escala de 0-3. El puntaje que se puede obtener puede ser de entre 0 a 63 puntos [15] [16].

Las escalas de severidad del estado de depresión que puede padecer una persona son:

- Depresión mínima, 0-13
- Depresión leve, 14-19
- Depresión moderada, 20-28
- Depresión severa, 29-63 [17]

El inventario es una herramienta que ayuda al diagnóstico de un trastorno de depresión, el cual se lo deberá realizar de manera objetiva por un profesional de la salud mental [16]. Asimismo, cabe señalar el formulario no se encuentra orientado a descartar un caso de depresión, por lo tanto, queda a consideración del profesional clasificar si una persona que se encuentra en el grupo de depresión mínima es en realidad un caso de un paciente sin depresión.

Para el proceso de análisis de la situación, análisis de datos, procesamiento de estos, construcción de modelos de ML y despliegue de resultados se tomó con base a la metodología CRISP-DM.

**B. METODOLOGÍA CRISP-DM**

Esta metodología es usada en proyectos de ciencia de datos que cuenta con seis fases de desarrollo e iterativas como se ve en la Fig. 1. Estas seis fases son [18]:

- Entendimiento del negocio
- Entendimiento de datos
- Preparación de datos
- Construcción del modelo
- Evaluación del modelo
- Despliegue del modelo

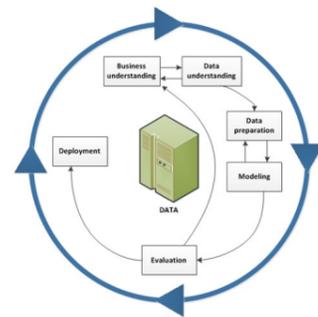


Fig. 1. Ciclo de vida de CRISP-DM de la minería de datos [18]

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizaron herramientas de programación y análisis de datos utilizadas en proyectos de ciencia de datos.

**C. HERRAMIENTAS**

**a. Python 3:** Lenguaje de programación de alto nivel, utilizado en el desarrollo de múltiples proyectos de Inteligencias Artificial, Aprendizaje Automático y Ciencia de Datos, el cual cuenta con múltiples librerías para el procesamiento de datos, visualización de datos, construcción y evaluación de modelos [19]. Las librerías de este lenguaje utilizadas para este proyecto fueron: Numpy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Sklearn y LazyPredict

**b. Google Colab:** Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) de jupyter notebook que se encuentra en la nube y no requiere configuración. Es capaz de integrarse al servicio de Google Drive para el manejo de archivos o fuentes de datos (.csv, xlsx, .text, .sql, entre otros) [20].

**c. Microsoft Forms:** Herramienta de Microsoft para el desarrollo de formularios simples, personalizables a nivel visual y de contenido que tienen la capacidad de ser compartido por medio digitales [21].

**d. Tableau:** Programa de visualización de datos con múltiples herramientas tanto de manipulación, visualización y presentación de datos.

**e. Modelos de Machine Learning**

**i. DecisionTree Classifier:** Modelo de predicción de aprendizaje deductivo mediante construcciones lógicas como los sistemas basados en reglas donde a través de nodos se forma la estructura de decisiones [22].

**ii. BernoulliNB:** Este modelo se basa en el teorema de Bayes el cual toma valores binarios 0 o 1 con una suposición "ingenua" de la independencia condicional entre dos elementos [23].

**iii. LGBM Classifier:** Este algoritmo permite el uso de variables categóricas y utiliza una técnica de gradiente de muestreo unilateral donde las instancias de los datos con mayores gradientes en cada iteración [24].

**iv. Bagging Classifier:** Modelo basado en un algoritmo conjunto que combina predicciones de distintos clasificadores donde se ajustan a diferentes modelos cada uno con diversos datos de entrenamiento [25].

**v. Nearest Centroid:** Es un modelo basado en distancias, donde se calcula el centroide de cada clase como el promedio de todas sus muestras en el conjunto de entrenamiento para predecir el centroide más cercano [26].

**f. Métricas de rendimiento de modelos de clasificación.**

**i. Confusion Matrix (Matriz de confusión):** utilizada para evaluar la precisión de un modelo de clasificación, valorando entre verdaderos positivos, falsos negativos, falsos positivos y verdaderos negativos [25].

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Fig. 2. Matriz de confusión [27]

**ii. Accuracy (Exactitud):** Muestra el número de elementos clasificados correctamente en comparación al número total de los elementos clasificados como se ve en (1) [25]:

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)} \quad (1)$$

**iii. Precision (Precisión):** Es el número de verdaderos positivos sobre el número de valores predichos como verdaderos [25]:

$$\text{Precision} = \frac{(TP)}{(TP + FP)} \quad (2)$$

**iv. Recall (Exhaustividad):** Es la cantidad de

verdaderos positivos con base en los valores totales de los valores positivos [25]:

$$\text{Recall} = \frac{(TP)}{(TP + FN)} \quad (3)$$

**v. F1-Score (Puntuación F1):** es la media armónica de las métricas Recall y Precision [25]:

$$F1 \text{ Score} = \frac{2 * (Precision * Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (4)$$

**IV. METODOLOGÍA**

A continuación, se detallan las fases del proyecto de acuerdo con la metodología CRISP-DM mencionada anteriormente.

**A. ENTENDIMIENTO DEL NEGOCIO**

Esta fase se enfocó en el entendimiento de objetivos y requerimientos del proyecto [28]. La cual estuvo compuesta por:

- Investigación: Análisis de los fundamentos del trastorno de depresión en población estudiantil universitaria investigando en las fuentes de proyectos, libros, informes y publicaciones relacionadas
- Evaluación de situación actual: Determinación de la disponibilidad de recursos, análisis de los factores implicados, determinación de la población dentro de la EPN a la cual se aplicó el estudio.
- Definición de objetivos del proyecto: definición de los objetivos de éxito del proyecto que encaminarán las etapas subsiguientes:
- Un análisis estadístico de los datos recolectados desde una perspectiva de género, rango de edad y nivel de depresión
- Desarrollo de un modelo de ML para determinar el nivel de depresión con base en datos académicos, sociales, económicos, familiares, culturales, personales y de consumo de un estudiante promedio de la EPN.
- Plan de proyecto: Definición de estrategias de recolección y tratamiento de datos, tecnologías, herramientas y pasos a realizar en cada fase del proyecto siguiendo la metodología.

**B. ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Esta fase se centró en la comprensión de datos, identificación, extracción y recopilación de estos [28]. En esta fase se desarrolló:

- Formulación de datos a recopilar: con la investigación realizada en la fase anterior, se estableció un total de 19 preguntas relacionadas a ámbitos académicos, culturales, sociales, económicos, personales y de consumo. Estas preguntas fueron evaluadas y aprobadas por una profesional en el campo de la psicología.

- Recopilación de datos: Se creó un cuestionario en línea usando la herramienta de Microsoft Forms el cual estuvo compuesto por dos partes: la primera consiste en los 21 elementos de BDI-II y la segunda basada en las 19 preguntas relacionadas con el estilo de vida promedio de un estudiante de la EPN. Estas preguntas estuvieron relacionadas con (entre paréntesis se señala el código asignado a cada pregunta):

1. El género que se identificaban (q22)
2. La edad que tienen (q23)
3. Con quienes viven (q24)
4. Si eran responsables del cuidado de alguna persona (q25)

En cuanto al ámbito académico las preguntas fueron:

5. Que tan de acuerdo está con que le guste su carrera universitaria (q26)
6. Si toma alguna asignatura básica de cálculo y si representa la mayoría de las que asignaturas que está tomando (q27). Las asignaturas de formación básica son comunes para todos los estudiantes de la universidad e históricamente, suelen ser consideradas las más demandantes.
7. Cuántas asignaturas considera exigentes (q28)
8. Si está repitiendo alguna materia y el nivel que le preocupa este hecho (q29)

La carga horaria de trabajo sea académico o laboral, de ser el caso, también fue un factor a considerar. Las preguntas fueron:

9. Cuántas horas de clases dedicas a la semana (q30)
10. Cuántas horas de estudio dedicas fuera de las horas de clase a la semana (q31)
11. Cuántas horas dedicas a actividades

de ocio, entretenimiento o relajación (q32)

12. Si trabaja, cuántas horas dedicaba a esta actividad semanalmente (q33)

Respecto al ámbito financiero solo se consideró únicamente:

13. Cómo financia mayoritariamente sus estudios (q34)
14. Cuántas veces consume alimentos altos en grasas y azúcares (q35)
15. Con qué frecuencia consume alcohol (q36)
16. Si consume alguna sustancia psicoactiva y la frecuencia con que lo hace (q37)

Por último, se establecieron preguntas respecto a la relación con las personas que convive en distintos ámbitos:

17. Cómo es su relación con sus compañeros de universidad (q38)
18. Cómo es su relación sentimental en caso de tener una (q39)
19. Cómo es su relación con las personas que vive (q40)

- Descripción de datos: Examinación inicial del formato, tipo de valores, distribución y volumen de datos. En esta fase, se exploró la cantidad de los datos, así como la calidad de estos. Se recolectaron un total 302 respuestas de los participantes de los cuales fueron 202 hombres, 97 mujeres y 3 personas que se identifican con otro género.

- Exploración de datos: Profundización de datos en ambas secciones del cuestionario a través de tablas, visualización de datos y correlación

- Evaluación de calidad de los datos: Identificación de datos relevantes, nulos, repetidos, de tipo incorrectos y valores atípicos.

### C. PREPARACIÓN DE DATOS

En esta fase, se recopilaron los datos para el análisis y construcción del modelo. Esta fase puede llevar entre un 50% a un 80% del proyecto y se interrelaciona con la fase de modelamiento en el sentido de establecer el modelo con el mejor resultado [18]. Las fases que lo conformaron fueron:

- Selección de datos: construcción del conjunto de datos de entrenamiento del modelo donde las primeras 21 columnas de fueron seleccionadas para el cálculo del nivel de depresión según las métricas de BDI-II, el resto de las 19 columnas representaron las variables para el análisis de índice de depresión.

- Limpieza de datos: aplicando de técnicas de tratamiento de datos, se eliminaron datos erróneos y atípicos tanto en el conjunto de datos de las 19 variables como el de BDI-II.

- Transformación y formateo de datos: Se transformaron los datos categóricos de tipo texto a tipo entero en una escala positiva desde el cero.

- Construcción de datos: para determinar las puntuaciones de resultados de BDI-II, se sumó los puntos de cada elemento para después agruparlo por las escalas respectivas de severidad de depresión.

- Integración datos: Creación de nuevos conjuntos de distintas fuentes de datos ya estandarizados, transformados y limpios en un solo conjunto de datos

- Análisis Exploratorio y Estadístico de datos: Esta fase comprendió el ver las relaciones entre las variables que podrían incidir en la depresión, tales como:

- Severidad de depresión por edad y género.
- Severidad de depresión por personas con quienes viven, parejas sentimentales y compañeros de universidad.
- Severidad de depresión por nivel de agrado de la carrera universitaria, cantidad de materias de formación básicas (las cuales tienen altos índices de reprobación en la EPN), número de materias exigentes y si se encuentran repitiendo alguna materia.
- Severidad de depresión por carga horaria de clases, estudio, descanso y trabajo si es que tuviese uno.
- Severidad de depresión por consumo de comida chatarra, alcohol y sustancias psicoactivas.
- Severidad de depresión por financiamiento de estudios
- Severidad de depresión por personas quienes son responsables de una persona

### D. MODELAMIENTO

En esta fase, se determinó cuáles serían los posibles modelos que arrojen los mejores resultados, se iteró con el conjunto de datos de entrenamiento hasta determinar el que obtiene las mejores métricas. Para conseguirlo, fue necesario ajustar los parámetros de cada modelo y se tuvo que reestructurar y formatear los datos de entrenamiento para que se adapten mejor a los modelos. Cuenta con las siguientes etapas:

- Técnicas de selección de modelos: Con base en los datos disponibles, la cantidad y la calidad de estos, se optó por analizar el resultado de los mejores algoritmos devueltos por la librería LazyPredict de Python con el objetivo de escoger y desarrollar el mejor modelo ajustando sus parámetros a los requisitos.

- Generación del diseño de prueba: Los modelos fueron evaluados en función de las métricas de algoritmos de aprendizaje supervisado, las cuales son: matriz de confusión (Confusion matrix), Exactitud (Accuracy), Precisión (Precision) y Puntuación F1 (F1-Score).

- Construcción de modelos, evaluación y aceptación: Los datos fueron separados en datos de entrenamiento y pruebas; posteriormente, fueron cargados en la función LazyClassifier de la librería LazyPredict para entrenamiento de los modelos. Adicionalmente, se realizaron diferentes técnicas de procesamiento de datos, como normalización y estandarización; de manera iterativa. Se utilizaron los datos con los diferentes procesamientos para entrenar a los algoritmos que destacará LazyClassifier. Finalmente, los 3 mejores puntuados fueron escogidos para su posterior configuración de parámetros con el fin de obtener los mejores modelos, con base a las métricas antes descritas.

- Se desarrolló una permutación de las variables de entre 2 a 15 para entrenar los modelos de LazyClassifier para de ese modo comprobar las variables tuviesen un mejor resultado en entrenar modelos, verificando así el análisis estadístico anteriormente desarrollado de las variables.

### E. EVALUACIÓN DEL MODELO

En esta fase del proyecto, se evaluó el desempeño de los modelos construidos mediante matrices de confusión. También, se

analizó si los modelos y el análisis estadístico fue satisfactorio respecto a los objetivos planteados.

- Evaluación de resultados: Los modelos fueron analizados en cuanto a la exactitud que reflejaban en la matriz de confusión en donde se observó el contraste de los valores predichos y los valores reales.

**F. DESPLIEGUE DEL MODELO**

En este proyecto, se contempló el desplegar los mejores modelos si las métricas de rendimiento eran superiores o iguales a las puntuaciones esperadas, además de señalar las variables más significativas de los modelos seleccionados. En cuanto al análisis estadístico se desarrollaron los gráficos respectivos y representativos, como se estableció en el Análisis Exploratorio y Estadístico de datos de la fase de preparación de datos.

**V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el análisis exploratorio y estadístico de los datos, se realizó la partición de las preguntas de la evaluación por los 21 elementos de BDI-II y las 19 variables que podrían incidir en la depresión.

De los 302 resultados de BDI-II se calculó el puntaje de cada participante y se definió su severidad de depresión siguiendo los rangos establecidos, como se muestra en la Tabla I y la Fig. 3:

Tabla I. Severidad de depresión por número de participantes

Severidad de depresión	Rango de puntuación	No. de participantes	%
Depresión severa	[29-63]	100	33.11%
Depresión moderada	[20-28]	81	26.82%
Depresión ligera	[14-19]	53	17.55%
Depresión mínima	[0-13]	68	22.52%

En cuanto al análisis del número de personas que son responsables de algún tercero fueron 58 (19.2 %) de los estudiantes. Los detalles del número de los estudiantes se muestran en la Tabla II

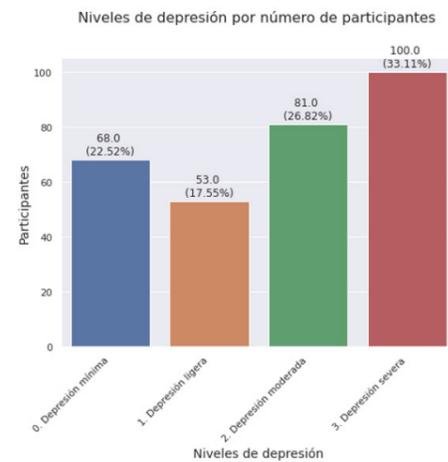


Fig. 3. Severidad de depresión por número de participantes

Tabla II. Severidad de depresión por cuidado de algún tercero

Severidad de Depresión	Cuidado	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	No	61
	Si	7
1. Depresión ligera	No	41
	Si	12
2. Depresión moderada	No	66
	Si	15
3. Depresión severa	No	77
	Si	23

El análisis del financiamiento de los estudios muestra que 263 (87.08%) de los estudiantes financian su estudio a través de sus padres, tutores u otros familiares. El número de estudiantes por severidad de depresión y modo de financiamiento se muestra en la Tabla III

Tabla III. Severidad de depresión por financiamiento de estudios

Severidad de Depresión	Financiamiento de estudios	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	A través de becas y/o ayudas económicas	2
	A través de mi trabajo	6
	A través de mis padres u otros familiares	60
1. Depresión ligera	A través de becas y/o ayudas económicas	4
	A través de mi trabajo	5
	A través de mis padres u otros familiares	44

2. Depresión moderada	A través de becas y/o ayudas económicas	3
	A través de mi trabajo	8
	A través de mis padres u otros familiares	70
3. Depresión severa	A través de becas y/o ayudas económicas	7
	A través de mi trabajo	8
	A través de mis padres u otros familiares	84
	A través de un préstamo estudiantil	1

El análisis de las personas con quien viven los estudiantes mostró que 257 (85.1%) viven con sus padres. Su desglose por la severidad de trastorno depresivo se ve en la Fig. 4.

Estudiantes que viven con sus padres por severidad de depresión

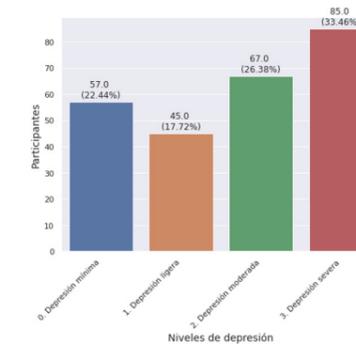


Fig. 4. Estudiantes que viven con sus padres por severidad de depresión

Por otro lado, la distribución de las personas que no viven con sus padres, por su severidad de depresión se observa en la Tabla IV, donde no se muestra una diferencia considerable de la severidad de la depresión.

Tabla IV. Estudiantes que no viven con sus padres por severidad de depresión

Severidad de Depresión	Con quien vives	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	Vivo con amigos/compañeros/ personas que no son mis familiares	1
	Vivo con mi pareja	3
	Vivo con otros familiares que no son mis padres	5
1. Depresión ligera	Vivo solo o sola	2
	Vivo con mi pareja	1
	Vivo con otros familiares que no son mis padres	4
	Vivo solo o sola	3

2. Depresión moderada	Vivo con amigos/compañeros/ personas que no son mis familiares	4
	Vivo con mi pareja	1
	Vivo con otros familiares que no son mis padres	7
3. Depresión severa	Vivo solo o sola	2
	Vivo con amigos/compañeros/ personas que no son mis familiares	2
	Vivo con mi pareja	1
	Vivo con otros familiares que no son mis padres	6
	Vivo solo o sola	6

En cuanto a los datos académicos, se tuvo la siguiente relación entre severidad de depresión con las variables de: agrado por la carrera, materias de formación básicas, materias exigentes y materias repetidas como se muestra en las tablas: Tabla V, Tabla VI, Tabla VII y Tabla VIII. Estos datos no cuentan con una diferencia significativa en cuanto a la severidad de depresión.

Tabla V. Agrado por la carrera por severidad de depresión

Severidad de Depresión	Gusto por la carrera	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	De acuerdo	23
	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	10
	Totalmente de acuerdo	33
	Totalmente en desacuerdo	2
1. Depresión ligera	De acuerdo	17
	En desacuerdo	2
	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	13
	Totalmente de acuerdo	19
2. Depresión moderada	Totalmente en desacuerdo	2
	De acuerdo	30
	En desacuerdo	1
	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	26
3. Depresión severa	Totalmente de acuerdo	20
	Totalmente en desacuerdo	4
	De acuerdo	33
	En desacuerdo	7
	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	43
	Totalmente de acuerdo	12

Tabla VI. Materias básicas por severidad de depresión.

Severidad de Depresión	Materias básicas	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	No	31
	Sí pero no son la mayoría de las materias que tomo	16
	Sí y son la mayoría de las materias que tomo	21
1. Depresión ligera	No	28
	Sí pero no son la mayoría de las materias que tomo	13
	Sí y son la mayoría de las materias que tomo	12
2. Depresión moderada	No	47
	Sí pero no son la mayoría de las materias que tomo	10
	Sí y son la mayoría de las materias que tomo	24
3. Depresión severa	No	47
	Sí pero no son la mayoría de las materias que tomo	20
	Sí y son la mayoría de las materias que tomo	33

Tabla VII. Materias exigentes por severidad de depresión

Severidad de Depresión	Materias exigentes	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	Dos	25
	Más de tres	4
	Ninguna	7
1. Depresión ligera	Tres	10
	Una	22
	Más de tres	7
2. Depresión moderada	Ninguna	4
	Tres	13
	Una	16
3. Depresión severa	Más de tres	35
	Dos	6
	Una	16
3. Depresión severa	Más de tres	12
	Ninguna	2
	Tres	33
3. Depresión severa	Una	17

Tabla VIII. Materias repetidas por severidad de depresión

Severidad de Depresión	Repetir materia	No. Estudiantes
0. Depresión mínima	No, ninguna	49
	Sí y me preocupa mucho	8
	Sí y me preocupa un poco	4
1. Depresión ligera	Sí, pero no me preocupa	7
	No, ninguna	38
	Sí y me preocupa mucho	8
2. Depresión moderada	Sí y me preocupa un poco	3
	Sí, pero no me preocupa	4
	No, ninguna	58
3. Depresión severa	Sí y me preocupa mucho	16
	Sí y me preocupa un poco	6
	Sí, pero no me preocupa	1
3. Depresión severa	No, ninguna	56
	Sí y me preocupa mucho	29
	Sí y me preocupa un poco	11
3. Depresión severa	Sí, pero no me preocupa	4

Por el lado del análisis de la carga horaria, se separó en grupos: aquellos estudiantes que trabajan con un total de 88 estudiantes y los que no trabajan con un total de 214 estudiantes.

En el caso de las horas de clases semanales, se observa que existen pocas variaciones respecto a la distribución de porcentajes de severidad de depresión tanto de estudiantes que trabajan como aquellos que no trabajan como se observa en la Fig. 5.

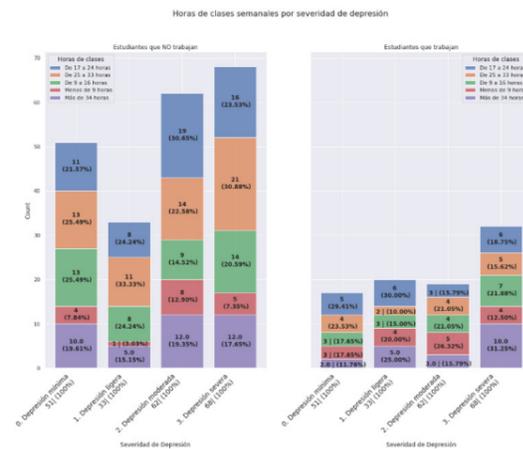


Fig. 5. Horas de clases semanales por severidad de depresión

En cuanto a las horas de estudio, se puede notar que la mayoría de los estudiantes tiende a estudiar entre 11 a 20 horas semanales independientemente de su severidad de depresión o si se encuentran trabajando, ver Fig. 6.

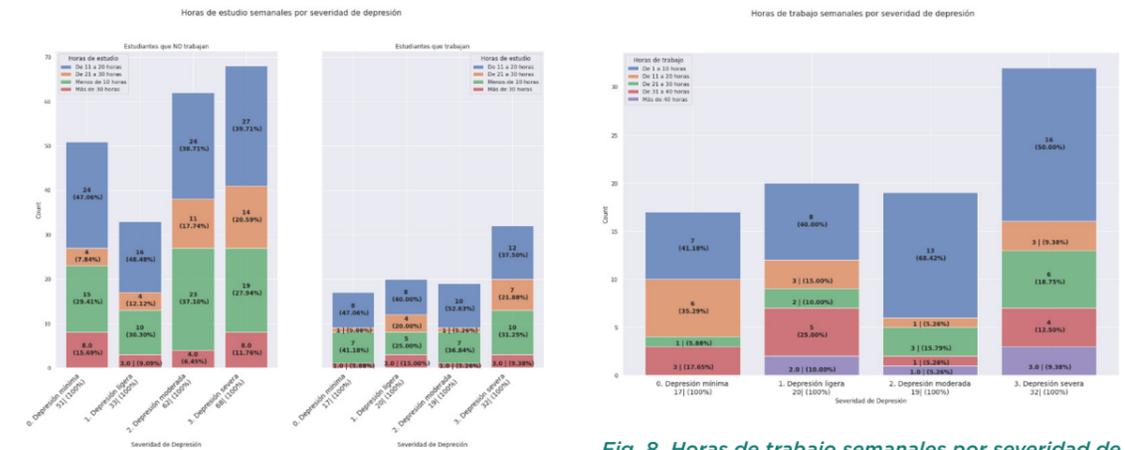


Fig. 6. Horas de estudio semanales por severidad de depresión

En cuanto a las horas de descanso semanal, se puede notar que más del 50% de los estudiantes afirman tener menos de 4 horas para actividades de ocio en la semana. Como se muestra en la Fig. 7.

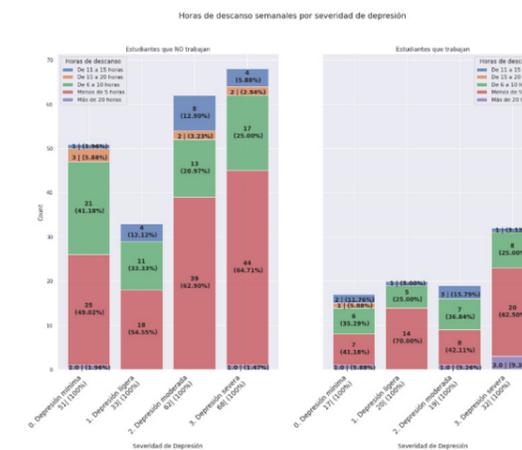


Fig. 7. Horas de descanso semanales por severidad de depresión

En el caso de la dedicación a las horas de trabajo, se contó únicamente a aquellos estudiantes que trabajan, donde se ve que la mayoría tiene un trabajo que ocupa de 1 a 10 horas de su tiempo a la semana, ver Fig. 8.

El consumo de alcohol habitual y muy frecuente tiene el mayor porcentaje en el nivel de depresión severa, es más, esta categoría es la que mayor proporción de consumo frecuente tiene. Por otro lado, el nunca consumir, en conjunto con el consumir poco, abarca en gran medida al grupo de depresión mínima cómo se observa en la Fig. 10.

Fig. 8. Horas de trabajo semanales por severidad de depresión

Por último, el consumo de sustancias psicoactivas no parece existir un porcentaje relevante entre las frecuencias de consumo y la severidad de depresión salvo el hecho que existe un 3% del grupo de estudiantes con depresión severa quienes consumirían sustancias psicoactivas de manera habitual, ver Fig. 11.

En cuanto a las variables de relación interpersonal, tienen una mayor diferencia en cuanto a los niveles de severidad de depresión las relaciones con compañeros de universidad, se evidencia que el porcentaje de relaciones indiferentes u hostiles al no llevarse bien con los compañeros es superior en los niveles de depresión moderada y severa, como se observa en la Fig. 12.

Lo mismo ocurre en caso de tener una relación sentimental donde el porcentaje de no sentirse bien es superior con un 6.17% respecto al número de estudiantes con depresión moderada y un 9% respecto a estudiantes con depresión severa, ver Fig. 13.

Por último, el porcentaje "no sentirse o llevarse bien con las personas quien se convive" tiene un marcado porcentaje de 21% respecto al número de estudiantes con depresión severa y 16.05% en estudiantes con depresión moderada. También la respuesta "Me es indiferente" tiene un 32% respecto al número de estudiantes con depresión severa. Estos porcentajes son superiores en comparación con los niveles de depresión mínima y ligera como se ve en la Fig. 14. En este punto, se podría realizar una desagregación según las personas con las que vive, sin embargo, dado que la mayoría de la población (85.1%) vive con sus padres, esto no aportaría al análisis.

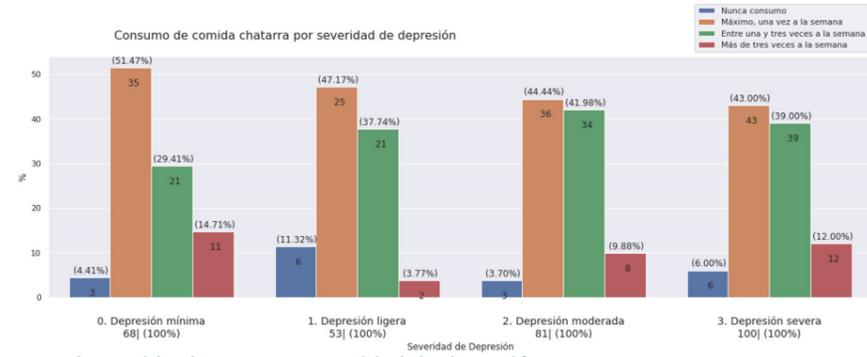


Fig. 9. Consumo de comida chatarra por severidad de depresión

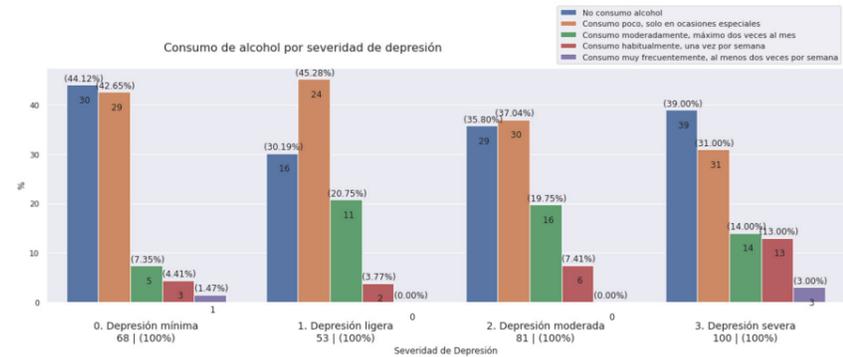


Fig. 10. Consumo de alcohol por severidad de depresión

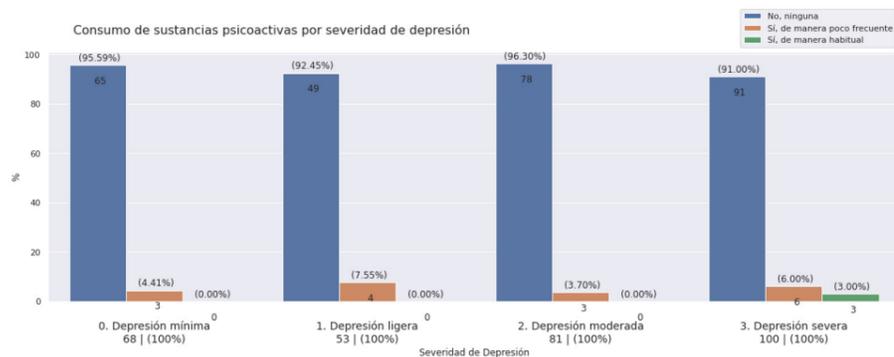


Fig. 11. Consumo de sustancias psicoactivas por severidad de depresión

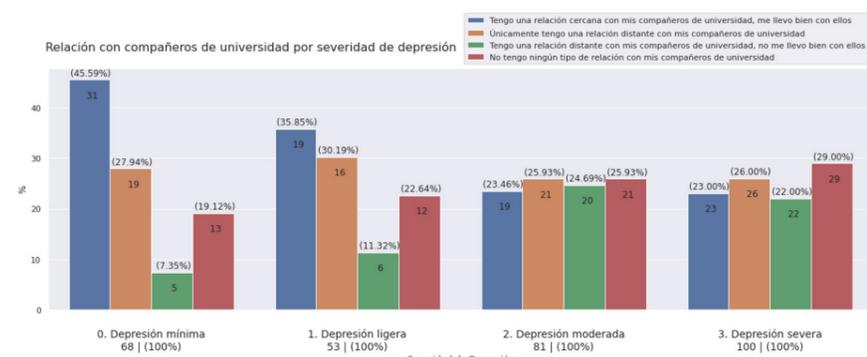


Fig. 12. Relación con compañeros de universidad por severidad de depresión

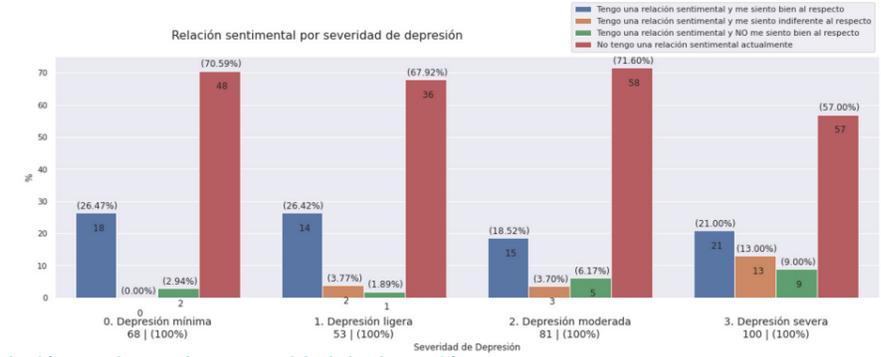


Fig. 13. Relación sentimental por severidad de depresión

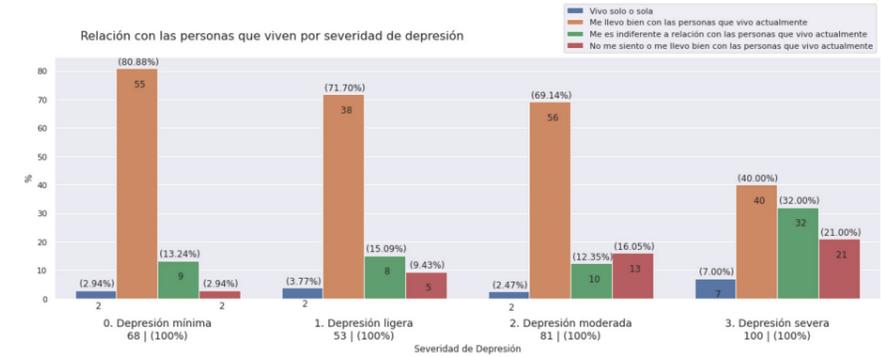


Fig. 14. Relación con las personas que viven por severidad de depresión

El resumen de la distribución de los datos se muestra la Fig. 15, en donde se muestra el número de estudiantes por la puntuación obtenida en el BDI-II agrupados por los niveles de severidad de depresión. En esta figura, se destaca el número de personas con depresión severa como la más numerosa.

donde se muestra que existe un mayor número de Hombres que Mujeres en la muestra, además de que el número de Otros tiene solo 3 personas. En cuanto a la edad se ve que la muestra cuenta mayormente por los estudiantes de entre 20 a 23 seguido por los estudiantes de entre 16 a 19 años. Estos dos grupos muestran un mayor número de estudiantes con depresión moderada y severa tanto en hombres, mujeres y otros.

Por último, en la Fig. 16 se muestra como están distribuidos por edad y género el número de estudiantes por severidad de depresión

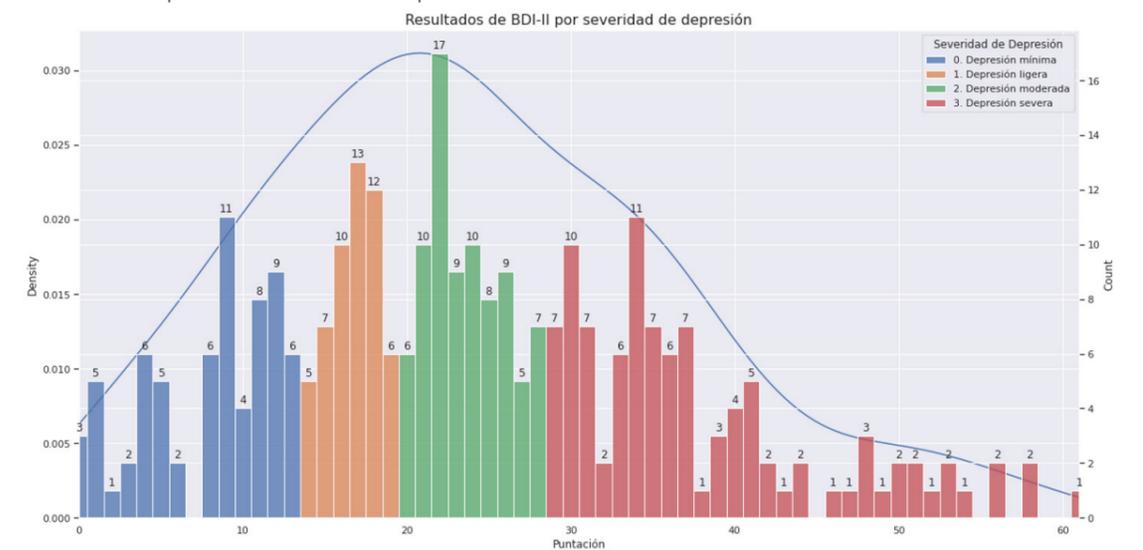


Fig. 15. Resultados de BDI-II por severidad de depresión

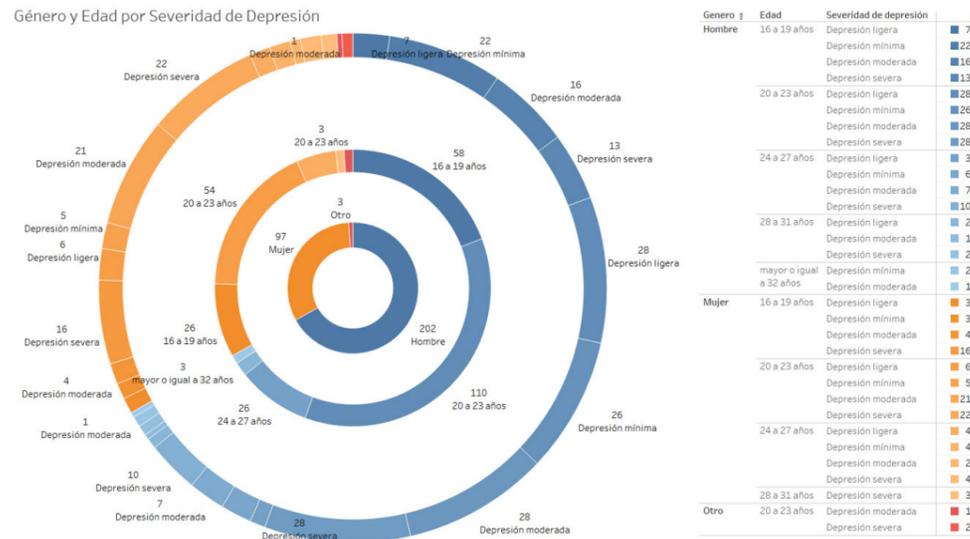


Fig. 16. Análisis de segregación por género, edad y severidad de depresión

Luego de este análisis de variables, se corroboró estas hipótesis y planeamientos con la construcción, entrenamiento y evaluación de los modelos de ML.

En cuanto a los resultados de rendimiento y evaluación, la función LazyClassifier de LazyPredict mostró los 3 mejores algoritmos puntuados para cada tipo de dato preprocesado que se realizó, donde se destacó los datos normalizados L1 con las métricas de rendimiento respectivas.

Los resultados se obtuvieron de haber entrenado a LazyClassifier con las 19 variables del conjunto de datos normalizados L1, destacando el modelo de DecisionTreeClassifier con un Balanced Accuracy de 0.59 y un F1-Score de 0.58. Seguido por el modelo de BernoulliNB con 0.42 de Balanced Accuracy y 0.41 de F1-Score. Finalmente, el modelo BaggingClassifier con 0.39 de Balanced Accuracy y 0.39 de F1-Score como se observa en la Fig. 17.

Model	Accuracy	Balanced Accuracy	ROC AUC	F1 Score
DecisionTreeClassifier	0.57	0.59	None	0.58
BernoulliNB	0.43	0.42	None	0.41
BaggingClassifier	0.41	0.39	None	0.39

Fig. 17. Modelos seleccionados de ML por LazyPredict para datos normalizados L1

Los resultados de la matriz de confusión para estos modelos se muestran en las Fig. 18, 19 y 20, donde se observa la eficacia de los clasificadores en función del Accuracy puntuado.



Fig. 18. Matriz de confusión de DecisionTreeClassifier

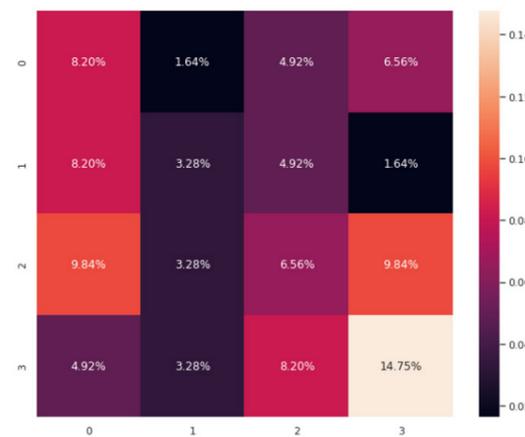


Fig. 19. Matriz de confusión de BernoulliNB



Fig. 20. Matriz de confusión de BaggingClassifier

Por la parte del análisis de las variables para determinar su relevancia, se desarrolló una permutación de entre 2 a 15 variables que podrían incidir en la depresión destacando que las preguntas q23 y q24, relacionadas con el género y edad respectivamente, están presentes como factores a incidir en estudiantes universitarios, como se observa en la Fig. 21.

Por otro lado, las preguntas q38, q39, q40, asociadas con relaciones interpersonales, las cuales fueron analizadas como se vio en las Fig. 12, 13 y 14, tienen una mayor incidencia en determinar la severidad de depresión de un estudiante y se llegó a una exactitud balanceada de hasta 0.53 usando un modelo BaggingClassifier.

Mientras que las variables de q30, q31, q32 y q33, relacionadas con la carga horaria, cuya exactitud balanceada muestra valores entre 0.31 y 0.32 con distintos modelos de aprendizaje automático. Esto sustenta el análisis planteado en las Fig. 5, 6, 7 y 8. El detalle de los modelos, el Balanced Accuracy y las variables se muestran en la Fig. 21

```
[148] 1 df_models_var_analst.drop_duplicates(inplace=True)
      2 df_models_var_analst.sort_values(by='Balanced Accuracy', ascending=False).head()

Model Balanced Accuracy Variables
54 BaggingClassifier 0.53 [q38, q23, q40, q24, q38]
171 LGBMClassifier 0.48 [q38, q23, q25, q40, q24, q38]
358 BaggingClassifier 0.48 [q26, q39, q22, q27, q25, q40, q2-
87 NearestCentroid 0.47 [q24, q40, q39, q38]
95 NearestCentroid 0.47 [q39, q25, q36, q40, q37, q38, q35]

1 df_models_var_analst.sort_values(by='Balanced Accuracy', ascending=False).tail()

Model Balanced Accuracy Variables
13 Perceptron 0.32 [q25, q24]
65 NearestCentroid 0.32 [q33, q23, q36, q30, q31, q37, q3-
31 PassiveAggressiveClassifier 0.32 [q33, q23, q22, q30, q31, q32]
129 BernoulliNB 0.31 [q33, q22, q25, q30, q31, q24, q32]
4 PassiveAggressiveClassifier 0.31 [q33, q22, q30, q31, q32]
```

Fig. 21. Resultado de variables que inciden en la depresión

## VI. CONCLUSIONES

- La recolección de datos se la realizó durante las últimas 2 semanas del semestre académico 2022A de la EPN, esto pudo repercutir en el resultado de los estados de estrés, ansiedad y depresión de muchos de los voluntarios, de los cuales, aproximadamente un tercio mostró depresión severa.

- Los datos género y edad representaron variables significadas en determinar la severidad de depresión de acuerdo con el análisis estadístico y los resultados del Accuracy de los modelos de ML que tenían estas variables.

- A parte del género y la edad, las variables que inciden en mayor medida fueron aquellas de relaciones interpersonales (q38, q39 y q40), seguido por las variables de consumo (q35, q36 y q37).

- Las variables poco significativas resultaron ser las variables académicas (q26, q27, q28 y q29) y especialmente las variables de carga horaria (q30, q31, q32 y q33) ya que no representaron una diferencia sustancial en los porcentajes de severidad de depresión por número de estudiantes. Lo cual se pudo constatar al aplicar el entrenamiento de los modelos de ML con el conjunto de las variables permutadas, donde muestra que aquellos modelos con Balanced Accuracy más bajo fueron entrenados con estas variables.

- El mejor modelo fue el de Decisión Tree Classifier con un Accuracy de 0.59, sin embargo, para considerar desplegar un modelo óptimo de ML se debería tener un Accuracy más cercano a 1.0

## VII. RECOMENDACIONES

- En caso de realizar un análisis a una población universitaria, relacionado con situaciones de estrés, se debe ejecutar la recolección de información de los participantes en periodos del semestre en los cuales no se tenga carga excesiva de trabajo en el ámbito académico, como lo son la cercanía a exámenes parciales o finales ya que pueden alterar la percepción del estudiante sobre su situación psicológica.

- Se debe seleccionar las variables más significativas en cuanto a la construcción

de cualquier modelo que se busque desarrollar. Esta selección a su vez dependerá de la cantidad de datos que se haya recolectado y servirá para entrenar el modelo, obteniendo mejores resultados en sus métricas de rendimiento.

- Se debe determinar las variables a evaluar, para posteriormente realizar el análisis exploratorio y estadístico de los datos, en función de los objetivos planteados en la fase de análisis de la situación o entendimiento del negocio, para evitar iteraciones innecesarias en el ciclo de vida del proyecto.
- Se deberá considerar el recopilar una cantidad de registros (filas) significativa para el entrenamiento de los modelos de ML. Aproximadamente, 100 veces el número de variables (columnas) del conjunto de datos. Por ejemplo, el conjunto de datos de este proyecto contó con 19 variables y la cantidad de 1900 registros sería la óptima.
- Considerar la evaluación conjunta de otros cuestionarios estandarizados para la estimación de severidad de trastorno de depresión.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, la Facultad de Ingeniería en Sistemas, su subdecana Monserrate Intriago y al PhD. Denys Flores por su ayuda al distribuir el *Cuestionario de variables de índice de depresión*, vital para la recolección de datos y sus posteriores fases. Al equipo de Ciencia de Datos del Club de Software de la Facultad de Ingeniería en Sistemas de la EPN con quienes realizamos las fases de análisis de la situación y entendimiento del negocio. A la Asociación de Estudiantes de Ingeniería en Sistemas (AEIS) y la Federación de Estudiantes de la Politécnica Nacional (FEPON) en compartir el cuestionario. Y por último, a todos los estudiantes quienes participaron, de manera anónima, respondiendo el cuestionario.

## REFERENCIAS

- [1] P. Retamal, *Depresión - Guías para el paciente y la familia*, Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1999.

- [2] World Health Organization (WHO), «COVID-19 pandemic triggers 25% increase in prevalence of anxiety and depression worldwide,» World Health Organization (WHO), 02 03 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news/item/02-03-2022-covid-19-pandemic-triggers-25-increase-in-prevalence-of-anxiety-and-depression-worldwide>. [Último acceso: 19 09 2022].
- [3] World Health Organization (WHO), «Depression,» World Health Organization (WHO), 2022. [En línea]. Available: [https://www.who.int/health-topics/depression#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/depression#tab=tab_1). [Último acceso: 19 09 2022].
- [4] D. Agudelo, C. Claudia y S. Diana, «CARACTERÍSTICAS DE ANSIEDAD Y DEPRESIÓN EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS,» *International Journal of Psychological Research*, vol. 1, n° 1, pp. 34-39, 2008.
- [5] A. M. Juan, B. Nora, C. A. Paola y M. R. Fray, *Prevalencia de Depresión y Factores Asociados en Estudiantes Universitarios de la Ciudad de Cuenca-Ecuador*, Cuenca: Universidad de la Ciudad de Cuenca-Ecuador, 2015.
- [6] L. Alomoto y G. Cañarejo, *ASOCIACIÓN ENTRE EL APOYO SOCIAL Y SÍNTOMAS DE ANSIEDAD Y DEPRESIÓN EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE PRIMER NIVEL DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, SEDES QUITO, IBARRA, SANTO DOMINGO Y PORTOVIEJO DURANTE EL AÑO 2018.*, Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 2018.
- [7] I. Gaibor y R. Moreta, «Optimismo disposicional, ansiedad, depresión y estrés en una muestra del Ecuador. Análisis inter-género y de predicción,» *Actualidades en Psicología*, vol. 34, n° 129, pp. 17-31, 2018.
- [8] R. Moreta, J. Zambrano, H. Sánchez y S. Naranjo, «Salud mental en universitarios del Ecuador: síntomas relevantes, diferencias por género y prevalencia de casos,» *Pensamiento Psicológico*, vol. 19, n° 1, pp. 1-26, 2021.

- [9] S. d. R. Puchaicela, J. Lozam, I. Fiallo, A. Benítez y A. Amaya, «Evaluación de estrés, ansiedad y depresión en Ecuador durante la pandemia de COVID-19,» *La Ciencia al Servicio de la Salud y la Nutrición*, vol. 13, n° 1, pp. 13-25, 2022.
- [10] R. Chiong, G. SatiaBudhi, S. Dhakal y F. Chiong, «A textual-based featuring approach for depression detection using machine learning classifiers and social media texts,» *Computers in Biology and Medicine*, vol. 135, 2021.
- [11] L. Danxia, F. Xing Lin, A. Farooq, S. Muhammad y G. Jing, «Detecting and Measuring Depression on Social Media Using a Machine Learning Approach: Systematic Review,» *JMIR Ment Health*, vol. 9, n° 3, 2022.
- [12] R. Razavi, A. Gharipour y M. Gharipour, «Depression screening using mobile phone usage metadata: a machine learning approach,» *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 24, n° 4, pp. 522-530, 2020.
- [13] X. Xu, P. Chikersal, A. Doryab, D. K. Villalba, J. M. Dutcher, M. J. Tumminia, T. Althoff, S. Cohen, K. G. Creswell, J. D. Creswell, J. Mankoff y A. K. Dey, «Leveraging Routine Behavior and Contextually-Filtered Features for Depression Detection among College Students,» *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, vol. 3, n° 3, pp. 1-33, 2019.
- [14] M. Zhao y Z. Feng, «Machine Learning Methods to Evaluate the Depression Status of Chinese Recruits: A Diagnostic Study,» *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, vol. 16, p. 2743 - 2752, 2020.
- [15] A. Beck, R. Steer y G. Brown, «BECK DEPRESSION INVENTORY-SECOND EDITION,» National Child, 2022. [En línea]. Available: <https://www.nctsn.org/measures/beck-depression-inventory-second-edition>. [Último acceso: 31 08 2022].
- [16] G. A. Mehmet Taha, «Beck Depression Inventory-II: A Study for Meta Analytical Reliability Generalization,» *Pegem Journal of Education and Instruction*, vol. 11, n° 3, pp. 88-101, 2021.
- [17] K. L. Smarr y A. Keefer, «Measures of Depression and Depressive Symptoms,» *Arthritis Care & Research*, vol. 63, n° 11, pp. 454-466, 2011.
- [18] IBM, «CRISP-DM Help Overview,» IBM, 17 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/docs/en/spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-overview>. [Último acceso: 19 09 2022].
- [19] S. Raschka, J. Patterson y C. Nolet, «Machine Learning in Python: Main Developments and Technology Trends in Data Science, Machine Learning, and Artificial Intelligence,» *information*, vol. 11, n° 4, pp. 1-44, 2020.
- [20] Google Colab, «Te damos la bienvenida a Colab,» Google Colab, 2022. [En línea]. Available: [https://colab.research.google.com/#scrollTo=5fCEDCU\\_qrCO](https://colab.research.google.com/#scrollTo=5fCEDCU_qrCO). [Último acceso: 19 09 2022].
- [21] Microsoft 365, «Microsoft Forms,» Microsoft 365, 2022. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/online-surveys-polls-quizzes>. [Último acceso: 19 09 2022].
- [22] R. Barrientos, N. Ramírez, H. Acosta, I. Suárez, M. Trejo, P. León y S. Blázquez, «Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico,» *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, vol. 9, n° 2, pp. 19-24, 2009.
- [23] H. Coronado, A. Han y L. García, *Detección Automática de Sitios Web Fraudulentos*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2020.
- [24] J. Domínguez, *Inteligencia artificial para la detección de fraude en transacciones realizadas con tarjetas de crédito*, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2021.
- [25] C. Chamat, *Modelo Predictivo de Deserción Estudiantil de Educación Preescolar, Básica y Media en el Municipio de Medellín*, Medellín: Universidad de Antioquia, 2021.
- [26] C. Sánchez, *Selection Heuristics on Semantic Genetic Programming for Classification Problems*, Aguascalientes: INFOTEC CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN, 2020.

- [27] F. Izco, «Base de datos corporativa de personas,» bookdown.org, 27 11 2018. [En línea]. Available: [https://bookdown.org/f\\_izco/BDC-POC/metricas.html](https://bookdown.org/f_izco/BDC-POC/metricas.html). [Último acceso: 20 09 2022].
- [28] N. HOTZ, «What is CRISP DM?,» Data Science Process Alliance, 08 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.datascience-pm.com/crisp-dm-2/>. [Último acceso: 31 08 2022].

# AUTHORS



## Sergio Jiménez

Estudiante de noveno semestre de la carrera de Ingeniería de Ciencias de la Computación en la Escuela Politécnica Nacional en Quito-Ecuador Científico de Datos Junior desarrollador de proyectos de Inteligencia Artificial y Machine Learning. Participó en el Datajam 2022 organizado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Fundación Datalat y el HUB UIO. Participó en el Marine Datathon 2022, la competición de inteligencia artificial organizada por la IAT Marino Marítima sobre el sector marino de Gran Canaria. Áreas de Interés: Data Science, Data Engineering, Artificial Intelligence, Machine Learning, DeepLearning, Big Data, AIOps, MLOps, DevOps, Quantum Computing y Quantum Machine Learning.



## Andrés Merino

Profesor titular a tiempo completo de la Escuela de Ciencias Físicas y Matemática de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, graduado de Matemático en la Escuela Politécnica Nacional y de Magister en Matemáticas Puras y Aplicadas en la Universidad Central del Ecuador. Sus campos de investigación son: Teoría Descriptiva de Conjunto, Fundamentos de la Matemática, Ciencia de datos y Educación Matemática. <https://orcid.org/0000-0002-5404-918X>

# Desarrollo de middleware para interconexión de una aplicación móvil con un sistema heredado

## *Middleware development for interconnecting a mobile app with a legacy system*

### ARTICLE HISTORY

Received 30 September 2022

Accepted 26 October 2022

#### **Carlos A. Aguirre**

Departamento de Informática y Ciencias de la Computación  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
caguirremal11@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-3535-8451

#### **Carlos E. Anchundia**

Departamento de Informática y Ciencias de la Computación  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
carlos.anchundia@epn.edu.ec  
ORCID: 0000-0003-4790-355X

## Desarrollo de middleware para interconexión de una aplicación móvil con un sistema heredado

### Middleware development for interconnecting a mobile app with a legacy system

**Carlos A. Aguirre**

Departamento de Informática y  
Ciencias de la Computación  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
caguirremal11@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-3535-8451

**Carlos E. Anchundia**

Departamento de Informática y  
Ciencias de la Computación  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
carlos.anchundia@epn.edu.ec  
ORCID:0000-0003-4790-355X

**Resumen**— El proceso de modernizar un sistema heredado puede llegar a ser complejo debido a limitaciones presentadas frente a las nuevas tendencias y tecnologías. La arquitectura de un sistema, su código fuente, la gestión de datos y la aplicación de malas prácticas son aspectos que los ingenieros deben considerar al implementar actualizaciones sobre estos sistemas. Sistemas como el Control Gerencial/Web (CG/Web) de la empresa ecuatoriana Información Tecnológica del Ecuador S.A. (I.T. del Ecuador) ejemplifican estos retos. Se propuso el desarrollo de la aplicación móvil CGApp como solución a las necesidades de movilidad de los usuarios gerenciales. Sin embargo, su desarrollo fue condicionado por la arquitectura monolítica del sistema heredado, siendo necesario el desarrollo e implementación de un middleware como medio para la interacción entre el componente móvil y los elementos del sistema CG/Web. Por esto, fue necesario aplicar un proceso de reingeniería con base en el sistema heredado, desarrollar métodos para la traducción de datos, aplicar controles de seguridad y rediseñar las pantallas para adaptarlas a un entorno móvil. De esta forma se consiguió integrar la aplicación móvil con el sistema heredado, agregando valor al proyecto.

**Palabras clave**— sistemas heredados, middleware, aplicación móvil, seguridad de datos, reingeniería, pruebas automatizadas

**Abstract**— The modernization of legacy systems is a complex process due to the limitations that they can present when facing of new trends and technologies. Systems such as the “Control Gerencial/Web” (CG/Web) software of the Ecuadorian company “Información Tecnológica del Ecuador S.A.” (“I.T. del Ecuador”) exemplify these challenges.

The system architecture, source code, data management and possible bad practices prac-

tices applied are some aspects that engineers must consider when implementing updates of these systems. We develop the CGApp mobile application as a solution to the mobility needs of managerial users of the CG/Web system. However, the development was conditioned by the monolithic architecture of the legacy system, requiring the design and implementation of a middleware as a means of interaction between the mobile component and the elements of the CG/Web. Therefore, we need to perform a legacy system reengineering process, developing methods for data translation, applying security controls and redesigning screens to adapt them to a mobile environment. As a result, it was possible to integrate the mobile application with the legacy system, adding value to the project.

**Keywords**— legacy systems, middleware, mobile app, Data security, reengineering, automated tests

## I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías y tendencias emergentes constantemente ponen a prueba la capacidad de mejora de servicios ofertados por las empresas. Esta situación es aprovechada por aquellas entidades con visión innovadora y que, como resultado, buscan una ventaja competitiva que las destaque de sus competidores. Esta tarea se torna compleja cuando las adaptaciones o mejoras involucran la adaptación de nuevas tecnologías o arquitecturas a sistemas heredados [1]. Durante este tipo de adaptación, es mandatorio analizar la arquitectura, funcionalidad y proceso de mantenimiento de los sistemas para determinar las estrategias y riesgos de una modernización [2]. Esta modernización de sistemas heredados puede incluir actividades como migración de infraestructura, integración con nuevas plataformas, refactorización de código e implementación de interconexiones a otros

sistemas que complementen funcionalidades y necesidades especializadas.

Un caso real del contexto antes descrito se evidencia en la empresa ecuatoriana Información Tecnológica del Ecuador S.A. (I.T. del Ecuador), lo cual enfoca al desarrollo y distribución de software y hardware [3]. Esta empresa cuenta con un producto ERP denominado Control Gerencial/Web (CG/Web); destinado al control de procesos operativos y administrativos de empresas públicas y privadas a nivel nacional [4]. CG/Web se oferta como un producto instalable para que, por motivos de seguridad, su acceso se encuentre circunscrito exclusivamente dentro de las intranets de cada cliente. Sin embargo, la empresa tiene la necesidad de incorporar nuevas tecnologías a este sistema.

La arquitectura de CG/Web fue diseñada para el uso de usuarios operativos que no requerían movilidad laboral. Sin embargo, las exigencias para usuarios de nivel gerencial, que forman parte de los procesos, requieren otro tipo de operatividad que el sistema no puede proveer adecuadamente.

Como resultado, la limitación de esta arquitectura genera los siguientes inconvenientes: (i) restringe el ingreso al sistema desde el interior de las oficinas e impacta a la ejecución oportuna de las tareas de los clientes de alto nivel; (ii) obliga al departamento de TICs, la implementación de redes VPN u otras estrategias cuya seguridad no puede ser garantizada o controlada por el sistema; (iii) genera multas y recargos administrativos derivados del incumplimiento de actividades [5]; y (iv) el abandono de los clientes que optan por sistemas más dinámicos y orientados a la movilidad ofertados por la competencia. La empresa I.T. del Ecuador tiene la urgencia de proveer una solución que pueda competir en un mercado cada vez más agresivo, incursionando tanto en estructuras tecnológicas modernas y en enfoques orientados al valor y experiencia de sus usuarios. Los requerimientos básicos que la nueva solución debe incorporar son:

- Incrementar la operatividad de los usuarios gerenciales en relación con las actividades de aprobación a través del uso de dispositivos móviles.
- Facilitar el proceso de aprobación tomando en cuenta el uso de pantallas pequeñas y el manejo orientado al uso de aplicaciones táctiles
- Garantizar la seguridad y disponibilidad de los datos sensibles del cliente sin requerir

la intervención de sus departamentos de tecnologías

- Interoperar la nueva solución con el sistema heredado que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Para el desarrollo de la solución se siguió el ciclo de vida de desarrollo de software bajo una perspectiva ágil, enfocando el análisis hacia la actualización de arquitectura y actividades de reingeniería. El proceso se describe en las secciones posteriores de la siguiente forma. En la Sección II, se describe el desarrollo de la aplicación móvil, el proceso de análisis de requisitos que involucra la especificación por ejemplos y automatización de pruebas basada en los ejemplos, cuestiones de diseño de interfaz de usuario de la aplicación y en análisis y actualización de la arquitectura del sistema heredado. En la Sección III, se detallan los resultados tanto de la arquitectura, factores de seguridad que fueron considerados y los elementos de usabilidad relevantes para crear una aplicación sencilla y no propensa a errores de uso. En la Sección IV, se presenta una discusión sobre las actividades de actualización de las arquitecturas como punto clave para la mejora de la competitividad. Finalmente, en la Sección V se presentan las conclusiones sobre los requerimientos de esta solución.

## II. METODOLOGÍA

Para la construcción de la solución, se consideraron cuatro aspectos de calidad relevantes para asegurar el máximo valor del producto: (a) el desarrollo de la aplicación móvil; (b) la seguridad en el flujo de datos; (c) la mejora de la usabilidad del sistema; y (d) el middleware de interconexión con el sistema heredado. A continuación, se detallan los procesos metodológicos que se consideraron en cada aspecto.

### A. DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL

Para el desarrollo de la aplicación móvil, se optó por el empleo de un proceso ágil (desarrollo guiado por el comportamiento - BDD [11]) con la finalidad de ayudar al entendimiento de la problemática y descubrimiento de alternativas de solución. El entorno de trabajo fue condicionado por el sistema heredado, siendo mandatorio el uso del lenguaje C# para permitir mantener la misma tecnología en el sistema heredado y en la aplicación móvil. Finalmente, se prefirió incorporar pruebas automatizadas con criterios de aceptación y pruebas de unidad.

En el apartado metodológico de desarrollo se empleó un proceso denominado MOBILE-D [6]. Esta metodología se enfoca en el análisis de desarrollos orientados a aplicaciones móviles para grupos de trabajo pequeños. Su estructura por fases permitió dirigir el desarrollo de funcionalidades basado en pruebas dentro de ciclos iterativos. MOBILE-D hace hincapié en la validación del producto con la incorporación de una fase de integración, lo cual posibilita la identificación de potenciales problemas antes del despliegue final.

Durante el proceso de análisis de requerimientos y diseño se aplicó la práctica de especificación por ejemplos (SBE) [7]. Como resultado, se especificaron 14 historias de usuario [8] orientadas a los tipos usuarios de nivel gerencial. Esta práctica ayudó en a las actividades de verificación de software a través de la ejemplificación y discusión de escenarios reales. En promedio se manejaron tres escenarios y por cada uno de ellos, se manejaron entre dos y diez ejemplos para asegurar la mayor cobertura de casos de ejecución. Acompañando a la gestión de las historias, se utilizó la plataforma Jira [9] para el seguimiento del desarrollo de las historias de usuario.

La automatización de pruebas es fundamental dentro de los procesos ágiles. Al utilizar SBE fue posible emplear prácticas como Desarrollo Guiado por Ejemplos (EDD) [10]; sin embargo, al no contar con un marco de trabajo en el entorno de desarrollo se optó por emular el proceso con métodos disponibles con la implementación UnitTesting como ClassInitialize, TestCleanup [12] y el uso de archivos CSV como contenedor de los ejemplos a ejecutar. Con estos tres elementos, se logró implementar un proceso automatizado del control de calidad del producto final que seguía el proceso especificado en la Fig. 1.

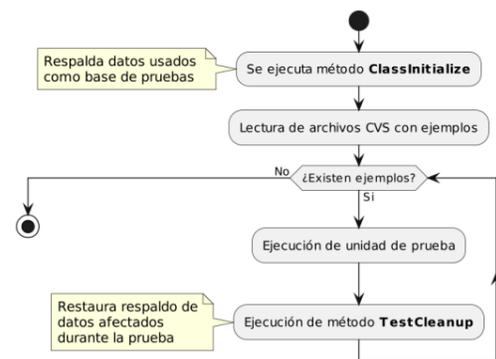


Fig. 1. Proceso de emulación de prueba automatizada en el entorno de desarrollo

**B. SEGURIDAD EN EL FLUJO DE DATOS**

La seguridad durante el flujo de datos es vital en las aplicaciones que utilizan la red pública como medio de transmisión. Como base para la implementación de controles de seguridad se utilizó el estándar de evaluación Mobile Application Security Verification Standard (MASVS) versión 1.3 [13], el cual considera un total de 8 grupos de requerimientos de seguridad. Este incorpora un check list que sirvió como guía durante el desarrollo del proyecto para la implementación de funciones de seguridad de la solución. No obstante, debido a las decisiones gerenciales en la realización del proyecto, se omitió el grupo de requerimientos de seguridad 8, llamado "Resistencia ante la ingeniería inversa".

**C. USABILIDAD**

El sistema heredado fue construido con la herramienta DevExpress versión 11.1.12 [14], cuyo diseño de interfaces se limita al despliegue de tablas estáticas. Esta estructura se ha mantenido en el sistema heredado desde el año 2012 pese a su actualización a la versión 19.2 del 2020 [15] (Fig. 2). Esto ha causado que el sistema no se alinee a buenas prácticas para diseños de interfaces que aconsejan un comportamiento dinámico e interactivo, con elementos limpios, navegabilidad vertical y alineada a "gestos" estandarizados en los entornos móviles.

Modalidad: Orden de Compra

Compañía	Nro. Solicitud	F. Solicitud	Solicitante
AGUA POTABLE	55	2020/05/22	CGWEB ADMINISTRADOR
AGUA POTABLE	58	2020/05/22	CGWEB ADMINISTRADOR
AGUA POTABLE	59	2020/05/22	CGWEB ADMINISTRADOR
AGUA POTABLE	124	2020/10/07	CGWEB ADMINISTRADOR
AGUA POTABLE	125	2020/10/08	CGWEB ADMINISTRADOR

Fig. 2. Ejemplo de pantalla sistema heredado

Consecuentemente, se estructuró el diseño de pantallas para que permita el dinamismo y la minimización de errores a través de la interacción de un solo botón. La aplicación móvil incorporó controles de la herramienta DevExpress Mobile UI XamarinForms [16]. Cada pantalla (Fig. 3) se compone de un control Layout que da el formato general de la aplicación, un ScrollView que permite desplazar la interfaz en dirección vertical y un Grid que sirve para contener y ubicar los controles de la

pantalla. Dependiendo de la función a realizar en la pantalla, se tiene dos controles generales. En pantallas que despliegan los datos de detalle de entidades del sistema, como por ejemplo solicitudes, se utilizó la propiedad Grid.Group para ordenar los datos en grupos. A su vez, en las pantallas que despliegan listas, como en los buzones de los usuarios, se utilizó los controles CollectionViews, para implementar el control SwipeContainer. Este control tiene la propiedad StartSwiplttem que permitió aplicar controles a las acciones de deslizamiento al acceder a los datos de detalle de las entidades del sistema.

**D. MIDDLEWARE CG/WEBAPP**

Con el fin de que la aplicación móvil se conecte con los componentes del sistema heredado fue necesario implementar un medio para la conversión entre las interfaces de datos del entorno web a las entidades del entorno móvil y viceversa. Este middleware integró la aplicación CGApp con el sistema CG/Web, por lo que fue nombrado CG/WebApp.



Fig. 3. Estructura de la pantalla de la aplicación móvil

Dado que la arquitectura cliente/servidor del sistema heredado no podía ser modificada, se realizó un análisis de esta para determinar los componentes que pudieran servir como puntos de comunicación para un middleware. Se determinó que el sistema cuenta con una estructura interna, relacionada con las funcionalidades de los usuarios gerenciales, está conformada por cinco capas, destacándose: Servicios y Lógica de Negocio del sistema web. Igualmente, se identificó que el sistema cuenta con reglas del negocio que, en lugar de implementarse en la capa de lógica, se encontraban embebidas directamente en la capa de Presentación (pantallas del sistema web). Este problema imposibilitó reutilizar estos métodos y controles. De igual forma la gestión de los datos dentro del sistema heredado se realiza por conjuntos de datos,

las cuáles son entidades incompatibles con el entorno móvil.

En cuanto a la estructura de la información, se encontró que la forma de gestión de los datos no era propicia para el uso de dispositivos móviles. El sistema legado maneja DataSets que se caracterizan por ser demasiado pesados para la transmisión, por lo que se requiere un proceso de conversión para reducir el tamaño de los datos. También se pudo identificar que algunos datos podrían limitar la información que se puede obtener de las consultas. Por ejemplo, el sistema manejaba fechas utilizando tipos de datos String, lo que impide acceder a prestaciones y formatos del tipo Date. Finalmente, se identificaron casos en los que los datos eran enviados con identificadores de nivel de base datos, y se debió realizar una conversión entendible para el usuario a nivel de las pantallas del sitio web.

La solución requirió realizar un proceso de reingeniería para reestructurar adecuadamente las responsabilidades del sistema y poder realizar una correcta reutilización de código y reglas de negocio. Como resultado, se distribuyó y refactorizó en código de la capa Presentación en las capa de negocio tanto de la aplicación como del middleware.

Para el manejo de datos se implementaron los siguientes métodos. Los constructores servían como traductores de la información transmitida de DataSet a objetos ligeros. Métodos de conversión que validan y usan estructuras de datos optimizadas. Por ejemplo, para utilizar las fechas String en datos tipo Date se validó el formato y se inicializó objetos en la clase respectiva. Métodos de mapeo de los datos de códigos con los catálogos obtenidos de los componentes heredados, consiguiendo transmitir la información de la descripción de estos datos, lo que posibilitó reducir la cantidad de entidades utilizadas en la aplicación móvil en comparación con sus equivalentes del sistema heredado. Por último, métodos de conversión de clases a DataSets, para transmitir la información de la aplicación móvil a los métodos heredados y que puedan afectar a la base con la actualización de datos.

**III. RESULTADOS**

**A. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN**

Una vez identificadas las partes relevantes que componen la solución, se obtuvo la arquitectura de la solución. Esta arquitectura se compone de los elementos heredados del sistema CG/Web, la aplicación móvil CGApp, el middleware

de interconexión entre ambos AppCG/Web y una aplicación de terceros para la gestión de notificaciones, como se aprecia en la Fig. 4.

En esta nueva arquitectura, los componentes del middleware interactúan con los elementos heredados del sistema web con el objetivo de acceder a los datos necesarios para las actividades de la aplicación móvil utilizando los conjuntos de datos personalizados del sistema CG/Web.

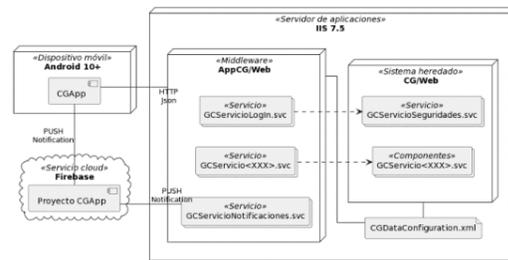


Fig. 4. Arquitectura de la solución: middleware y sistema heredado

La aplicación interactúa con esta sección de la solución, mediante clases, para acceder a los métodos mediante los servicios WCF. La implementación de terceros Firebase gestiona el envío de Notificaciones PUSH conectándose con el middleware y la aplicación CGApp. Estas toman un registro de la existencia de acciones pendientes del usuario, por ejemplo, solicitudes que no se han actualizado, y envía una notificación al servicio en la nube del proyecto Firebase. Este genera y envía un mensaje tipo PUSH al equipo móvil registrado por el usuario que ha iniciado sesión en la aplicación.

**B. SEGURIDAD**

A fin de verificar el nivel de seguridad con el que cuenta la solución, se la evaluó utilizando el check list proporcionado por el estándar MASVS [17]. Este documento ejemplifica los controles de seguridad que deben cumplirse para que la aplicación móvil apruebe el estándar. Para esto se evalúan los ocho grupos de requerimientos de seguridad, permitiendo identificar el porcentaje de cumplimiento con el que cuenta cada grupo. Como se indicó en la Sección II.B, en el presente proyecto se omitió el grupo 8, y se obtuvieron los porcentajes de cumplimiento que se muestran en la Fig. 5.

Con el propósito de cumplir estos requerimientos, se implementaron controles de seguridad en base a los que se estipulan en el estándar MASVS. Estos controles fueron adaptados a la realidad de CGApp y

se implementaron en la aplicación móvil, los servicios WCF y en el dominio utilizado para el acceso por la red. Sin embargo, debido a las limitaciones de compatibilidad con el estándar MASVS presentadas en el sistema CG/Web no fue posible aplicar la totalidad de controles de seguridad. Por esto motivo, algunos de los grupos de requerimientos de seguridad no pudieron ser cumplidos en su totalidad.

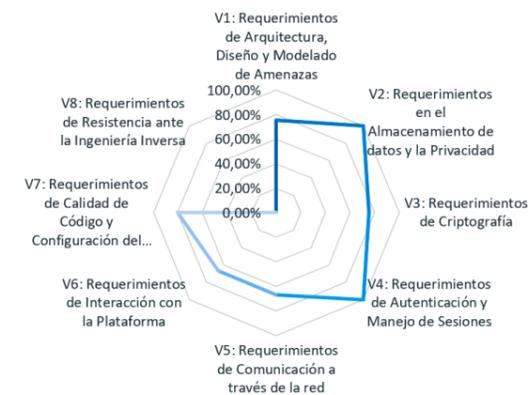


Fig. 5. Porcentajes de cumplimiento de grupos de requerimientos de seguridad

Como resultado de esta evaluación, se obtuvo una valoración de 4 sobre 5, lo que indica el cumplimiento del estándar de seguridad, y asegura que la solución si cuenta como una aplicación móvil segura (Fig. 6).

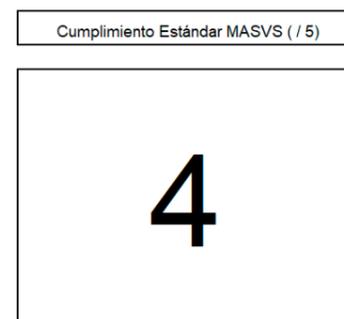


Fig. 6. Extracto de resultado de evaluación MASVS del check list en Excel

**C. PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD**

En el desarrollo de esta solución, se siguió de forma rigurosa la metodología Mobile-D y el conjunto de prácticas para un desarrollo guiado por el comportamiento. Con esto no solo se mantuvo un orden durante el desarrollo de la solución, sino que además se realizó un análisis de requisitos enfocados en el valor

del negocio y reducción de fallas de sistema. Como resultado se generaron diversos artefactos como historias de usuario, archivos de características y criterios de aceptación (features), ejemplos en formato Gherkin, y UnitTests.

Con base en estos artefactos se pudo determinar los resultados esperados para el diseño de un conjunto de pruebas unitarias automatizadas para verificar el cumplimiento de las funcionalidades esperadas en la aplicación, como se mencionó en la sección II.A. El gestor de pruebas de C# proporcionado por el IDE Visual Studio permite identificar el resultado obtenido de cada prueba en un proyecto ejecutado, como se evidencia en la Fig. 7. Para esta solución se especificaron 13 pruebas unitarias que fueron ejecutadas y superadas. De esta forma, se aseguró no solo el funcionamiento de CGApp sino también los casos recopilados con el dueño de la solución y que corresponden a las características de valor solicitadas requeridas por el cliente.

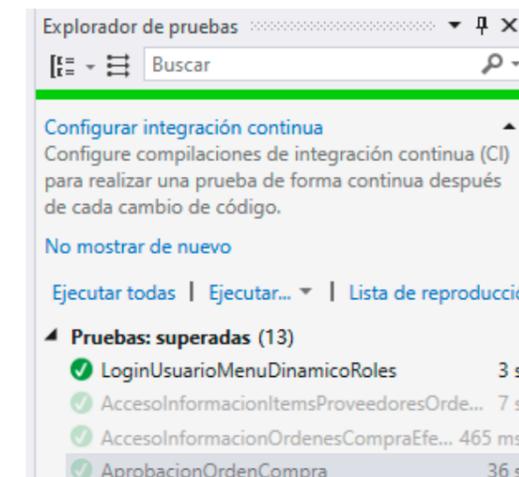


Fig. 7. Pruebas superadas identificadas en gestor de pruebas

**D. ENCUESTAS DE USABILIDAD DE APLICACIÓN MÓVIL**

Tras un análisis de la estructura de las pantallas del sistema heredado y discernir la información relevante para cada actividad realizada en CGApp, se obtuvo un diseño para las interfaces de usuario de la aplicación móvil basado en las reglas heurísticas de Nielsen [18]. Con el fin de asegurar que las mismas solventen las necesidades de los usuarios, se elaboró una encuesta en base a las adaptaciones aplicadas para la compatibilidad con el entorno móvil. Estas se aplicaron a cinco expertos de los módulos del sistema CG/Web incluidos en la

aplicación móvil, quienes han tenido mayor contacto con las actividades de los usuarios finales, por ende, consideramos como informantes calificados y relevantes para el desarrollo de las interfaces del proyecto. Se utilizó la herramienta Formularios Google para realizar la encuesta usando un medio digital y obtener la tabulación de los datos de forma eficiente, como se ve en la Fig. 8.

Estos resultados permitieron corregir el diseño preliminar y enfocarlo para adaptarse a las preferencias de los usuarios.

Escoja el diseño de su preferencia para la pantalla de aprobación de solicitudes de compra en la aplicación.

5 respuestas

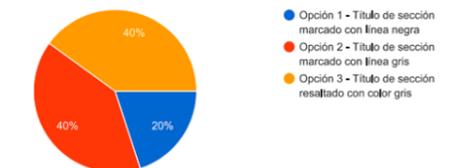


Fig. 8. Ejemplo de encuesta sobre diseño de CGApp

Esto se evidencia sobre todo en las pantallas de Buzón y Aprobación, de las cuáles se muestra un ejemplo en la Fig. 9. De esta forma se buscó facilitar la adaptación y el cumplimiento de las actividades a los usuarios.

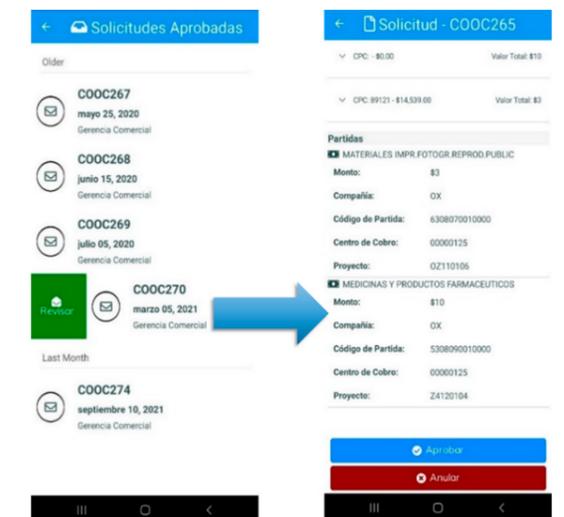


Fig. 9. Ejemplo de interfaz de Buzón y Aprobación

**IV. DISCUSIÓN**

Cuando se requiere que un sistema sea mejorado o actualizado en las fases de mantenimiento, la arquitectura define cuan complejo será el proceso. Una arquitectura monolítica puede no ser la más adecuada para la escalabilidad del software. En el caso

presentado, por ejemplo, la arquitectura del sistema debe ser desplegada en cada cliente y sus mantenimientos deben ser analizados y aplicados individualmente, generando problemas de integración entre distintas versiones y configuraciones locales únicas. En este escenario, pudo ser posible la integración con tecnologías enfocadas a la nube; pero, se condiciona el funcionamiento a una gestión de arquitectura local, y se elevan costos y tiempo. El análisis de la estructura existente permitió encontrar problemas de responsabilidad entre las distintas capas, diseño que imposibilitó la reutilización de funciones y afectó las etapas de codificación de reglas del negocio, que inicialmente se encontraban embebidas en las pantallas web. También se detectó un mal uso de tipos de datos que no permite sacar provecho de estructuras especializadas y dificultan la interconexión entre los sistemas. Esto evidenció una falta de organización en el proceso de diseño del sistema y la generación de caos durante la codificación y procesos de adaptación del sistema heredado. La reingeniería de la estructura del sistema heredado facilitaría futuras actualizaciones y aumentaría la reputación de este frente a los clientes al contar con capas desacopladas y cohesionadas.

En este proyecto, se aplicaron distintas prácticas para la verificación y validación de software; como lo son las pruebas automatizadas de la funcionalidad en base a las experiencias de usuario y la comprobación de los controles de seguridad mediante el checklist de MASVS. Desde las etapas tempranas de ciclo de vida del desarrollo, se emplearon ejemplos e historias de usuario para mejorar el entendimiento del sistema y propiciar una adecuada comunicación con el cliente. El resultado de este análisis permitió descubrir elementos importantes que facilitaron las actividades de diseño y codificación. La especificación de ejemplos ejecutables permitió asegurar la calidad y cumplimiento de los escenarios de prueba. Con esto se logró contar con evidencia técnica documental sobre el cumplimiento de los criterios de aceptación del sistema. Sin embargo, esto exhibió la falta de cultura en la aplicación de técnicas y herramientas de gestión del sistema heredado al no contar con algún registro histórico de documentación sobre las funcionalidades del sistema, su codificación ni su ejecución. Promover el uso de herramientas de gestión permitirá mantener un registro de las actividades relacionadas al desarrollo del sistema heredado y ahorrará recursos al facilitar las actualizaciones en el mismo.

Como parte de la aplicación del enfoque

ágil, se aplicaron pruebas automatizadas en el desarrollo del proyecto que permitieron verificar y garantizar el cumplimiento de las funcionalidades esperadas en la aplicación móvil. Su utilización resultó ser provechosa para el control ante los cambios realizados en el desarrollo del middleware y en actualizaciones de los componentes heredados. A modo de ejemplo, durante el tiempo de desarrollo se detectó un cambio en uno de los elementos del sistema heredado que afectaba directamente a la ejecución de métodos del middleware, lo que permitió aplicar los ajustes respectivos para solventar este cambio. Pese a esto, se evidenció que no se aplicaron este tipo de pruebas en el desarrollo del sistema heredado, pasando por alto algunas modificaciones en diversas secciones del sistema y afectó a sus dependencias. Esto puede causar que no se controlen errores en la ejecución de funcionalidades que podrían ser detectados a tiempo, lo cual repercute en las actividades de los usuarios finales y a la reputación del sistema ante el cliente. Promover la configuración y aplicación de estas pruebas puede evitar inconvenientes en actualizaciones futuras y agregando valor técnico al sistema heredado.

## V. CONCLUSIONES

El proceso aplicado en el proyecto permitió el desarrollo de una aplicación móvil segura que otorga un medio de acceso inmediato al sistema CG/Web. Esta aplicación posibilita a los usuarios gerenciales a cumplir sus operaciones dentro de los procesos empresariales mediante sus dispositivos móviles, de forma que su movilidad no interfiera con el normal desarrollo de las actividades del sistema. De esta forma, CGApp mejora el rendimiento del cumplimiento de las asignaciones de los usuarios al permitir acceso remoto al sistema. La reingeniería realizada a las interfaces de usuario del sistema heredado permitió compactar el proceso de aprobación del sistema web para adaptarlo al entorno móvil. Esto incluyó el rediseño de las interfaces para que sean accesibles en pantallas pequeñas de forma táctil, lo cual facilita el proceso de aprobación y revisión de información a los usuarios finales en sus dispositivos móviles.

El uso del estándar MASVS versión 1.3 para el desarrollo y evaluación de la seguridad en el proyecto permitió garantizar que los datos sensibles del cliente se mantengan seguros en su flujo dentro de la red pública. De esta forma, se pudo confirmar la disponibilidad de los datos en el entorno móvil sin necesitar la intervención de los departamentos de tecnologías del cliente. Por último, el desarrollo del middleware mediante el exhaustivo análisis

de la funcionalidad del sistema heredado permitió la interconexión de este con la aplicación móvil del proyecto. Gracias a esto, fue posible la interacción de los usuarios finales con los datos disponibles, permitiendo mantener la integridad entre las acciones realizadas por los usuarios en la aplicación y el estado de la información en el sistema web. De este modo, se pudo agregar un nuevo valor al sistema heredado ante el usuario y permitió que el sistema CG/Web pueda modernizarse a futuro para continuar siendo relevante en el mercado.

## REFERENCES

- T. Brehm, «What Is A Legacy System?», 9 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://entranceconsulting.com/what-is-legacy-system-and-legacy-software/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- V. Sawant, «A brief guide to legacy system modernization», Rackspace technology, 28 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.rackspace.com/blog/brief-guide-legacy-system-modernization>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- V. Alarcón, «Elaboración del plan estratégico para la empresa Información tecnológica del Ecuador S.A.», Mayo 2008. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu/bitstream/15000/1029/1/CD-1473%282008-05-26-02-20-54%29.pdf>.
- IT del Ecuador, «SOLUCIÓN», Aggity, 20 Agosto 2020. [En línea]. Available: <http://itdelecuador.com/>. [Último acceso: 12 Septiembre 2022].
- M. Muzo, «Levantamiento de procesos postergados en sistema CG/Web de ETAPA», Información Tecnológica del Ecuador, Quito, 2019.
- agile.vtt.fi, «Mobile-D patterns», virtual.vtt.fi, 9 Septiembre 2005. [En línea]. Available: [http://virtual.vtt.fi/virtual/agile/mobile-d\\_docs/](http://virtual.vtt.fi/virtual/agile/mobile-d_docs/). [Último acceso: 27 Noviembre 2020].
- C. McKenzie, «specification by example (SBE)», TechTarget, 10 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/Specification-by-example-SBE>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- M. Rehkopf, «Historias de usuario con ejemplos y plantilla», Atlassian, 20 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.atlassian.com/es/agile/project-management/user-stories>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].

- Atlassian, «Jira Software», Atlassian, 9 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.atlassian.com/es/software/jira>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- T. Girba, «An example of example-driven development», Feenk, 14 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://medium.com/feenk/an-example-of-example-driven-development-4dea0d995920>. [Último acceso: 21 Septiembre 2022].
- M. Myint, «Comparative Study of Test-Driven Development (TDD), Behavior-Driven Development (BDD) and Acceptance Test-Driven Development (ATDD)», International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), vol. 3, n° 4, pp. 231-234, 2019.
- G. Barré, «MSTest v2: Test lifecycle attributes», MEZIANTOU'S BLOG, 02 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.meziantou.net/mstest-v2-test-lifecycle-attributes.htm>. [Último acceso: 25 Agosto 2021].
- J. Willemsen, «OWASP owasp-mstg Releases», 11 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://github.com/OWASP/owasp-mstg/releases/tag/1.1.3-excel>. [Último acceso: 27 Agosto 2021].
- DevExpress, «Current Version/Build», DevExpress, 8 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.devexpress.com/support/versions.xml>. [Último acceso: 19 Septiembre 2022].
- DevExpress, «When Only the Best Will Do v19.2», DevExpress, 14 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.devexpress.com/subscriptions/new-2019-2.xml>. [Último acceso: 19 Septiembre 2022].
- DevExpress, «Free Xamarin.Forms UI Controls», DevExpress, 20 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://docs.devexpress.com/MobileControls/400545/xamarin-forms/index>. [Último acceso: 19 Septiembre 2022].
- C. Holguera, B. Müller, S. Schleier y J. Willemsen, «OWASP Mobile Security Testing Guide», OWASP, 13 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://owasp.org/www-project-mobile-security-testing-guide/>. [Último acceso: 27 Agosto 2021].
- E. Schroeter, «11 Usability Heuristics Every Designer Should Know», careerfoundry, 6 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/usability-heuristics/>. [Último acceso: 30 Octubre 2022].

# AUTHORS



## Carlos Aguirre

CARLOS A. AGUIRRE, graduado de ingeniero en Sistemas Informáticos y Computación en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador, en 2022. Actualmente se desempeña como técnico y consultor en la empresa nacional Información Tecnológica del Ecuador S.A. Su experiencia profesional abarca el desarrollo de software complementario para sistemas propietarios, elaboración de documentación técnica de sistema software como respaldo de aplicaciones y uso de usuarios finales, gestión de información y mantenimiento a bases de datos del sistema CG/Web, asistencia primaria en la implementación de módulos del sistema CG/Web. Por otro lado, se ha enfocado en la interacción con usuarios finales para consultoría técnica y operativa del módulo de nómina del sistema CG/Web, consultoría técnica de software y hardware para usuarios en general. Sus intereses de investigación se enfocan al desarrollo de software en base a sistemas legados, aplicación de herramientas de gestión de proyectos, refactorización y modernización de arquitectura y funcionalidad de sistemas legados.



## Carlos Anchundia

CARLOS E. ANCHUNDIA, graduado de ingeniero en sistemas e informática y con máster en gerencia de sistemas de la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE), Sangolquí, Ecuador, en 2007 y 2009, respectivamente, y con grados de maestría en administración de empresas y tecnologías de la información de La Trobe University, Melbourne, Australia, en 2010 y 2011, respectivamente. En el presente se encuentra finalizando sus estudios de doctorado en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador. En la actualidad se desempeña como docente a tiempo completo en la Escuela Politécnica Nacional en el Departamento de Informática y Ciencias de la Computación. Su experiencia profesional abarca el desarrollo de software orientado a la web y la gestión de departamentos de tecnologías en el sector agrícola y de salud. Sus intereses de investigación se enfocan en la ingeniería de software empírica, el desarrollo de software y las metodologías de administración de proyectos de construcción software.

# Encriptación de Texto a través de Sistemas Distribuidos

## *Text encryption through distributed systems*

### ARTICLE HISTORY

Received 10 August 2022  
Accepted 26 October 2022

#### **Luis D. Pineda**

Escuela de Ingeniería de Sistemas y  
Telemática  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
eluisdavidpineda@es.uazuay.edu.ec

#### **Bayron S. Gutiérrez**

Escuela de Ingeniería de Sistemas y  
Telemática  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
bgutierrez@es.uazuay.edu.ec

#### **Marcos Orellana**

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en  
Informática (LIDI)  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
marore@uazuay.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-3671-9362

#### **Jorge Luis Zambrano-Martínez**

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en  
Informática (LIDI)  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
jorge.zambrano@uazuay.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-5339-7860

## Encrición de Texto a través de Sistemas Distribuidos

### *Text Encryption through Distributed Systems*

#### Luis D. Pineda

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática  
Universidad del Azuay  
Cuenca - Ecuador.  
eluisdavidpineda@es.uazuay.edu.ec

#### Marcos Orellana

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI)  
Universidad del Azuay  
Cuenca - Ecuador  
marore@uazuay.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-3671-9362

#### Bayron S. Gutiérrez

Escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática  
Universidad del Azuay  
Cuenca - Ecuador  
bgutierrez@es.uazuay.edu.ec

#### Jorge Luis Zambrano-Martínez

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI)  
Universidad del Azuay  
Cuenca - Ecuador  
jorge.zambrano@uazuay.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-5339-7860

**Resumen—** En los años el crecimiento exponencial de las interconexiones entre dispositivos digitales ha provocado un auge significativo de los incidentes de ciberataques. Esto conlleva a consecuencias desastrosas y graves para una organización, mediante la explotación de vulnerabilidades existentes en tecnologías emergentes. Uno de los mecanismos de defensa más innovadores y efectivos en la actualidad es la criptografía, que se considera un requisito esencial en la comunidad de ciberseguridad para la protección de datos. En este trabajo, implementamos métodos de cifrado en capas, que se ejecutan independientemente en cada máquina de manera distribuida a través del servicio web denominado protocolo de acceso a objetos simples (SOAP), a los datos que se quieren proteger. Para llevarlo a cabo, se creó un escenario experimental mediante un sistema distribuido con máquinas virtuales que albergan los métodos de cifrado comunes como AES-256, César, Blowfish, para enviar datos encriptados desde una máquina origen hacia una máquina destino, y a su vez descifrar los datos encriptados. Los resultados obtenidos demuestran que nuestra propuesta incrementa la seguridad a los datos que son enviados de un origen hacia su destino, dificultando que el atacante obtenga los datos fácilmente. Además, el consumo de recursos computacionales para la ejecución de los algoritmos en el sistema distribuido es mínimo lo cual es adecuado para garantizar su uso en cualquier computador con muy pocos recursos.

**Palabras claves—** *Criptografía, Sistemas Distribuidos, SOAP*

**Abstract—** In recent years, the exponential growth of interconnections between digital devices has caused a significant rise in cyberattack incidents. This produces severe and disastrous consequences for an organisation by exploiting existing vulnerabilities in emerging technologies. One of the most innovative and effective defence mechanisms today is cryptography, considered an essential requirement in the cybersecurity community for data protection. In this work, we implement encryption methods that are executed independently on each machine in a distributed manner through the web service called Simple Object Access Protocol (SOAP) to protect the data. To perform it, an experimental scenario was created using a distributed system with virtual machines that host standard encryption methods such as AES-256, Caesar, and Blowfish to send encrypted data from a source machine to a destination machine, in turn, decrypt the encrypted data. The results show that our proposal increases the security of the data sent from a source to its destination, making it difficult for the attacker to obtain the data quickly. In addition, the consumption of computational resources for executing the algorithms in the distributed system is minimal, which is adequate to guarantee its use in any computer with very few resources.

**Index Terms—** *Cryptography, Distributed*

*System, SOAP*

## I. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la humanidad al ser una especie sociable, ha desarrollado varias formas de comunicarse con otras personas. Debido a esto, surge la necesidad que cierta parte de la información sea sólo conocida por destinatarios específicos. Esta necesidad de enviar mensajes que únicamente fueran entendidos por los destinatarios, hizo que cada civilización, implementara códigos secretos y métodos de ocultar la información sumamente importante. De esta manera, el mensaje no sea descifrable por aquellas personas que puedan interceptar estos mensajes [1].

En la actualidad, existe una amplia gama de algoritmos que han mejorado el proceso de cifrado y descifrado de datos para diferentes usos. Entre varios ejemplos de procesos de cifrado tenemos algunos muy utilizados en la vida cotidiana, como los mensajes ocultos para un usuario intruso y solo pueden ser observados de punto a punto. El avance de las tecnologías ha posibilitado el crecimiento vertiginoso de los sistemas de información, así como su aplicación sin importar en que campo sea asignado. De esta manera, las telecomunicaciones ofrecen la conectividad entre usuarios sean humanos o máquinas, ubicados en cualquier sitio llegando a conformar una inmensa red intercomunicada. Esto acarrea el desarrollo de centros enfocados en el procesamiento de datos donde se puede desplegar las aplicaciones para llegar a realizar un procesamiento distribuido a una o varias tareas, dependiendo netamente de su configuración. Esta viabilidad ofrece a los usuarios una tolerancia para estructurar de manera eficiente los sistemas de información, y brindar la comodidad de interactuar con otros sistemas distribuidos. Esto ha desembocado una dependencia abismal de los sistemas distribuidos tanto para el procesamiento como para la transmisión de los datos a escala global [2].

Por otra parte, en los sistemas distribuidos, los procesos de transferencia o almacenamiento de información se presentan vulnerabilidades ante cualquier ataque. Con esto en mente, es de suma importancia la protección de la información mediante la conversión de datos de un formato legible a un formato codificado. Este proceso se le conoce como criptografía, que permite transmitir los datos de manera más segura y exclusivamente a las partes interesadas [3]. Consecuentemente, en pro de mejorar e implementar el cifrado de textos, este estudio propone un sistema que permita realizar un cifrado y descifrado de textos en

capas de manera independiente a través de la comunicación entre varios computadores utilizando sistemas distribuidos.

Finalmente, este artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección II, se describen los trabajos relacionados con el proceso de cifrado en diferentes métodos en diferentes enfoques presentados por otras investigaciones. La metodología utilizada para llegar a implementar el sistema propuesto y los componentes básicos son analizados en la Sección III. La Sección IV presenta los resultados de la propuesta. Y, por último, en la Sección V, se presentan las conclusiones obtenidas y los trabajos futuros.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Actualmente, los métodos de cifrado presentan una gran variedad de modelos, los cuales son de gran utilidad al momento de cifrar no sólo textos sino gran variedad de archivos. Aunque varios de estos métodos son utilizados, existe una gran cantidad que no llega a ser conocida. Con base a esto, se analizarán algunos trabajos relacionados donde se utilizan diferentes tipos de métodos de cifrado en diversas áreas. El propósito de la aplicación es cifrar los datos de la forma más segura creando claves siguiendo un protocolo de descifrado para llegar a la información. Así, los autores Dixit et al. [1] analizan algunas técnicas de cifrado híbridas tradicionales y modernas junto con un enfoque cuántico, como Rivest, Shamir y Adleman (RSA) basado en criptografía de curva elíptica (ECC) con la clave variable automática (AVK), estándar de cifrado de datos RSA (DES-RSA), curva cubica singular basada en RSA, Compresión y cifrado de información (JCE), técnica de mapa caótico 3D, Blowfish. Del mismo modo, los autores Mitra et al. [4] estudian un mejor enfoque a los algoritmos de cifrado de datos, resaltando los principales problemas y áreas de aplicación donde estos se adaptan mejor. De este modo, presentan los mejores algoritmos y técnicas para un cifrado y descifrado eficiente de los datos.

Por otro lado, Garcia et al. [5] utilizaron osciladores caóticos de orden fraccionario, y obtuvieron un cifrado más eficaz en relación con los osciladores caóticos de orden entero. El encriptado caótico a través del uso de sistemas enteros evita que una persona sin autorización llegue a descifrar un mensaje previamente cifrado. Esto es debido a que se debe conocer específicamente los parámetros del oscilador que se está utilizando conjuntamente con las condiciones iniciales. Si la persona intrusa llega a utilizar los osciladores dentro de la red, se

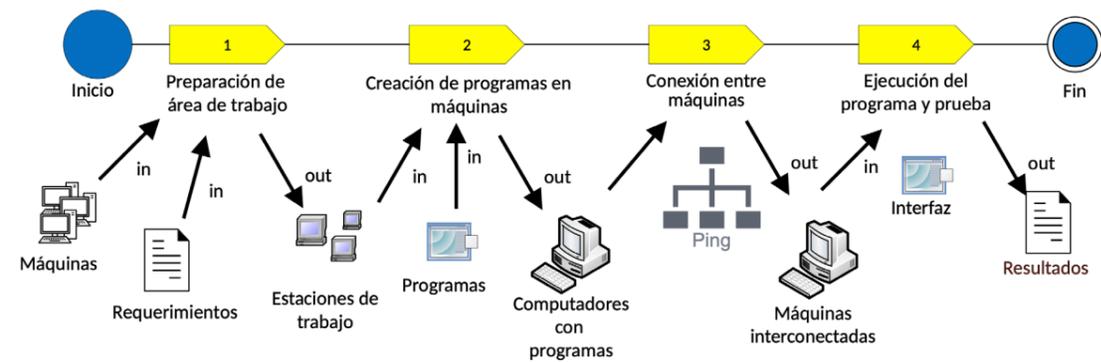


Figura 1. Metodología general

enfrenta con el problema del desconocimiento de la topología de la red y sus configuraciones.

Así, en el encriptado caótico, utilizando osciladores de orden fraccionario, existen parámetros desconocidos para un usuario intruso. Estos parámetros contienen valores específicos de los cuales el sistema presenta un comportamiento caótico. Entre los parámetros desconocidos para el intruso está la banda de frecuencia de las señales caóticas. En Salas [6], se comparan métodos de cifrado para proteger datos empresariales como por ejemplo, Gronsfeld, transposición, César, RSA, conjuntamente con herramientas como Tor, Open Puff, OpenSSH. Los métodos de cifrado se aplicaron para las contraseñas de un sitio web, que consta de una llave predefinida en PHP, conjuntamente con hash y otros procesos propios del lenguaje. Los resultados que obtuvieron fueron positivos, ya que implementaron varios métodos de cifrado para obtener un método de encriptación más fuerte y robusto. Montenegro [7] estudia la comparación de algoritmos criptográficos en la transferencia de un archivo de un servidor hacia una máquina cliente. Actualmente, hay vulnerabilidades que permiten realizar un ataque dentro y fuera de las organizaciones. Quienes realizan los ataques cibernéticos son hackers que dedican su tiempo a interceptar la información usando conocimientos informáticos con fines criminales. De este modo, se elabora un prototipo de red pública con una topología estrella y concluye que AES es el mejor algoritmo criptográfico en cuanto al tiempo de envío, número de paquetes fraccionados y número de paquetes encriptados, llegando a recomendar su uso en la protección de la información de las organizaciones. Seth et al. [8] implementan una arquitectura novedosa para brindar una mayor seguridad en torno a la computación en la nube. Esta arquitectura se compone de técnicas de fragmentación de datos y cifrado

dual que prevén la distribución segura de la información en un entorno de múltiples nubes. Además, se abordan áreas como integridad, seguridad, confidencialidad y autenticación.

Chakroborti et al. [9] proponen un nuevo modelo para mejorar el rendimiento de un servicio web, modificando el principio de seguridad del mensaje SOAP y el anclaje del archivo de lenguaje descriptivo del servicio web (WSDL) para facilitar la autenticación. Los resultados del experimento demuestran mejoras significativas y el tiempo de respuesta con respecto al enfoque tradicional sin comprometer la seguridad tanto en el cifrado como en el descifrado al momento de autenticarse.

Existen varios métodos de encriptación que han dado resultados positivos al cifrar datos. Sin embargo, en este paper se propone implementar algoritmos comunes como el método de César, el estándar de cifrado avanzado 256 (AES-256) y método de cifrado de bloques simétricos Blowfish como un cifrado en capas a través de diferentes máquinas dentro de un sistema distribuido para lograr el objetivo de esta investigación.

### III. METODOLOGÍA

En este estudio, se propone la utilización de varios métodos de cifrado. Para representar los métodos en esta implementación utilizó Software Process Engineering Metamodel (SPEM), que está diseñado para detallar procesos y sus componentes, por medio del modelado orientado a objetos basado en lenguaje unificado de modelado (UML) [10]. El diagrama de la presente propuesta está representado en la Figura 1. El enfoque propuesto fue dividido en cuatro tareas: i) preparación del área de trabajo, ii) creación de Programas en cada dispositivo, iii) implementación de la arquitectura experimental propuesta que

contiene las conexiones entre los dispositivos y iv) la ejecución del programa con sus respectivas pruebas. La entrada se muestra a la izquierda y la salida a la derecha de cada una de las tareas a manera de artefactos.

#### A. PREPARACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

En esta tarea, que se observa en la Figura 2, se presentan los pasos que fueron realizados para la preparación del área de trabajo.



Figura 2. Preparación del área de trabajo

Para preparar el área de trabajo se instaló un software para realizar la virtualización de Sistemas Operativos (SO) dentro de una máquina local denominada VirtualBox [11]. Luego, se crearon las máquinas virtuales con el mínimo de características: 4 GB de memoria RAM, 8 GB de almacenamiento de disco, con un procesador de un solo núcleo e interconectadas en su propia red virtualizada. Como siguiente paso, se instaló el SO de Microsoft Windows 7 en cada máquina virtual creada.

Una vez que fueron creadas las máquinas virtuales, se procedió a instalar en cada computador un entorno de desarrollo integrado (IDE) libre, llamado Netbeans, conjuntamente con el kit de desarrollo de Java (JDK) en versión 8, para terminar con la preparación del área de trabajo.

#### B. CREACIÓN DE PROGRAMA

En esta tarea, se realizó la creación de los programas en las diferentes máquinas que van a consumir el servicio web, como se muestra en la Figura 3.

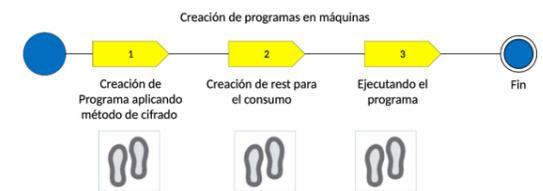


Figura 3. Creación del programa

La implementación de cada método de

cifrado escogido se realizó en cada una de las computadoras virtuales usando el lenguaje de programación Java. En la primera máquina, se utilizó el método de César. Este método posiciona cada letra en un determinado número de espacios en el alfabeto, ya que es un tipo de cifrado por sustitución, es decir una letra del texto original es sustituido por otra letra que se encuentra en un número fijo de posiciones más posterior en el alfabeto [12].

Para el método de cifrado/descifrado de César, se tuvo que obtener inicialmente el módulo del recorrido que se va a realizar. En este caso, cada vez que se llegó a la letra "Z" se volvió a recorrer a la letra "A", y se sumó la respuesta de la longitud a la nueva posición. Después, se sacó su cadena de texto (string) y se acumuló para devolver la nueva cadena rotada. Además, se comparó si es una letra mayúscula para saber cuál es la posición desde donde se inicia a rotar, como se muestra en el Algoritmo 1.

#### Algoritmo 1 Cifrado/descifrado Cesar.

```

Requiere originalString, numRotation
Salida stringConverted
1: iniMayus = 97
2: iniMin = 65
3: lenAlphabet = 26
4: Para each character ∈ originalString hacer
5: currentChar ← character
6: Si currentChar ∉ alphabet Luego
7: stringConverted ← currentChar
8: Fin Si
9: currentCharASCII ≡ currentChar
10: isMayus.bool ← currentChar
11: newPosAlphabet ← (currentCharASCII -
(Si isMayus.bool entonces iniMayus En
todo caso
iniMinus) + numRotation) mod
lenAlphabet
12: Si newPosAlphabet < 0 Luego
13: newPosAlphabet ← lenAlphabet
14: Fin Si
15: newPosCharASCII ← (Si isMayus.bool
entonces iniMayus En todo caso iniMinus
) + newPosAlphabet
16: stringConverted ← (character ≡
newPosCharASCII)
17: Fin Para
    
```

**Algoritmo 2** Cifrado/descifrado AES-256.

```

Requiere secretKeyAES, saltAES,
secretKeyTemp, data, mode
Salida stringConverted
1: keySpecific ←
PBEKEYSPEC(secretKeyAES ⇔ Char,
saltAES ⇔ Bytes)
2: secretKeyTemp ←
GENERATESECRET(keySpecific)
3: Proceso GETAESENCRYPT-
DECRYPT(data, mode)
4: secretKey ←
SECRETKEYSPEC(secretKeyTemp
EncodedAES)
5: ivParameterSpec ←
IVPARAMETERSPEC(byte[16])
6: Si mode is encrypt Luego
7: cipher ← INIT(Encrypt Mode,
secretKey, ivParameterSpec)
8: cipherFinal ← DOFINAL(data ⇔
Bytes(UTF - 8))
9: stringConverted ← ENCODER.
ENCODETOSTRING ( cipherFinal )
10: En todo caso Si mode is decrypt
Luego
11: cipher ← INIT(Decrypt Mode,
secretKey, ivParameterSpec)
12: decodeData ← DECODER.
DECODE(data)
13: stringConverted ←
DOFINAL(decodeData)
14: En todo caso
15: stringConverted ← NULL
16: Fin Si
17: Retorno stringConverted
18: Fin Proceso
    
```

En la siguiente máquina virtual, se implementó el Algoritmo 2, donde se observa los dos primeros parámetros que son la llave (secretKeyAES) y la sal o bytes aleatorios (saltAES). Estos parámetros deben ser los mismos tanto para cifrar como para descifrar. En este caso, se utilizaron los mismos parámetros para todos los cifrados, los cuales deben ser generados aleatoriamente y con al menos 25 dígitos para cada cifrado, con la finalidad de incrementar la seguridad de la información. La instancia de SecretFactory funciona inicialmente con PBKDF2, que es una función de derivación de claves, y es bastante usado para reducir la vulnerabilidad de

ataques por fuerza bruta [13]. La instancia de PBEKeySpec es cifrado basado en contraseña, donde se tiene que iterar un n número de veces dentro de la instancia, otorgando una clave secreta temporalmente cifrada [14]. El método getAESEncrypt - Decrypt contiene dos variables de entrada que son los datos y el mode donde se da a elegir si se desea cifrar o descifrar. Por un lado, está el cifrado basado en AES-256 que generó un SecretKeySpec en AES con la clave temporal cifrada. La variable cipher fue generada en AES por bloques CBC y con una llave de tipo PKCS5Padding. Después, se inició la variable cipher con secretKey y en Encrypt Mode. Finalmente se codificó y se devolvió en Base64 a una cadena con bytes en formato UTF-8. Por otra parte, está el descifrado que solamente se utilizó para cambiar la variable cipher por DECRYPT MODE, para posteriormente decodificar de Base64 a cadena, con lo cual obtenemos como resultado la cadena descifrada.

En la última máquina virtual, se implementó el método de cifrado Blowfish, como se muestra en el Algoritmo 3.

**Algoritmo 3** Cifrado/descifrado Blowfish.

```

Requiere saltBf, data, mode
Salida stringConverted
1: Proceso GETBFENCRYPT-
DECRYPT(data, mode)
2: byteData ← saltBf ⇔ Bytes
3: secretKey ←
SECRETKEYSPEC(byteData,
"Blowfish")
4: cipher ← GETINSTANCE("Blowfish")
5: Si mode is encrypt Luego
6: cipher ← INIT(Encrypt_Mode,
secretKey)
7: cipherFinal ← DOFINAL(data ⇔
Bytes)
8: stringConverted ← ENCODER.
ENCODE(cipherFinal)
9: En todo caso Si mode is decrypt
Luego
10: cipher ← INIT(Decrypt Mode,
secretKey)
11: decodeData ← DECODER.
DECODE(data)
12: stringConverted ←
DOFINAL(decodeData)
13: En todo caso
14: stringConverted ← NULL
    
```

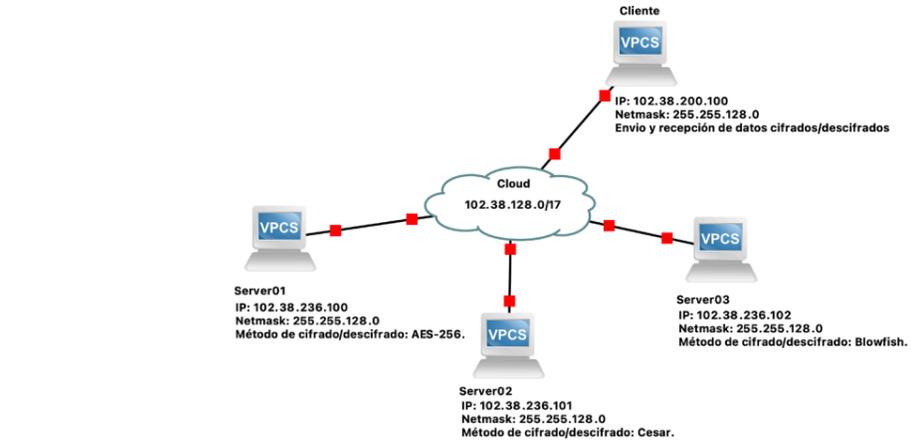


Figura 4. Escenario experimental y conexión del sistema distribuido

```

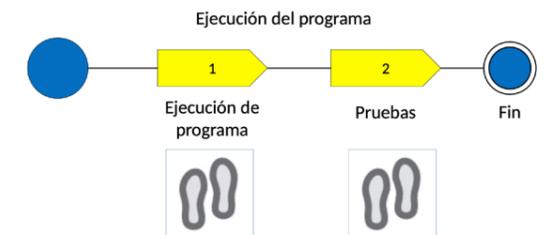
15: Fin Si
16: Retorno stringConverted
17: Fin proceso
    
```

Para cifrar la información con el algoritmo Blowfish, se requiere de dos procesos: i) procesamiento previo de claves y ii) cifrado de información. Así, como ocurrió con el Algoritmo 2, este algoritmo contiene una parte de cifrado y otra parte de descifrado en el método getBfEncrypt-Decrypt que posee como entrada los datos y su propio modo (cifrado-descifrado). En la parte del cifrado, se procedió a encriptar con Blowfish, y se generó un SecretKeySpec con la clave temporal cifrada. Luego, se cifró cipher en Blowfish y se inició con la secretKey conjuntamente con ENCRYPT MODE. Por último, se codificó y se devolvió en Base64 a una cadena con bytes en formato UTF-8. En cambio, para descifrar se cambió en la variable cipher por DECRYPT MODE y se decodificó de Base64 a cadena, con lo cual obtenemos como resultado la cadena sin cifrado.

**C. IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA EXPERIMENTAL PROPUESTA**

Después de haber creado los algoritmos en cada computador virtual conjuntamente con el servicio SOAP, se realizó la desactivación del corta fuegos de las tres máquinas para que no presente alguna restricción en su interconexión. Luego, se obtuvo las direcciones IP de las máquinas virtuales: 102.38.236.100, 102.38.236.101, 102.38.236.102 dentro de la red 102.38.128.0/17 para comprobar la conectividad entre estas. En la Figura 4 se presenta el escenario del experimento.

Y, por último, en esta fase de la metodología correspondiente a la ejecución del programa,



se realizó las debidas pruebas concernientes a la propuesta que hemos realizado, así como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Ejecución y pruebas del Programa

**IV. RESULTADOS**

Para demostrar el funcionamiento de nuestra propuesta, se utilizaron algunos ejemplos de texto, desde un solo carácter hasta palabras largas en español. El programa principal recibe como entrada una cadena de texto que se desea cifrar, seguido de dos guiones bajos para diferenciar entre el texto y el orden de las máquinas que realizan el cifrado, como por ejemplo <<Esternocleidooccipitomastoideos\_\_M2M1M3>>.

Consecuentemente, el sistema procede a encriptar la cadena de texto Esternocleidooccipitomastoideos en el orden del cifrado que es la máquina 2 con el algoritmo AES-256, la máquina 1 con el algoritmo César y la máquina 3 con el algoritmo Blowfish. Así, una vez ingresada la cadena a encriptar, se invoca el servicio SOAP para enviar la cadena a las máquinas correspondientes que contienen los algoritmos de cifrado. Esto depende del orden en que se invocan los algoritmos, por lo que, siguiendo el ejemplo anterior, primero se ejecutó el algoritmo AES-256, luego, la cadena de texto cifrada es enviada hacia el computador que tiene el algoritmo César y

por último la cadena de texto con los dos algoritmos previos integrados es enviada hacia el último algoritmo Blowfish. Para volver al texto original, se procede en forma inversa, es decir, desde la última máquina que contiene la cadena de texto con los tres algoritmos de cifrado incluidos, ejecutando los algoritmos en orden inverso hasta obtener como resultado la cadena de texto original.

Con respecto al desempeño de la arquitectura propuesta, desde el punto de la complejidad algorítmica, se observó que es bastante efectiva y robusta durante el cifrado/descifrado de cadenas de texto. El tiempo de procesador fue mínimo al utilizar los tres algoritmos en cada computador, teniendo lecturas entre 95 a 97 milisegundos en tiempo de cifrado, y entre 95 a 100 milisegundos en tiempo de descifrado. En cuanto al uso de memoria RAM, se obtuvieron valores entre 3,08 a 3,12 Megabytes en tiempo de cifrado, y entre 3,05 a 3,09 Megabytes en tiempo de descifrado. Los resultados obtenidos dependen del orden de ejecución de los algoritmos establecidos en los computadores.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo, se exploran diferentes algoritmos descifrado utilizando el lenguaje de programación Java. Además, se implementa el servicio SOAP conjuntamente con los servicios web para la conexión de diferentes máquinas virtuales interconectadas. Cada computador virtual tiene la funcionalidad de ejecutar el cifrado/descifrado de una cadena de texto y recibir su respectiva respuesta. Los algoritmos descifrados utilizados como AES-256, César y Blowfish trabajan de manera conjunta y llegan ser un gran aporte para sistemas modernos. Esto se debe a la forma en como encriptan la información, mejorando los resultados al pasar el mensaje por diferentes máquinas de la red.

Consecuentemente, para un atacante cibernético, la dificultad de interceptar o descifrar un mensaje se incrementa sustancialmente debido a que los algoritmos de cifrado están distribuidos en diferentes computadores.

Con respecto al consumo de recursos, se observó que tanto el uso de procesador como de memoria es mínimo, incluso utilizando computadores con prestaciones bajas como los que se emplearon en los experimentos.

En los trabajos futuros se emplearán más algoritmos descifrado extendiendo a arquitecturas de red más complejas, que nos permitirá evaluar los tiempos de cifrado/

descifrado, y la mejora de seguridad de información sensible en una empresa. Otro trabajo futuro es emplear arquitecturas de sistemas distribuidos con algoritmos de cifrado más complejos en microordenadores, y dispositivos de Internet de las Cosas(IoT).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay por el apoyo financiero y académico, así como a todo el personal de la Escuela de Ingeniería de Ciencias de la Computación, y del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática - LIDI.

## REFERENCIAS

- [1] P. Dixit, A. K. Gupta, M. C. Trivedi, and V. K. Yadav, "Traditional and Hybrid Encryption Techniques: A Survey," in *Networking communication and data knowledge engineering*. Springer, 2018, pp. 239-248.
- [2] A. Tanenbaum and M. van Steen, *Distributed Systems*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017.
- [3] P. Matta, M. Arora, and D. Sharma, "A Comparative Survey on Data Encryption Techniques: Big Data Perspective," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 11 035-11 039, 2021.
- [4] S. Mitra and D. Das, "A Critical Study on the Applications of Run Length Encoding Techniques in Combined Encoding Schemes." *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 5, 2017.
- [5] O. García Sepúlveda, "Encriptado de Datos con Osciladores Caóticos de Orden Fraccionario," Ph.D. dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015.
- [6] J. R. Tirado Salas. (2017) Encriptado de Datos para Proteger Información de las Empresas. [Accedido 06 diciembre 2022]. [Online]. Available: <https://bit.ly/3utyTIs>
- [7] D. Montenegro Torres. (2020) Algoritmos de Encriptación de Archivos para la Transferencia en Mensajería Instantánea. [Accedido 06 diciembre 2022]. [Online]. Available: <https://bit.ly/3FwW1WD>

- [8] B. Seth, S. Dalal, V. Jaglan, D.-N. Le, S. Mohan, and G. Srivastava, "Integrating Encryption Techniques for Secure Data Storage in the Cloud," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 33, no. 4, p. e4108, 2022.
- [9] D. Chakroborti and S. S. Nath, "Web Service Performance Enhancement for Portable Devices Modifying SOAP Security Principle," in *2017 20th International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT)*. IEEE, 2017, pp. 1-7.
- [10] R. Bendraou, B. Combemale, X. Crégut, and M.-P. Gervais, "Definition of an Executable SPEM 2.0," in *14th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC'07)*. IEEE, 2007, pp. 390-397.
- [11] K. Srinivasa and A. Singh, "Hands-On Guide to Virtual Box," in *Design and Use of Virtualization Technology in Cloud Computing*. IGI Global, 2018, pp. 194-207.
- [12] J. W. Ríos Taípe. (2017) Sistema de Encriptación para Optimizar el Proceso de Desarrollo de Software de una Empresa de Lima. [Accedido 06 diciembre 2022]. [Online]. Available: <https://bit.ly/3h6noO2>
- [13] A. Visconti and F. Gorla, "Exploiting an HMAC-SHA-1 Optimization to Speed up PBKDF2," *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 17, no. 4, pp. 775-781, 2018.
- [14] M. Hazhirpasand, M. Ghafari, and O. Nierstrasz, "Cryptoexplorer: An Interactive Web Platform supporting Secure Use of Cryptography APIs," in *2020 IEEE 27th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*. IEEE, 2020, pp. 632-636.

# AUTHORS



## Luis D. Pineda

Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Sistemas y Telemática de la Universidad del Azuay.



## Byron S. Gutiérrez

Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Sistemas y Telemática de la Universidad del Azuay.



## Marcos Orellana

Ingeniero en Sistemas de la Universidad del Azuay. Master en Gestión de Sistemas de Información e Inteligencia de Negocios de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y Master en Docencia Universitaria de la Universidad del Azuay. Candidato a doctor en Ciencias Informáticas en la Universidad Nacional de la Plata Argentina. Docente Investigador en las líneas de Ciencia de los Datos e Inteligencia Artificial en la Universidad del Azuay. Responsable y Director del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática (LIDI).



## Jorge Luis Zambrano-Martínez

Ph.D. en Ciencias de la Computación recibido en el Departamento de Grupo de Redes de Computadores (GRC) de la Universitat Politècnica de València (UPV) de España en 2019, incluido un Doctorado Internacional y premio Cum Laude. Se graduó en el Máster Universitario en Seguridad de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universitat Oberta de Catalunya en 2018. Se graduó en el Máster Universitario en Ingeniería de Computadores de la Universitat Politècnica de València (UPV) en 2015. Se graduó en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador) en 2011. Sus intereses de investigación incluyen redes vehiculares, ciudades inteligentes, Internet of Things, seguridad de redes, Intelligent Transportation System y visión artificial.

ARTICLE HISTORY

Received 22 September 2022  
Accepted 26 October 2022

**Cristhian H. Bastidas Paz**

Maestría en Electricidad  
Pontificia Universidad Católica Del Ecuador  
PUCESE  
Esmeraldas, Ecuador  
chbastidas@pucese.edu.ec

**Héctor F. Chinchero Villacís**

Maestría en Electricidad  
Pontificia Universidad Católica Del Ecuador  
PUCESE  
Quito, Ecuador  
hfchinchero@pucese.edu.ec

## Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida

### *Energy Management System for Smart Buildings using Distributed Generation*

## Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida

### Energy Management System for Smart Buildings using Distributed Generation

**Cristhian H. Bastidas Paz**

Maestría en Electricidad  
Pontificia Universidad Católica Del  
Ecuador PUCESE  
Esmeraldas, Ecuador  
chbastidas@pucese.edu.ec

**Héctor F. Chinchero Villacís**

Maestría en Electricidad  
Pontificia Universidad Católica Del  
Ecuador PUCESE  
Quito, Ecuador  
hfchinchero@pucese.edu.ec

**Resumen—** En este trabajo se presenta un sistema de gestión de energía para Edificios Inteligentes (EI) utilizando Generación Distribuida (GD). La propuesta permite reducir el consumo excesivo de energía que tienen los sistemas de iluminación, climatización y computación en el campus del edificio administrativo de la Universidad PUCESE. Se utiliza un sistema de control basado en el microcomputador raspberry, el cual permite establecer las condiciones de trabajo de manera autónoma. El sistema define un algoritmo de control basado en diferentes escenarios donde se determinan las reglas de energía para cada uno de los servicios del edificio. Como resultado, se reduce el consumo energético en un 50 % para cada uno de los sistemas, evidenciando una reducción en el pliego tarifario, y en la huella ecológica del edificio.

**Palabras Clave—** Generación Distribuida (GD), Edificio inteligente (EI), Microrredes, Sistema de Gestión de Energía.

**Abstract—** This paper presents an energy management system for Smart Buildings (SB) using Distributed Generation (DG). The proposal allows reducing the excessive energy consumption of lighting, air conditioning and computing systems at the campus of the administrative building at the University PUCESE. We employ a control system based on the raspberry microcomputer, which allows establishing the working conditions autonomously. The system defines a control algorithm based on different scenarios, where the energy rules for each of the building's services are determined. As a result, there is a 50 % reduction in energy consumption for each of the systems, evidencing a reduction in the energy bill and in the ecological footprint of the building.

**Keywords—** Distributed Generation (DG), Smart Building (SB), Microgrids, Energy Management System (EMS).

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del consumo eléctrico a nivel mundial, ha generado mucho interés de investigación en el ámbito ambiental y tecnológico [1]. La generación de la energía para el consumo diario proviene de los combustibles fósiles, reacciones nucleares y grandes hidroeléctricas [2]. De este modo la energía convencional provoca diversos problemas ambientales como la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [2][3].

En la actualidad las tecnologías en microrredes superan las expectativas a nivel mundial entre los sectores gubernamentales, industriales y académicos, brindando diversos beneficios para la comunidad. Este es el caso de la confiabilidad, la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de carbono [4]. Por otro lado, el transporte de la energía tiende a producir pérdidas a lo largo de su distribución. Como consecuencia, se requiere el uso de nuevos métodos de distribución a lo largo de la red, especialmente de los recursos distribuidos que se encuentran cerca al cliente [5]. De la misma forma, la penetración de recursos renovables se orienta a una energía más limpia, libre de las grandes centrales eléctricas, entregando una energía mejor interconectada [6].

En el mundo los edificios consumen un 40% de energía global [3][7]. Por consiguiente, los edificios residenciales son los responsables de un alto consumo de energía [7]. Al mismo tiempo dicho consumo de energía es uno de los principales problemas en la sociedad moderna. Un caso particular es el de los países desarrollados, que requieren el 31% y

35% de la generación de electricidad para el funcionamiento de edificios comerciales es Singapur y EE.UU respectivamente [8]. Dado el aumento de la población y urbanización mundial, se espera que estas cifras presenten un mayor crecimiento [8]. Ahora, para lograr la disminución del consumo excesivo de energía en estos edificios, las microrredes juegan un papel predominante, por lo que cada vez se van desarrollando nuevas soluciones de eficiencia energética en microrredes.

Las microrredes impulsan una estructura de flujo de energía distribuida [9]. La generación distribuida se desprende como un método de generación en apogeo [10]. De esta manera se convierte en un componente beneficioso a los consumidores por el bajo costo, la alta fiabilidad, calidad de energía y la eficiencia e independencia del suministro de energía [10].

La generación distribuida es un sistema de generación que permite a los recursos energéticos estar cerca de los consumidores. Sin embargo, este tipo de tecnología tiene relación a la producción de energía a pequeña escala [11]. El objetivo de esta generación es integrar energías limpias mediante el uso de tecnologías de control y comunicación. Por lo tanto, este tipo de red tiene como resultado un sistema inteligente, óptimo y amigable con el medio ambiente [12].

Se puede señalar que la generación distribuida comparte el criterio de reducir las pérdidas de la red, optimizar el perfil de voltaje y por ende ofrecer un respaldo de energía cuando ocurra un corte del suministro [13]. En todo caso, la implementación de la comunicación bidireccional y el flujo de energía a una red inteligente permite al consumidor la reducción de costos, baja de precios en tiempo real, y la oportunidad de venta de energía [14].

Es importante señalar que las microrredes en edificios pueden gestionar funciones de contingencia en la red, sobre todo las cargas locales se pueden respaldar por medio del control automatizado del sistema de gestión de energía del edificio [3][15]. De modo idéntico la optimización a nivel de distribución permite el equilibrio cuando existan picos de demanda energética y de esta manera es posible compensar la cantidad de generación necesaria en el consumo de cargas [6]. Por otro lado, un edificio está constituido por varios sistemas de consumo bien diferenciados, tal es el caso del sistema de iluminación, climatización, computación, entre otros [8]. Por esta razón, la necesidad de compensar el consumo en este tipo de sistemas, genera una amplia posibilidad de desarrollo de mecanismos para el control de

este tipo de consumo [3][8].

Las energías renovables responden a un recurso ilimitado y generación sostenible, sin embargo, la producción de electricidad no se puede controlar. Esta infraestructura requiere una generación dispersa y distribuida geográficamente [16]. Este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables que son capaces de regenerarse por medios naturales como el sol, los vientos, volcanes, etc. [17].

Los sistemas de energía solar poseen celdas fotovoltaicas, que convierten la luz solar en energía eléctrica de manera sostenible, con un impacto mínimo en el ámbito ambiental [18]. El sistema solar está constituido por los paneles solares, un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna y baterías que se cargan por medio del panel fotovoltaico, el cual entrega el voltaje al inversor y puede suministrar energía al consumidor final [19].

Los sistemas de energía eólica convierten la fuerza del viento a energía mecánica por el movimiento de rotación de sus aspas. Por lo tanto, esta energía se convierte en eléctrica. Está constituido por aerogeneradores que transforman el movimiento del rotor mecánico a energía eléctrica, se puede acoplar sistemas rectificadores e inversores para mantener el flujo de energía [20].

El objetivo primordial de la gestión de energía es minimizar el consumo energético, así como reducir los costos de la energía eléctrica con un impacto menor en el medio ambiente. Por otro lado, se puede agregar un control a esta gestión para que interactúe con las respectivas cargas de manera óptima [21]. La gestión de energía en edificios utiliza la información del consumo de energía de los equipos, para implantar estrategias en el control ambiental y gestión de equipos. Este aspecto permite obtener una jerarquía de confort ante el usuario [22]. Una de las estrategias de la gestión es que los recursos renovables puedan satisfacer la demanda de carga en los edificios de una manera eficiente [23].

La generación distribuida en Ecuador se atribuye a varios paradigmas difíciles de procesar. Por otro lado, este tipo de generación proporciona un abanico de oportunidades a nivel del desarrollo técnico. Por lo tanto, existen proyectos en ejecución como se pueden destacar la generación solar, eólica, los medidores bidireccionales y electrolineras, que proporcionan una estabilidad y progreso al sistema eléctrico de potencia [24].

Por parte de los medidores bidireccionales, se cuenta con una tecnología capaz de registrar el consumo energético. Si la energía no es consumida en su totalidad por el usuario, permite entregar esta energía al sistema eléctrico de potencia o a su vez vender dicho recurso. Este tipo de procedimiento tiene el respaldo en la resolución ARCONEL 042/18. También, en el caso de las electrolíneas en el Ecuador se tiene la oportunidad de contar con este tipo de proyecto, para proporcionar de energía a los vehículos eléctricos que existen en el país [25].

En este trabajo se presenta un prototipo de gestión de energía inteligente para optimizar el consumo generado por varios sistemas. Se utiliza la automatización de los sistemas para disminuir la actividad diaria usando energías renovables. Entre las fuentes utilizadas están la energía solar con paneles fotovoltaicos, fuente eólica y la red de baja tensión. Con estos elementos se consigue implementar metodologías de generación distribuida para determinar el momento de uso de los determinados sistemas. Este trabajo se realiza en base al campus de la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede En Esmeraldas en el edificio del área administrativa, que es el área de mayor consumo de energía.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: En la Sección II presentamos los trabajos relacionados. La Sección III explica la metodología de investigación y la implementación de la propuesta. En la sección IV, se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, las conclusiones de este trabajo se explican en la Sección V.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Un primer estudio científico griego titulado "A Simulation Platform for Smart Microgrids in University Campuses", presentado por Elenkova M. et al. [26], propone una plataforma de simulación basada en una interfaz gráfica de usuario que permite el análisis de campus universitarios inteligentes, incorporando fuentes de energías renovables y redes inteligentes. Esta plataforma de simulación está constituida de distintos submodelos como son: el registro de perfiles de carga, una instalación fotovoltaica, sistema de almacenamiento de energía por batería, un sistema de gestión de energía de microrredes inteligentes y un análisis financiero. Una vez realizada la simulación se pudo comprobar la reducción de la demanda energética del campus en los meses de primavera y verano, donde la generación fotovoltaica es muy significativa y a su vez debido al control estratégico de cargas

en el edificio, concluyendo que esta plataforma de simulación propuesta facilita la integración de varios submodelos que constituyen a la estructura de consumo de energía del edificio y reduce la demanda energética del mismo. Este estudio contribuye al tema central de la investigación propuesta, en la reducción del consumo energético del edificio mediante el control de cargas específicas de manera inteligente y por medio de la introducción de fuentes de energías renovables como lo es la fotovoltaica.

La segunda investigación científica española titulada "Planning and Operational energy optimization solutions for Smart Buildings", presentado por Sembroiz D. et al. [27], pretende optimizar la energía en un edificio inteligente por medio de un modelo de red de sensores inalámbricos y solucionar los problemas de funcionamiento real del edificio según el comportamiento de sus ocupantes. Este modelo está constituido por dos secciones importantes. La primera se refiere a la colocación estratégica de distintos tipos de sensores para recopilar datos mediante la comunicación de puertas de enlaces. La segunda sección se destaca por establecer un modelo del comportamiento de los ocupantes por medio de una acción determinada de históricos por medio de escenarios reales, ya sea de tiempo, o de ocupación de las áreas donde el personal de trabajo del edificio se moviliza. Como resultado obtenido en la primera sección se considera un ahorro energético mediante la distribución de sensores en las áreas del edificio, los cuales transmiten datos de distintas variables para realizar la automatización de dichas instalaciones según sea la necesidad requerida por el usuario final. En la segunda sección, se tiene como resultado el encendido y apagado de la iluminación del edificio de manera autónoma cuando el ocupante ingrese o salga del área correspondiente. Así mismo, el sistema actúa en el control de los aires acondicionados para que la habitación esté a la temperatura deseada cuando lleguen los ocupantes y lo mantiene a un nivel adecuado según la temperatura ambiente. Concluyendo este modelo es capaz de identificar las ubicaciones óptimas para diferentes tipos de sensores y puertas de enlaces, optimizando el consumo de energía por medio de los comportamientos del usuario, y respondiendo como consecuencia de los mismos. El aporte de esta investigación a nuestro tema principal es en la ubicación de sensores estratégicamente en las áreas del edificio para una mejor identificación y acción de las variables a ejecutarse. A más de ello, influye en el control de escenarios de nuestra propuesta para la ejecución de acciones de los ocupantes del edificio.

Finalmente, en un tercer estudio científico de la India titulado "Real Time Energy Management System for Smart Buildings to Minimize the Electricity Bill", planteado por Chauhan R. et al. [28] se ejecuta una simulación de un sistema de gestión de consumo energético por medio de una microrred inteligente. Esta propuesta se basa tanto en la gestión de la fuente de energía como de la carga, priorizando al consumidor de operación de la misma en horas pico u horas regulares. Este modelo de simulación realiza un seguimiento del uso de la energía de electrodomésticos específicos. Además, los sensores de temperatura están instalados para determinar la temperatura de las áreas del edificio, así como sensores de proximidad para detectar el ingreso y salida de los ocupantes del mismo. Estos datos son recopilados por medio de una unidad terminal remota (RTU) para luego ingresarlos al sistema Scada y a un sistema fotovoltaico de respaldo para la fuente antes mencionada. El resultado que se obtiene en la simulación es que los sensores instalados ayudan al sistema fotovoltaico a compensar la energía de la red convencional por medio de la microrred instalada en el edificio, en donde se describen intervalos de horas durante el día de trabajo para el ingreso de la energía fotovoltaica sin necesidad de la otra fuente energética externa. Así, se genera una eficiencia energética con la operación de una energía renovable reduciendo el consumo del mismo. Se concluye que el modelo de simulación brinda flexibilidad en el control automático, y en la decisión de ejecutar la energía fotovoltaica según la demanda del consumo de energía para llegar a una eficiencia total energética. Este estudio científico se relaciona al tema de investigación en la implantación de una microrred con respaldo de energía fotovoltaica, en un escenario que comprende la energía convencional, y un sistema que realiza el control autónomo tanto en horas normales como en horas pico.

## III. METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

El presente estudio científico empleó una metodología de tipo analítica que consistió en tres fases:

1. Auditoría energética, que permite evaluar el consumo de los sistemas de energía que comprende la planta baja del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Católica Sede Esmeraldas.
2. Automatización de las áreas del edificio con sensores de control, que permite reducir el consumo de las áreas de manera

eficiente.

3. Diseño de un sistema de control de gestión de energía acompañado del uso de energías renovables, que permite la compensación energética de la red eléctrica convencional por medio de un sistema de generación distribuida.

### A. FASE I: AUDITORÍA ENERGÉTICA

Para la elaboración de la auditoría energética se utilizó la técnica de la observación, que consistió en visitar las instalaciones del edificio administrativo e inspeccionar los recursos eléctricos que lo constituyen. Se obtuvo un registro de 9 áreas distribuidas en la planta baja. Cada una de ellas conforman 3 sistemas para el funcionamiento del edificio como son: el de iluminación, climatización y de computación.

En la Figura 1 se observa el plano de las instalaciones del edificio administrativo donde se realizó el estudio y el registro de las áreas que lo constituyen.



Fig. 1. Plano de las instalaciones del edificio administrativo.

Una vez establecidos los sistemas de cada área, se procedió a realizar una ficha técnica de los consumos de cada uno de los elementos eléctricos.

En la Tabla I, se muestra esta ficha con los registros de potencia de trabajo según sus características técnicas y el tiempo de funcionamiento por horas diarias de cada uno de los elementos eléctricos que lo constituyen.

**TABLA I. FICHA TÉCNICA DEL CONSUMO DEL EDIFICIO**

Área del Edificio: Secretaría General					
Días	Dispositivos	Cantidad	Potencia [W]	Horas de Consumo [h]	T o t a l Consumo [Wh]
Lunes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Martes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Miércoles	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Jueves	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Viernes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Sábado	Luces led	12	50	0	0
	Aire Acondic.	2	1000	0	
	Computadoras	4	92	0	
	Luces led baño	1	20	0	
Domingo	Luces led	12	50	0	0
	Aire Acondic.	2	1000	0	
	Computadoras	4	92	0	
	Luces led baño	1	20	0	
<b>Consumo Semanal</b>					<b>148500</b>

**B. FASE II: AUTOMATIZACIÓN**

Para poder reducir el consumo de cada área del edificio, se han establecido las operaciones de control para la automatización, según la necesidad de los usuarios.

Se propone la manipulación de los tres sistemas antes mencionados para reducir las horas de funcionamiento de cada uno de los elementos que los componen. Por lo tanto, se puede llegar a un nivel de ahorro energético, manteniendo los niveles de confort, mediante la implementación de un sistema de control superior a lo que se tenía antes de lo establecido en los servicios iniciales del edificio, como se observa en la Tabla II. Luego, se determinó los niveles de automatización correspondientes a cada sistema del edificio por medio del análisis de zonas de cobertura establecidas en los

puntos de mayor concurrencia por el usuario. También, para la elaboración de los niveles de automatización se estableció distintas condiciones: manual, automático, regulado y periódico, que también se describen en la Tabla II.

Se puede destacar que estos niveles de automatización se ejecutaron para las 9 áreas que conforman el edificio. Se ha obtenido una reducción de las horas de consumo por cada elemento eléctrico. De esta manera, por medio de la automatización se ha logrado obtener menos horas de uso progresivo de cada componente.

**TABLA II. NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN**

Niveles de Automatización	Iluminación	Climatización	Computación
Control Manual	Encendido y apagado por interruptor.	Encendido, apagado y regulación por termostato de pared para la regulación del clima.	NA
Control Automático	Encendido y apagado automático por detección de presencia con sensor de movimiento.	Encendido y apagado automático por detección de presencia en función de la temperatura.	NA
Control Regulado	Regulación del nivel de iluminación por escena en función de luz exterior.	Regulación en función de la temperatura.	NA
Control Periódico	Encendido y apagado por programación horaria.	Encendido y apagado por programación horaria.	Programación horaria.
Control de abastecimiento eléctrico	NA	NA	Control de los circuitos. eléctricos de manera remota

**C. FASE III: DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN**

Para establecer la operación del sistema de gestión se plantean los siguientes componentes:

1. Un plan de acción de mejora continua por medio de la norma ISO 50001.
2. Diagrama esquemático.
3. Descripción de escenarios.
4. Diagrama de flujo y Prototipo Final

**1. Plan de acción de mejora continua**

Este tipo de plan representa las políticas energéticas necesarias para cumplir con los

objetivos planteados, la finalidad es de mejorar el desempeño del edificio en los procesos energéticos. El objetivo sistemático de este plan es de reducir el consumo de energía por medio de procesos estandarizados según la norma ISO 50001 y el desarrollo sustentable del edificio.

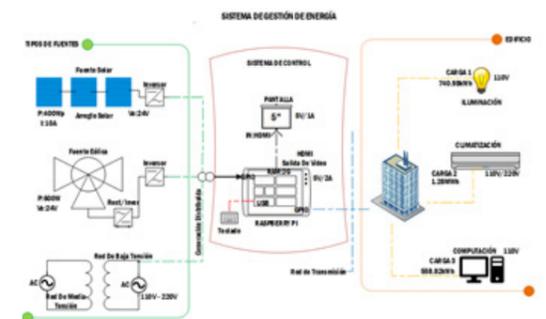
Para cumplir con el ciclo de mejora continua se establece requisitos medulares que son: planificar, hacer, verificar y actuar. En la Tabla III ciclo PHVA, se observa a detalle este tipo de requisitos.

**TABLA III. CICLO PHVA**

Edificio Administrativo	
Planificar	Se realizó una auditoría energética y se verificó el comportamiento de cada área de consumo del edificio.
Hacer	Por medio de la automatización de las áreas del edificio.
Verificar	Con la ayuda del microcomputador se monitorea los procesos de gestión de la energía
Actuar	El sistema de gestión ofrece un balance energético con la ayuda de las energías renovables y la red convencional eléctrica.

**2. Diagrama esquemático del sistema de gestión**

El sistema de gestión de energía está constituido por 3 bloques principales para su ejecución, como se muestra en la Figura 2. El primer bloque es el tipo de fuente que se va a utilizar, el segundo es el sistema de control, y el tercero el edificio de estudio.



**Fig. 2. Diagrama esquemático**

El primer bloque está compuesto por las fuentes de energía, solar, eólica y red de baja tensión. Por otro lado, el bloque de control contiene un microcomputador Raspberry, que tiene en sus terminales de entradas y salidas los puertos GPIO con los cuales se gestiona los servicios de automatización. Para visualizar las acciones de este microcomputador se

tiene una pantalla de 5" para observar los comandos ejecutados. Este controlador se conecta a la red del edificio por medio de transmisión full dúplex. El tercer bloque está distribuido en tres sistemas correspondientes a la iluminación, climatización y computación con sus respectivas demandas de carga.

En los tipos de fuente se dispone una fuente solar que está constituida por un arreglo de paneles cuyas características son las siguientes: el panel es de tipo mono-cristalino de 72 células de 158mm, voltaje de operación 24V, corriente de potencia máxima 10.02A, potencia de 400Wp, eficiencia de 20.61%, dimensiones de 1980x1002x40mm, marca Eco Green Energy y vida útil de más de 25 años. En la fuente eólica se tiene un aerogenerador de la marca ZONHAN, que proporciona una potencia de 600W, con arranque desde vientos de 2.1m/s a una velocidad de potencia de 14m/s, voltaje de operación de 24V, 3 aspas en su rotor y de material de fibra de vidrio con aluminio.

La red de baja tensión tiene un voltaje de operación de 110V/220V según sea la demanda. El sistema de control es un microcomputador de desarrollo Raspberry pi 4B, con una memoria RAM de 2gb, procesador ARM cortex-A72, frecuencia de reloj 1.5Ghz, conectividad bluetooth 5.0, Wi-fi 802.11ac y gigabit ethernet 10/100. Dispone una alimentación de 5V/2A y sus puertos de entrada y salida por medio de los pines GPIO para su conexión. Utiliza un lenguaje de programación Python para la ejecución de las líneas de comandos del prototipo. En cuanto a las cargas del edificio se tiene tres tipos que son iluminación, climatización y computación. Con un consumo mensual por sistema de 740.98kWh, 1.28MWh y 558.82kWh respectivamente.

**3. Descripción de escenarios**

Para implementar el sistema de gestión de energía se elaboran distintos algoritmos de funciones que se traducen en escenarios de control para cada tipo de evento, sean estos diarios, semanal o una fecha programada específica. Cada área del edificio esta constituido por equipos eléctricos que cumplen una determinada función. En la investigación se determina las áreas de mayor consumo. Por lo tanto, se especifica los equipos eléctricos distribuidos en las 3 áreas de mayor consumo del edificio, como se indica en la Tabla IV:

**TABLA IV. EQUIPOS ELÉCTRICOS**

Áreas de mayor consumo	Equipos eléctricos
------------------------	--------------------

Secretaría general	-Luces led
	-Aires Acondic.
	-Computadoras
	-Luces led baño
Financiero	-Luces led
	-Aire Acondic.
	-Luz led bodega
	-Luz led baño
Sala de profesores	-Luces led
	-Aire Acondic.
	-Computadoras

Para la estimación de las reglas de energía del edificio se puede observar la composición de los diferentes escenarios, constituidos por los sistemas de iluminación, climatización y computación, donde cada sistema consume una demanda específica mensual de 740.98kWh, 1.280MWh y 558.824kWh respectivamente. Cada sistema ejecuta una operación de funcionamiento según sea la necesidad del escenario que se encuentre. Por lo tanto, estos escenarios constituyen el sistema de gestión de energía del edificio con su respectiva funcionalidad y operatividad para alcanzar la eficiencia energética esperada.

Para establecer el tipo de fuente de energía que va a satisfacer la demanda de cada sistema del edificio, se estableció en territorio, según los datos técnicos predeterminados, la energía renovable que cumple con las condiciones y normas específicas en la investigación, como se observa en la Tabla V.

TABLA V. CRITERIO DE DISCRIMINACIÓN DE FUENTE

Escenario por contexto amanecer	Tipo de fuente	Criterio de discriminación de fuente	Cumplimiento con la norma ISO 50001
Sistema de iluminación	Solar	Recurso solar alto. Consumo bajo.	Aplica
Sistema de climatización	Red de baja Tensión	Flujo constante. Nivel de potencia alto consumo.	Aplica
Sistema de computación	Eólica	Recurso viento alto (mayo-diciembre). Consumo medio.	Aplica

Por lo tanto, se describe cada uno de los escenarios que forman parte de las diferentes reglas de energía del edificio, que está constituido por el consumo mensual, el nivel

de operación, la función que ejecuta y el tipo de fuente que necesita para su funcionamiento. Ahora, se desarrollan los escenarios por contexto amanecer y atardecer, por contexto sueño, y por contexto vacaciones y feriados, como se observa en la Tabla VI, Tabla VII y Tabla VIII, respectivamente.

TABLA VI. CONTEXTO AMANECER Y ATARDECER

Escenario Por Contexto Amanecer y Atardecer	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	50%	30%	50%
Función	Iluminar pasillo de ingreso: 6 lámparas LED de 50W.  Iluminar área de secretaria general: 12 luces LED de 50W.	Encender los aires acondicionado a un nivel de confort del 10% en el entorno de la secretaria general: 2.	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras en el entorno de la secretaria general: 4 PC.
Función	Iluminar la oficina de financiero: 10 luces LED de 50W.	Encender los aires acondicionados a un nivel de confort del 20% en la oficina financiera: 2.	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras de la oficina financiera: 15 PC.
Función	Iluminar el entorno de la sala de profesores y la de idiomas: 48 lámparas fluorescentes de 17W.	Encender los aires acondicionados a un nivel de confort del 25% en el entorno de la sala de profesores y de idiomas: 4	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras en el entorno de la sala de profesores y de idiomas: 18 PC.
Tipo De Fuente	Solar	Red De Baja Tensión	Eólica
Backup	Eólica	Solar + Eólica	Red De Baja Tensión
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

TABLA VII. ESCENARIO POR CONTEXTO SUEÑO

Escenario Por Contexto Sueño	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	30%	0%	0%

Función	Iluminar pasillo de ingreso: 4 lámparas LED de 50W.	-Apagar todos los sistemas de clima en todas las áreas.	-Apagar los circuitos de todas las áreas.
Función	Apagar las luces de todas las áreas.		
Tipo De Fuente	Solar	NA	NA
Backup	Eólica	NA	NA
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

TABLA VIII ESCENARIO POR CONTEXTO VACACIONES Y FERIADOS

Escenario Por Contexto Vacaciones y Feriados	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	20%	0%	0%
Función	Iluminar el pasillo general: 4 luces LED de 50W, a partir de las 19:00PM	-Apagar todos los sistemas de clima en todas las áreas.	-Apagar los circuitos de todas las áreas.
Función	Iluminar el parqueadero: 4 luces LED de 100W.		
Tipo De Fuente	Solar	NA	NA
Backup	Eólica	NA	NA
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

4. Diagrama de flujo y Prototipo Final

El proceso del escenario por contexto amanecer se ejemplifica por medio de un diagrama de

flujo como se muestra en la Figura 3.

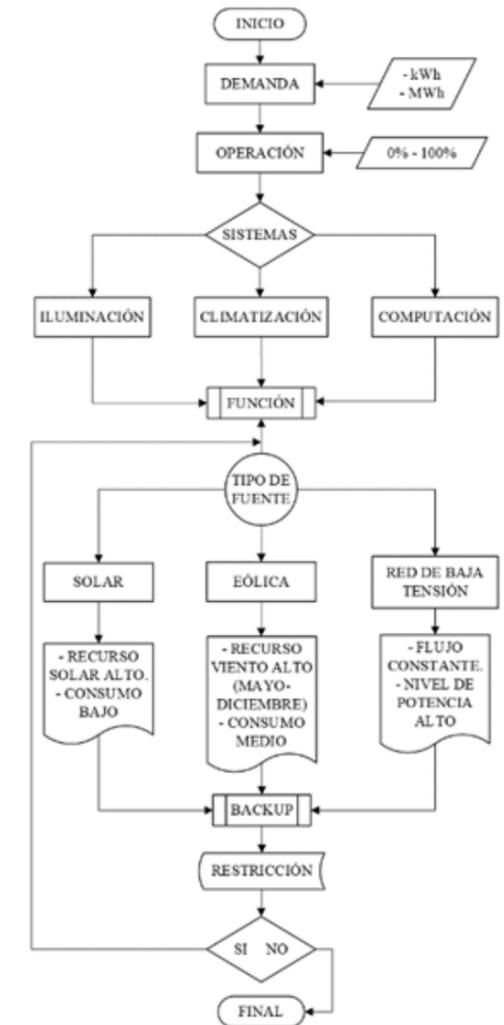


Fig. 3. Diagrama de flujo del escenario por contexto amanecer

Como primer paso se tiene el inicio del proceso, donde el escenario tiene una demanda medida en kWh y MWh. Por lo tanto, se necesita una operación del proceso que oscila de 0% al 100% según sea el caso. Se plantean los 3 sistemas que conforman el edificio: la iluminación, climatización y computación. Esto conlleva a realizar una determinada función en las áreas del edificio con la activación de órdenes específicas para cada sistema. El proceso contempla el uso de fuentes de energías renovables y convencionales según sea el caso de ejecución, si este tipo de fuente no llega a satisfacer la necesidad se tiene un respaldo que permite compensar la fuente de energía inicial con una de respaldo para operar con normalidad sin dejar de suministrar energía al edificio. En el caso de que por alguna razón

de lo planificado se presenta una restricción, el sistema debe regresar a ejecutar la función que sea necesaria para ese punto, caso contrario finaliza el proceso.

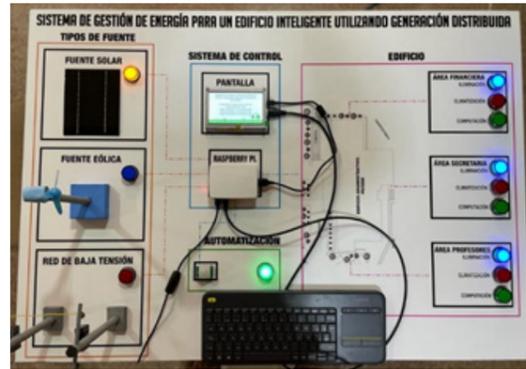


Fig. 4. Prototipo final

En la Figura 4 se puede observar el prototipo final de la investigación. El sistema está constituido por la red de baja tensión y dos tipos de fuentes renovables solar y eólica. El sistema de control por medio de un microcomputador raspberry y una pantalla para visualizar acciones. La etapa de automatización por medio de un sensor de movimiento y el edificio se representa por las tres áreas de mayor consumo, el área financiera, secretaría general y sala de profesores e idiomas, subdividida por sus sistemas de iluminación, climatización y computación.

Para este caso de ejemplo se tiene una de las reglas de energía planteada en el escenario por contexto amanecer. Se observa en la Figura 4, que el microcomputador ordena la activación de la fuente solar, siempre y cuando el sensor de movimiento detecte presencia. Por otro lado, activa los sistemas de iluminación para cada área del edificio según sea su demanda. Por lo tanto, esta acción la realiza para cada regla de energía. También, en la pantalla se puede visualizar el accionar del microcomputador, y las iteraciones que realiza por medio del sistema operativo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se pudieron determinar los resultados obtenidos para el área de mayor consumo de energía del edificio administrativo, la disminución del consumo energético y la reducción del pliego tarifario.

##### A. ÁREA DE MAYOR CONSUMO DEL EDIFICIO

Mediante la estimación teórica se determinó las tres áreas de mayor consumo del edificio administrativo, estas áreas son las de mayor consumo energético. Los equipos eléctricos que provocan este fenómeno deben implementar técnicas de ahorro de energía con ayuda de los servicios programados en el prototipo, con lo cual se logra disminuir un 50% del consumo inicial. A continuación, se presenta en la Figura 5 el resultado analítico gráfico del consumo mensual.

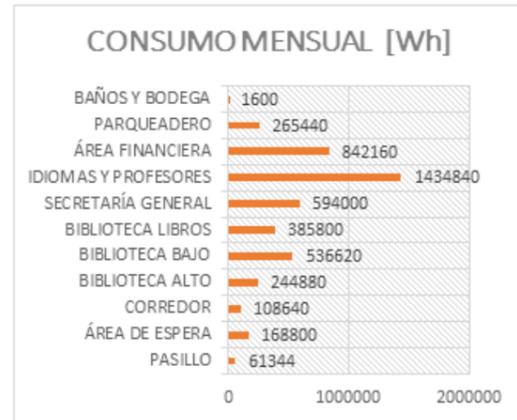


Fig. 5. Áreas de consumo mensual del edificio

En la Figura 5 se puede observar que las áreas de mayor consumo del edificio administrativo es la sala de idiomas y profesores con un consumo de 1.43MWh, seguido del área financiera con 842.16kWh y por último el área de secretaría general con 594kWh. Este tipo de consumo se produce porque estas áreas tienen una mayor cantidad de equipos eléctricos y sus consumos son elevados debido al tiempo de funcionamiento diario necesario. Según Elenkova [26], mediante el registro de los perfiles de carga por medio de la medición de la potencia de los equipos eléctricos se puede determinar en que área se encuentra el consumo máximo de energía; en este caso fue de los laboratorios. Con respecto al caso de estudio se tiene el mismo registro de cargas pero con una técnica diferente como lo es la ficha técnica de observación de cada equipo eléctrico para cada área de la edificación que determinaron que el área de mayor consumo es la sala de idiomas y profesores.

##### B. DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

En la Figura 6 se observa el consumo inicial del edificio administrativo por medio de la ficha técnica. Se puede observar que el mayor causante del consumo excesivo de dichas áreas es el sistema de climatización con un

consumo de 635kWh, seguido del sistema de iluminación con 340kWh y por último el sistema de computación con 186kWh.

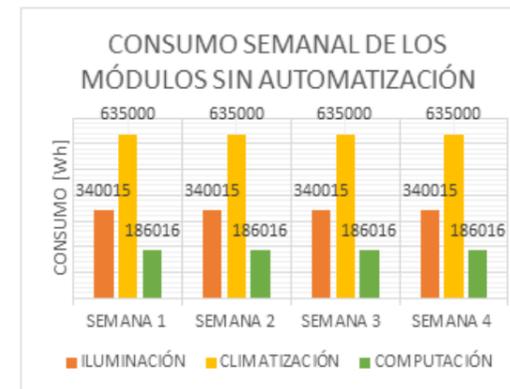


Fig. 6. Consumo inicial de energía del edificio

Como se puede ver en la Figura 6, los componentes del sistema de climatización provocan un pico elevado de potencia en la red eléctrica convencional. Por lo tanto, estos valores aportan sustancialmente al problema de consumo. El prototipo diseñado brinda una solución gestionando el consumo de la energía de manera óptima y eficiente de acuerdo al algoritmo propuesto por escenarios.

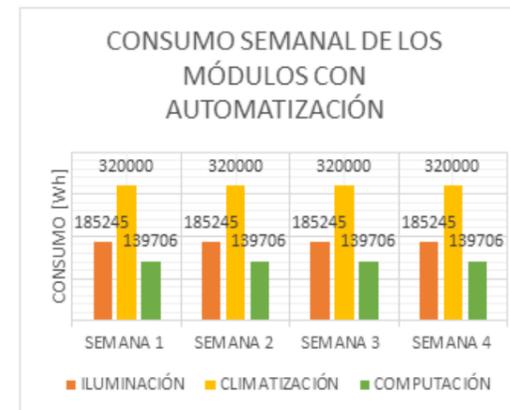


Fig. 7. Sistemas del edificio con automatización

Ahora, cuando entra en funcionamiento el sistema de automatización de las áreas del edificio con ayuda de los niveles de automatización, intervienen sensores preestablecidos para lograr disminuir los consumos de cada área como se observa en la Figura 7. El control se logra mediante el cambio del tiempo de trabajo en los equipos eléctricos, principalmente de los tres sistemas con mayor consumo excesivo.

Comparando la Figura 6 con la Figura 7, se

observa como los valores de los consumos semanales disminuyen de 635kWh a 320kWh en el sistema de climatización. Este tipo de reducción se debe gracias a la ayuda de la automatización de los equipos que permiten al usuario disponer de un nivel de confort establecidos por las operaciones de control programadas.

Analizando estos resultados se puede afirmar una reducción de consumo energético conseguida con el prototipo propuesto. De hecho, se obtiene un equilibrio energético y una eficiencia sostenible en las áreas del edificio, haciéndolo ecoamigable. Sembroiz [27] proporciona un sistema estratégico de colocación de sensores según la movilidad de los usuarios dentro de un edificio, el cual genera un ahorro energético de apenas 20% en el sistema de iluminación del mismo. Similarmente, en este trabajo, se obtiene una técnica de colocación de sensores de movimiento, pero en los ingresos de cada área del edificio. Esto permite controlar el acceso del usuario al momento de ingresar en dicha área, activando los sensores de temperatura que controlan la activación de los aires acondicionados, permitiendo una disminución del consumo energético del 50%.

##### C. REDUCCIÓN DEL PLIEGO TARIFARIO Y MENOR HUELLA ECOLÓGICA

Se ha demostrado que con la ayuda de las energías renovables, y el uso de generación distribuida se puede compensar el pliego tarifario que se paga en la factura del consumo eléctrico. Por medio de las reglas de control establecidos en la metodología por escenarios, se logró compensar el uso de la energía convencional eléctrica, para que entre en funcionamiento la renovable que no tiene ningún costo por generación. De esta manera, el sistema ayuda a disminuir la huella ecológica puesto que el uso constante de energía renovable aporta en contaminar menos el medio ambiente, así como tener menos dependencia de la red de baja tensión.

Por otro lado, este prototipo ejecuta acciones específicas según el algoritmo de control. Establece qué tipo de fuente de energía se debe usar y qué sistema debe accionar.

Adicionalmente, se ha encontrado que el respaldo de energía implementado puede ser capaz de compensar la demanda de los sistemas. Al revisar los costos asociados al consumo original del edificio y del consumo del mismo con el sistema propuesto en este trabajo, se determina que el sistema permite

obtener un ahorro económico en el consumo total del edificio.

El sistema de gestión de energía propuesto por Chauhan [28], se basa en la demanda en horas pico de consumo por medio de una simulación, obteniendo una disminución en la tarifa eléctrica mensual. En la práctica, en nuestro estudio se tiene el mismo sistema de gestión de energía pero implementado en un microcomputador tipo raspberry pi 4, que ejecuta las opciones de control en horas pico de consumo, intercalando las energías convencionales y renovables de acuerdo a la demanda, y así disminuir el pliego tarifario.

## V. CONCLUSIONES

Con esta investigación se propone un sistema de control de energía óptimo con la finalidad de reducir el consumo que generan los sistemas de iluminación y climatización en el edificio, que son los principales actores del consumo eléctrico.

En este estudio se ha determinado que las áreas de mayor consumo son la sala de idiomas y profesores con un consumo mayor de 1MWh, seguido del área financiera con un consumo mayor de 800kWh y por último el área de secretaría general con un consumo mayor de 500kWh.

El prototipo propuesto controla el sistema de gestión de energía del edificio administrativo por medio de un microcomputador raspberry. Por otro lado, con la ayuda de varios sensores electrónicos se aporta con la automatización de las áreas del edificio. De esta manera, el sistema de gestión ejecuta acciones de compensación en el escenario por contexto amanecer. En el estudio se pudo evidenciar la reducción del 50% de los consumos iniciales por parte de cada área del edificio en los 3 sistemas de análisis establecidos, como es el de iluminación, climatización y computación.

El pliego tarifario es un aspecto muy importante a la hora de establecer los consumos diarios por parte de los usuarios. Por lo tanto, por medio de la utilización de las energías renovables y del algoritmo implementado en el microcomputador, se ha conseguido reducir dicha tarifa de consumo. El prototipo implementado pudo establecer la reducción del pago en la planilla de consumo energético mensual del edificio.

El algoritmo propuesto en el estudio corresponde al escenario por contexto amanecer, el cual ejecuta reglas de control

a los distintos servicios del edificio. Por lo tanto, establece una eficiencia energética al funcionamiento de los recursos eléctricos y brinda un respaldo distribuido a los tipos de fuente que alimentan al edificio.

Este trabajo es un aporte importante en el ámbito de la generación distribuida, el cual plantea alternativas y oportunidades muy prometedoras en términos de eficiencia, sostenibilidad y estabilidad energética en los edificios, más aún considerando el creciente interés de desarrollo de la generación distribuida por parte de CELEC en el Ecuador.

## REFERENCIAS

- [1] G. Chen, F. L. Lewis, E. N. Feng, y Y. Song, «Distributed Optimal Active Power Control of Multiple Generation Systems», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, n.o 11, pp. 7079-7090, nov. 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2431631.
- [2] W. Jian y C. Dongying, «Distributed Control of Power Generation System», en 2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, Zhangjiajie, Hunan, China, mar. 2012, pp. 253-256. doi: 10.1109/CDCIEM.2012.66.
- [3] H. F. Chinchero y J. M. Alonso, «A Review on Energy Management Methodologies for LED Lighting Systems in Smart Buildings», en 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain, jun. 2020, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160796.
- [4] M. Hong, X. Yu, N.-P. Yu, y K. A. Loparo, «An Energy Scheduling Algorithm Supporting Power Quality Management in Commercial Building Microgrids», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n.o 2, pp. 1044-1056, mar. 2016, doi: 10.1109/TSG.2014.2379582.
- [5] J. Xavier Serrano Guerrero y G. Escriva, «Simulation Model for Energy Integration of Distributed Resources in Buildings», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, n.o 1, pp. 166-171, ene. 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7040644.

- [6] T. Wang, D. O'Neill, y H. Kamath, «Dynamic Control and Optimization of Distributed Energy Resources in a Microgrid», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, n.o 6, pp. 2884-2894, nov. 2015, doi: 10.1109/TSG.2015.2430286.
- [7] E. Rezaei y H. Dagdougui, «Optimal Real-Time Energy Management in Apartment Building Integrating Microgrid With Multizone HVAC Control», *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 16, n.o 11, pp. 6848-6856, nov. 2020, doi: 10.1109/TII.2020.2972803.
- [8] Q. D. La, Y. W. E. Chan, y B.-H. Soong, «Power Management of Intelligent Buildings Facilitated by Smart Grid: A Market Approach», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n.o 3, pp. 1389-1400, may 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2477852.
- [9] G. Chen, F. L. Lewis, E. N. Feng, y Y. Song, «Distributed Optimal Active Power Control of Multiple Generation Systems», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, n.o 11, pp. 7079-7090, nov. 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2431631.
- [10] Z. Kai, L. Kexue, Y. Naipeng, J. Yuhong, L. Wenjun, y Q. Lihan, «The impact of distributed generation and its parallel operation on distribution power grid», en 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Changsha, China, nov. 2015, pp. 2041-2045. doi: 10.1109/DRPT.2015.7432575.
- [11] M. Rodríguez Gámez, A. Vázquez Pérez, W. M. A. Saltos Arauz, y J. Ramos Guardarrama, «El Potencial Solar y la Generación Distribuida en la Provincia de Manabí en el Ecuador», *Rev. Investig. En Energ. Medio Ambiente Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 2, n.o 2, p. 41, dic. 2017, doi: 10.33936/riemat.v2i2.1143.
- [12] E. E. Gaona García, C. L. Rodríguez Trujillo, y H. E. Rojas Cubides, «Infraestructura De Comunicaciones En Microrredes Eléctricas», *Redes Ing.*, vol. 5, n.o 2, p. 28, nov. 2014, doi: 10.14483/2248762X.8044.
- [13] Y. Tan y Z. Wang, «Incorporating Unbalanced Operation Constraints of Three-Phase Distributed Generation», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, n.o 3, pp. 2449-2452, may 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2895559.
- [14] S. Kahrobaee, S. Asgarpoor, y W. Qiao, «Optimum Sizing of Distributed Generation and Storage Capacity in Smart Households», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, n.o 4, pp. 1791-1801, dic. 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2278783.
- [15] F. Gonzalez-Espin, V. Valdivia, D. Hogan, D. Diaz, y R. F. Foley, «Operating modes of a commercial and industrial building microgrid with electrical generation and storage», en 2014 IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Galway, Ireland, jun. 2014, pp. 1-5. doi: 10.1109/PEDG.2014.6878647.
- [16] P. De Mergelina González-Santander y I. Lemus-Aguilar, «Current Innovation Sources Driving The Spanish Electric Power Sector», *Ing. E Investig.*, vol. 41, n.o 3, p. e85377, may 2021, doi: 10.15446/ing.investig.v41n3.85377.
- [17] P. Primo y M. Chiappe, «Renewable energies as tools for rural development», *Agrociencia Urug.*, vol. 4, n.o 20, oct. 2020, doi: 10.31285/AGRO.24.119.
- [18] L. V. Bender, R. K. Leitzke, J. R. de Freitas, E. G. da Cunha, y I. T. Salamoni, «Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil», *Ambiente Construído*, vol. 20, n.o 4, pp. 489-508, dic. 2020, doi: 10.1590/s1678-86212020000400484.
- [19] J. Steyl y V. S. S. Yadavalli, «Minimising Electricity Costs By Developing An Effective Combination Of Alternative Energy Sources», *South Afr. J. Ind. Eng.*, vol. 31, n.o 4, dic. 2020, doi: 10.7166/31-4-2328.
- [20] J. D. Araya Rodríguez, J. J. Rojas, y G. Richmond-Navarro, «Integración de un sistema de almacenamiento de energía en un parque eólico, estudio de caso», *Rev. Tecnol. En Marcha*, ago. 2022, doi: 10.18845/tm.v35i7.6333.
- [21] D. Madathil et al., «An Energy Management Control Strategy for Efficient Scheduling of Domestic Appliances in Residential Buildings», en 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, India, mar. 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/i-PACT44901.2019.8960067.

- [22] Y.-H. Lo y H.-C. Yang, «Establishment of cloud energy management evaluation framework of campus buildings», en 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), Chiba, abr. 2018, pp. 78-81. doi: 10.1109/ICASI.2018.8394381.
- [23] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jorgensen, M. Othman, y J. Wang, «Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review», IEEE Access, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.
- [24] S. Chamba, W. Vargas, D. Echeverría, y J. Riofrio, «Regulación Primaria de Frecuencia Mediante Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano», Rev. Téc. Energ., vol. 19, n.o 1, pp. 13-21, jul. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.506.
- [25] L. F. Tipán y J. A. Rumipamba, «Medidor Inteligente de Energía Eléctrica utilizando la Tarjeta Electrónica Raspberry Pi», Rev. Téc. Energ., vol. 14, n.o 1, ene. 2018, doi: 10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.165.
- [26] M. Z. Elenkova, T. A. Papadopoulos, A. I. Psarra, y A. A. Chatzimichail, «A simulation platform for smart microgrids in university campuses», en 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Heraklion, ago. 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/UPEC.2017.8231998.
- [27] D. Sembroiz, D. Careglio, S. Ricciardi, y U. Fiore, «Planning and operational energy optimization solutions for smart buildings», Inf. Sci., vol. 476, pp. 439-452, feb. 2019, doi: 10.1016/j.ins.2018.06.003.
- [28] R. K. Chauhan, B. S. Rajpurohit, L. Wang, F. M. G. Longatt, y S. N. Singh, «Real Time Energy Management System for Smart Buildings to Minimize the Electricity Bill», International J. Emerg. Electr. Power Syst., vol. 18, n.o 3, p. 15, 2017, doi: 10.1515/ijeeps-2016-0238.

# AUTHORS



## Cristhian Bastidas

Cristhian H. Bastidas Paz, graduado en Ingeniería Electrónica Digital y Telecomunicaciones por la Universidad Tecnológica Israel (2014), y Máster en Electricidad Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Esmeraldas (2022). Investigador en los sistemas de Televisión de última generación. Actualmente propietario del servicio técnico Audhiovision en la ciudad de Esmeraldas.



## Héctor Chinchero

Héctor F. Chinchero, graduado en Ingeniería Electrónica, Automatización y Control por la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador (ESPE) en 2003 y Máster en Domótica y Hogar Digital por la Universidad Politécnica de Madrid en 2005, España. Realizó el Doctorado en Energía y Control de Procesos en la Universidad de Oviedo, España. Actualmente es investigador Post Doctoral en la Universidad de Oviedo dentro del Grupo de Investigación en Conversión Eficiente de Energía, Electrónica Industrial e Iluminación (CE3I2). También es director de I+D+i en CINTELAM Campos Inteligentes de América Cia. Ltda y Docente del Programa de Maestría en Electricidad de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE Sede Esmeraldas. Sus áreas de interés en investigación son sistemas de conversión de energía, sistemas de iluminación LED, domótica, inmótica y entornos inteligentes.

ARTICLE HISTORY

Received 24 September 2022  
Accepted 26 October 2022

**Brian Jordano Cagua Gómez**  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
Universidad de los Andes  
Santiago, Chile  
bjcagua@miuandes.cl  
ORCID: 0000-0003-2530-8549

**Julia Edith Pilatasig Caizaguano**  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la  
Construcción  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí, Ecuador  
jepilatasig3@espe.edu.ec  
ORCID: 0000-0001-5760-2932

**Roberto Rodrigo Aguiar Falconí**  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la  
Construcción  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí, Ecuador  
rraguiar@espe.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-2771-1721

## Análisis Estático No Lineal de Pórticos de Acero empleando OpenSees y CEINCI LAB

### *Nonlinear Static Analysis of Steel Frames using OpenSees and CEINCI LAB*

## Análisis Estático No Lineal de Pórticos de Acero empleando OpenSees y CEINCI LAB

### Nonlinear Static Analysis of Steel Frames using OpenSees and CEINCI LAB

**Brian Jordano Cagua Gómez**

Facultad de Ingeniería y  
Ciencias Aplicadas  
Universidad de los Andes  
Santiago, Chile  
bjcagua@miuandes.cl  
ORCID: 0000-0003-2530-8549

**Julia Edith Pilatasig Caizaguano**

Departamento de Ciencias de la Tierra  
y la Construcción  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí, Ecuador  
jepilatasig3@espe.edu.ec  
ORCID: 0000-0001-5760-2932

**Roberto Rodrigo Aguiar Falconi**

Departamento de Ciencias de la  
Tierra y la Construcción  
Universidad de las Fuerzas Armadas  
Sangolquí, Ecuador  
rraguiar@espe.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-2771-1721

**Resumen**— El análisis no lineal estático, denominado Pushover, consiste en la aplicación de fuerzas laterales incrementales a una estructura para visualizar su probable desempeño ante acciones sísmicas, esto es importante en países como Ecuador donde se tiene una alta sismicidad. En este artículo se describen las nuevas funciones de CEINCI LAB para el análisis Pushover de pórticos de acero. El Sistema Computacional CEINCI LAB corresponde a una colección de funciones para el análisis sísmico-estructural. Desde el año 2019 se han desarrollado funciones para facilitar el ingreso de datos y la presentación de resultados en los análisis no lineales de estructuras empleando OpenSees. La motivación de este trabajo es presentar nuevas funciones que permiten obtener animaciones del análisis y apreciar el nivel de daño en los elementos estructurales mediante un código de colores. En consecuencia, se facilita la interpretación de los resultados por los usuarios del programa. Además, mediante estas funciones se genera un archivo editable con la información del modelo estructural, tipo de análisis, resultados y otros parámetros de interés que pueden ser modificados en función de las necesidades particulares del usuario. Se ilustra el procedimiento de modelado, con énfasis en las funciones computacionales desarrolladas y su funcionalidad.

**Palabras clave**— CEINCI LAB, OpenSees, Análisis No Lineal Estático, Pushover, Pórticos de acero, animaciones

**Abstract**— Static nonlinear analysis, called Pushover, consists of applying incremental lateral forces to a structure to visualize its probable performance under seismic actions, this is important in countries such as Ecuador where there is high seismicity. This paper describes the new CEINCI LAB functions for Pushover analysis of steel frames. The CEINCI LAB Computational System corresponds to a collection of functions for seismic-structural analysis. Since 2019, functions have been developed to facilitate data input and presentation of results in nonlinear analysis of structures using OpenSees. The motivation of this work is to present new functions that allow to obtain animations of the analysis and to appreciate the level of damage in the structural elements by means of a color code. Consequently, the interpretation of the results by the users of the program is facilitated. In addition, these functions generate an editable file with information on the structural model, type of analysis, results and other parameters of interest that can be modified according to the user's particular needs. The modeling procedure is illustrated, with emphasis on the

developed computational functions and their functionality.

**Keywords**— CEINCI LAB, OpenSees, Nonlinear Static Analysis, Pushover, Steel Frames, animations

## I. INTRODUCCIÓN

Las metodologías de análisis estructural convencional corresponden a análisis lineales estáticos o modal espectral [1], esto se realiza debido a las ventajas que ofrece, entre ellas: facilidad de modelación con los programas comerciales actuales, ambientes virtuales amigables con el usuario, no requieren de conocimientos de programación, rapidez para obtener resultados, entre otras. Las normativas de diseño sismo resistente permiten su aplicación y mediante la filosofía de diseño por capacidad se espera tener estructuras capaces de alcanzar un desempeño estructural de seguridad de vida para el sismo de diseño [2]. No obstante, la práctica de ingeniería estructural está avanzando a realizar análisis no lineales, con el objetivo de comprender el desempeño estructural para diferentes niveles de aceleraciones sísmicas [3]. Un análisis simplificado que permite cumplir este objetivo es el análisis no lineal estático, conocido como Pushover [4]. Sin embargo, realizar este tipo de análisis requiere de un mayor tiempo computacional de procesamiento de información, además requiere de un mayor nivel de conocimientos y tiempo de modelación por los ingenieros.

Por otra parte, existen algunos programas computacionales comerciales que permiten realizar análisis no lineal estático, entre ellos: SAP2000 [5], ETABS [6], SeismoStruct [7], MIDA [8]. Una de las principales limitaciones para su utilización consiste en el costo de las licencias. Por otra parte, existen programas como OpenSees, de código abierto, que tiene un gran potencial para análisis no lineal de problemas geotécnicos-estructurales [9]. Sin embargo, una desventaja es que se requiere conocimientos de programación, además el ingreso de datos y presentación de resultados no es fácil para los usuarios. Si bien existen algunos pre y post procesadores para OpenSees que facilitan la modelación y análisis no lineal de estructuras, no obstante, generalmente estos programas se convierten en una "caja negra" que limita el entendimiento de los procedimientos aplicados. En consecuencia, se han desarrollado nuevas funciones para el Sistema de Computación CEINCI LAB que permiten generar el modelo estructural de manera transparente y obtener un archivo editable por el usuario en caso de que requiera

ajustes adicionales.

El Sistema de Computación CEINCI LAB es un conjunto de funciones, que constantemente se están actualizando y generando nuevas contribuciones [10]. Con las funciones de CEINCI LAB se puede desarrollar análisis lineal y no lineal de estructuras, resolver problemas de dinámica e ingeniería sísmica, encontrar espectros de respuesta, entre otras. Las funciones de CEINCI LAB se pueden ejecutar mediante MatLab u Octave [11, 12].

El acoplamiento de funciones de CEINCI LAB para la generación del modelo y posteriormente el procesamiento de los resultados obtenidos de OpenSees presenta ventajas de tiempo de modelación, simplificación de problemas de programación, facilidad de utilización para nuevos usuarios y consiste en una manera sencilla de fomentar la utilización de OpenSees por estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Civil ya que se pueden concentrar en la teoría y entendimiento de resultados sin necesidad de realizar la programación completa de los modelos.

Las nuevas funciones de CEINCI LAB permiten obtener animaciones de los resultados del análisis no lineal estático, se visualiza la deformación del pórtico y la secuencia de daño en los extremos de los elementos mediante colores. Asimismo, se presenta la animación de la relación Momento vs Rotación para cualquier elemento del pórtico. La aplicación de estas funciones se realiza para modelos de pórticos de acero, en los cuales se considera la no linealidad física de los materiales con plasticidad concentrada, además se emplea no linealidad geométrica "P-Delta" para las columnas de los pórticos.

## II. METODOLOGÍA

### A. FUNCIONES DE CEINCI LAB

Las primeras funciones de CEINCI LAB con acoplamiento de OpenSees para análisis no lineal de pórticos de acero se presentan en [13, 14]. La secuencia de datos y funciones para realizar el análisis con CEINCI LAB y OpenSees se indican en el diagrama de flujo de la Fig. 1, que corresponde al procedimiento empleado en [15]. Una aplicación paso a paso de este procedimiento con las funciones originales de CEINCI LAB se presenta en [13]. A manera de resumen se indica que: inicialmente se debe definir variables de tipo "global", además se debe ingresar la geometría del pórtico mediante los vectores  $sv$ ,  $sp$  correspondientes a las medidas de los vanos y las alturas

This paper is an extended version of Cagua et al. [13, 18-20], Aguiar et al. [14, 25, 26], and Pilatasig [15], which summarizes the work done by the authors within the research topic. From these works, some tables and images have been used since they describe basic functions that are part of the theoretical framework. In this paper, the authors introduce the non-linear analysis of steel frames with diagonal steel support, along with the procedure to understand the new computer functions implemented in CEINCI LAB to aid the analysis and design of different applications of structural engineering.

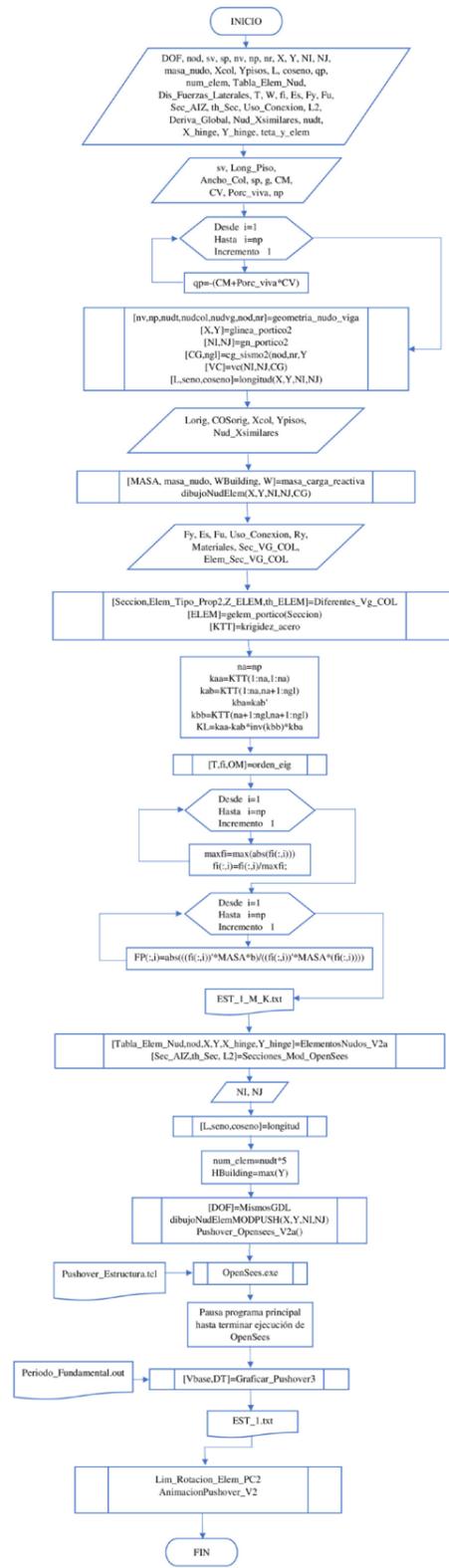


Fig 1. Diagrama de flujo para el análisis no lineal estático [15]

de entrepiso. También se debe especificar las cargas muertas y vivas uniformemente distribuidas en las vigas para cada piso, esta información corresponde a los vectores *CM* y *CV*. Asimismo, se ingresa el porcentaje de carga viva que se debe asignar para la carga sísmica reactiva con el vector *Porc\_viva*. A continuación, se debe definir las propiedades de los materiales y las secciones de las columnas y vigas, similar a lo ejemplificado en [14], además se requiere ejecutar una serie de funciones que permiten calcular los parámetros necesarios para el modelo. Se debe hacer notar que, este artículo es una versión extendida de trabajos anteriores, previamente citados, donde se continúa mejorando las funciones para analizar pórticos de acero con diagonales concéntricas y excéntricas, empleando el motor de cálculo de OpenSees y generando un pre y post procesamiento en CEINCI LAB.

La primera nueva función de CEINCI LAB se denomina **Pushover\_Opensees\_V2a**, esta función utiliza las variables globales calculadas y definidas previamente para generar un archivo TCL con el modelo del pórtico para el análisis Pushover en OpenSees, como se indica en la Fig. 2.

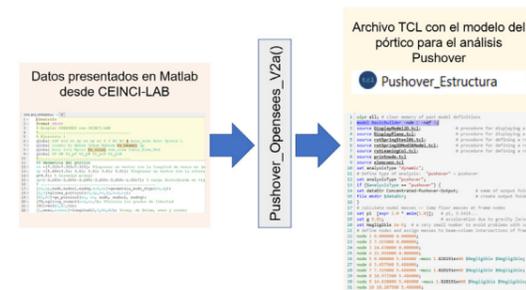


Fig. 2 Esquema de la función Pushover\_Opensees\_V2a.

El archivo *Pushover\_Estructura.tcl* se genera de manera automática en la carpeta que se almacenan las funciones de CEINCI LAB y se requiere de OpenSees para su ejecución. Posteriormente con la función **Secuencia\_Rotulas\_Pushover** se puede obtener una animación con la progresiva formación de rótulas plásticas e identificación de daño en los elementos. Finalmente, la función **AnimacionPushover\_V2** permite obtener la deformación del pórtico de análisis con la secuencia de rótulas plásticas y para la estructura se obtiene la curva de capacidad (cortante en la base versus el desplazamiento en el tope).

**B. MODELO INELÁSTICO**

Para las consideraciones de la no linealidad física o del material se emplea el modelo con zona de plasticidad concentrada. Para este objetivo a cada barra, ya sea columna o viga, se la divide en 5 elementos. En las barras se asigna propiedades de elemento rígido en los extremos, seguido de modelos no lineales en elementos de longitud cero y en el centro se asigna propiedades elásticas.

Se emplea el modelo **Steel01** para simular la no linealidad de columnas correspondiente a un modelo elastoplástico, además se emplea el modelo **Ibarra-Medina-Krawinkler** para vigas, el cual, es un modelo que tiene relación con la degradación de la resistencia del material, no obstante, en este caso debido a ser un análisis Pushover monotónico no se considera el efecto cíclico; para la parte del elemento que presenta un comportamiento elástico y los elementos rígidos se le asigna el material **Elastic beam column**, como se indica en la Fig. 3.

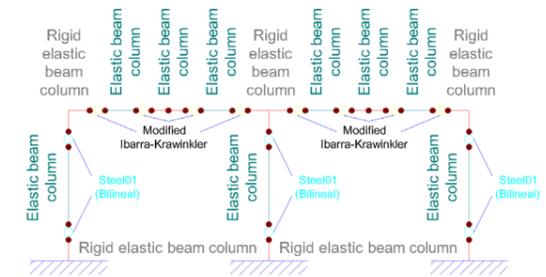


Fig 3. Modelo de análisis en OpenSees [13].

Para la definición de las zonas de plasticidad concentrada se toma como referencia las recomendaciones de [16], es decir que para las vigas la zona de plasticidad concentrada se coloca en las caras de la columna y para las columnas a una distancia de la mitad del ancho de la viga, como se muestra en la Fig. 4.

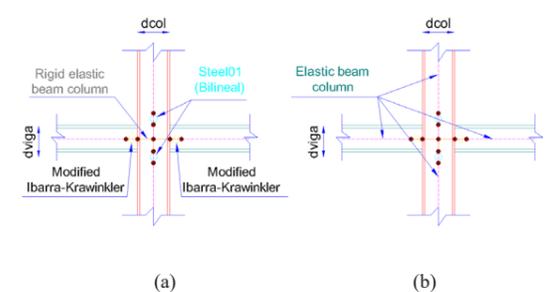


Fig 4. Propiedades de los materiales: a) Zona de plasticidad concentrada, zonas rígidas (vigas y columnas); b) Elementos elásticos [13].

Se emplea modelos de transformación

geométrica correspondiente a Lineal para vigas y P-Delta para columnas, esto permite considerar el efecto de la excentricidad de las cargas en las columnas debido a la deformación lateral del pórtico.

**C. DEFINICIÓN DE LA MASA**

La respuesta del análisis estructural depende de la matriz de masa. Para efectos de este estudio, se considera masas concentradas. Esto implica, que las masas y cargas se asignan en los nudos.

**D. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PUSHOVER**

El análisis Pushover permite visualizar el comportamiento de una estructura sometida a fuerzas laterales, que representan las fuerzas debido a un sismo. Su principio consiste en aplicar fuerzas laterales de manera incremental a una estructura, hasta alcanzar un desplazamiento objetivo, o su colapso. En cada etapa de análisis se extrae el cortante en la base y el desplazamiento en el tope y con ello se construye la curva de capacidad de la estructura (véase Fig. 5).

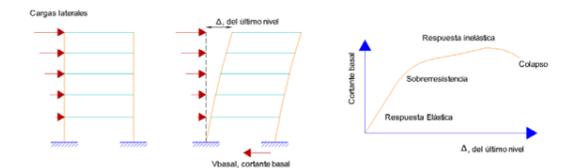


Fig 5. Análisis Pushover [13].

En estas funciones, el usuario puede determinar el patrón de fuerzas laterales mediante la variable **Dis\_Fuerzas\_Laterales**, siendo una distribución en base al primer modo cuando se asigna 1, al tener el valor de 2 se considera una distribución en función de las recomendaciones de [17], triangular con 3 o una distribución uniforme de fuerzas laterales con la asignación de 4 para esta variable.

**E. FUNCIONES PARA INCLUIR DIAGONALES DE ACERO**

Otros sistemas estructurales empleados en la práctica profesional corresponden a pórticos con arriostramientos o diagonales, tanto concéntricas como excéntricas.

Las funciones de CEINCI LAB para incorporar diagonales de acero, realizar el análisis y el diseño de estos sistemas estructurales se detallan en [18 y 19]. Estas funciones permiten

simular pórticos mediante análisis lineales, que pueden ser estáticos equivalentes o modal espectral, incorporar las acciones de carga viva, muerta, sismo y las combinaciones de cargas descritas en [2] para obtener la demanda sobre los elementos. Por otro lado, se puede calcular la capacidad de los elementos estructurales y obtener relaciones de demanda versus capacidad (D/C) y con ello verificar el diseño (D/C<1). También es posible realizar los análisis sísmicos y determinar desplazamientos, fuerzas y derivas laterales.

Las diagonales concéntricas suelen utilizarse con configuraciones en V invertida (tipo Chevrón) o en X de múltiples pisos. Los modelos de análisis no lineal implementados en estas funciones se presentan en la Fig. 6. Las diagonales se modelan con elementos tipo armadura (Truss), con comportamiento bilineal (Steel02).

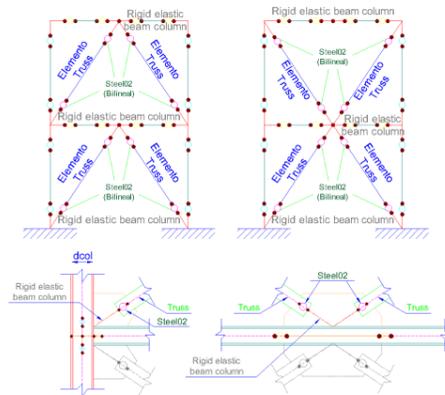


Fig 6. Modelos no lineales para pórticos de acero con diagonales concéntricas [13].

En pórticos con diagonales excéntricas, comúnmente la excentricidad entre las diagonales suele ser en las vigas, ya sea lateral o central, al elemento eslabón que queda entre las diagonales se denomina elemento de enlace (Link Element en inglés). Las funciones desarrolladas solo consideran los elementos de enlace en el tramo central de las vigas. Además, su comportamiento no lineal depende de la longitud del elemento para definir un comportamiento a corte o flexión, como se indica en las normativas de diseño estructural. El modelo empleado se indica en la Fig. 7, donde el elemento de enlace considera plasticidad distribuida, es decir, se divide al elemento en secciones y a su vez las secciones en fibras que tienen un comportamiento uniaxial no lineal, en las funciones se tiene programado el material Steel02.

Para los análisis no lineales se tiene funciones

similares a las descritas en puntos anteriores, la programación se realiza para pre y post procesar los análisis en OpenSees. En todos los casos se genera archivos editables Tcl de los modelos, esto permite la revisión de los parámetros de simulación y de ser necesario se puede modificar o adaptar para otras investigaciones.

En el caso de estructuras con diagonales concéntricas se crea las funciones **Pushover\_Opensees\_Diag\_V2a()**, **Lim\_Rotacion\_Elem\_PC2**. Para pórticos con diagonales excéntricas se tienen funciones que depende de la conexión de la diagonal **Pushover\_Opensees\_Diag\_V3a()** cuando es articulada la diagonal en los extremos y **Pushover\_Opensees\_Diag\_V3a\_EMP\_LINK()** cuando se restringe la rotación. Otras funciones complementarias son **Lim\_Rotacion\_Elem\_PC2\_LINK**, **Secuencia\_Rotulas\_Pushover\_LINK** y **AnimacionPushover\_V2\_LINK**. Los archivos Tcl generados por estas funciones tienen por nombre *Pushover\_Estructura\_Ref.tcl* y contiene información editable.

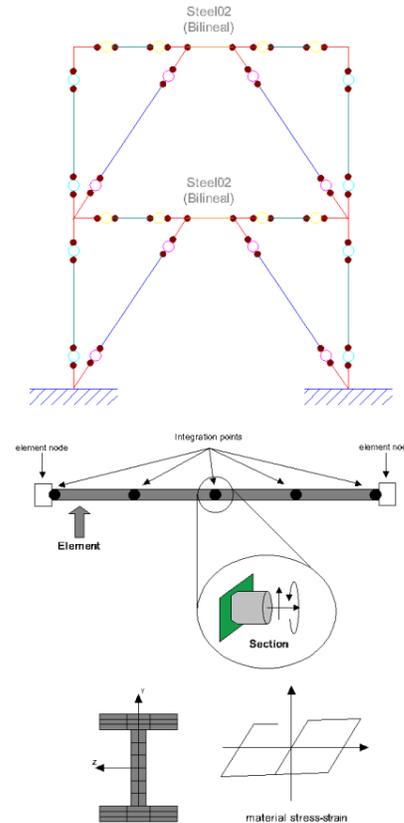


Fig 7. Modelos no lineales para pórticos de acero con diagonales excéntricas [13].

### III. APLICACIÓN

#### A. PÓRTICO DE ANÁLISIS

Para ilustrar el análisis se escoge el pórtico de acero de 4 pisos y 3 vanos diseñado en [20]. Se asume como material el acero ASTM A36, con las propiedades de:  $F_y = 36$  ksi,  $F_u = 58$  ksi y  $E = 29000$  Ksi. Las secciones de los elementos, columnas y vigas, se definen en la Fig. 8.

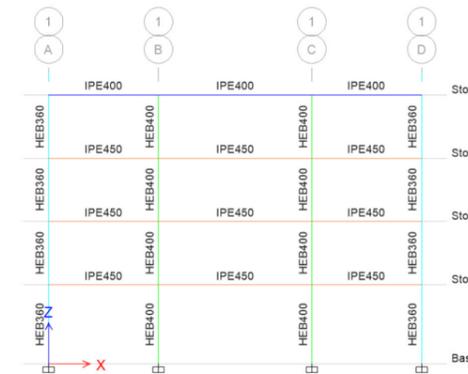


Fig 8. Pórtico en análisis [20].

Las fuerzas sísmicas se determinan mediante el espectro de diseño para Quito en suelo tipo D, con los parámetros determinados en [2] y detallados en la Tabla 1.

TABLA 1. Parámetros de diseño sísmico

Parámetro	Variable	Valor
Zona Sísmica	V	-
Factor de aceleración en la zona	Z	0.4
Tipo del perfil del suelo	D	-
Factor de sitio Fa	Fa	1.2
Factor de sitio Fd	Fd	1.19
Factor comportamiento inelás. suelo	Fs	1.28
Factor asociado al periodo de retorno	r	1
Relación de amplificación espectral	n	2.48
Aceleración en $T=T_0$	$S_a [g]$	1.19
Periodo Límite en $T=T_0$	$T_0 [s]$	0.127
Periodo Límite en $T=T_c$	$T_c [s]$	0.698
Periodo Límite en $T=T_L$	$T_L [s]$	2.856

El espectro de diseño elástico se reduce para un factor de fuerzas sísmicas de 6, como se muestra en la Fig. 9.

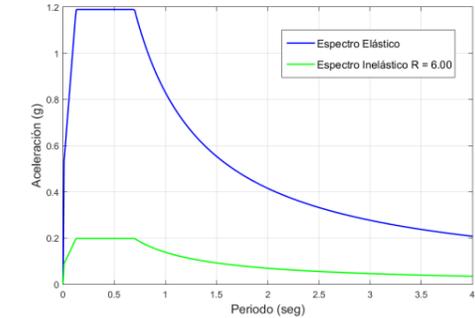


Fig 9. Espectro de diseño [20].

#### B. ESQUEMA DE INGRESO DE DATOS Y FUNCIONES DE CEINCI LAB

En la Fig. 10 se presenta un fragmento del programa principal, se aprecia el ingreso de datos mediante vectores.

```

16 - global DOF nod sv sp nv np nr X Y NI NJ masa_nudo Xcol Ypisos L
17 - global coseno qp num_elem Tabla_Elem_Nud Dis_Fuerzas_Laterales T W fi
18 - global Es Fy Fu Sec_AIS th_Sec Uso_Conexion L2 Deriva_Global Nud_Xsimilares
19 - global mudt X_hinge T_hinge teta_y_elem
20 - .....
21 - !! Geometria del pórtico
22 - sv=[5.00;7.00;5.00]; !Ingresar un vector con la longitud de vanos en (metros)
23 - Long_Piso=5*2+7.0; ! Longitud (m)
24 - Ancho_Col=6; ! Ancho colaborante
25 - sp=[3.6;2.88;2.88;2.88]; !Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
26 - g=9.81; ! Gravedad m/seg2
27 - CM=[0.5;0.5;0.5;0.35]*Ancho_Col; ! Carga muerta T/m en cada piso
28 - cv=[0.25;0.25;0.25;0.1]*Ancho_Col; ! Carga viva T/m en cada piso
    
```

Fig 10. Fragmento del programa principal.

El programa principal se identifica mediante el nombre **a\_Push\_Edif\_4P\_3V\_SMF.m** y se puede encontrar su codificación y las rutinas necesarias para el análisis en [21], específicamente dando clic en la pestaña de "Vinculo con OpenSees", como se muestra en la Fig. 11.

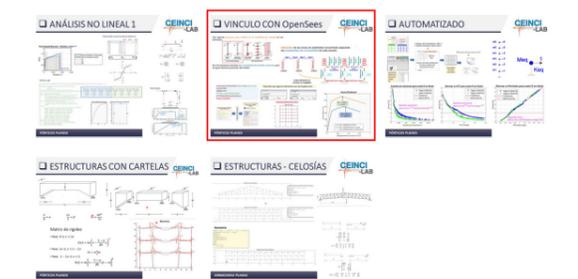


Fig 11. Funciones de CEINCI LAB disponibles para descarga.

Con la función *dibujoNudElem* se obtiene la Fig. 12, en la cual se tiene la numeración de nudos y elementos, los elementos se enumeran empezando desde las columnas de primer piso hacia la derecha y continuando en los pisos superiores, posteriormente se enumeran las vigas desde el piso 1 hasta el piso final con la

misma secuencia que las columnas.

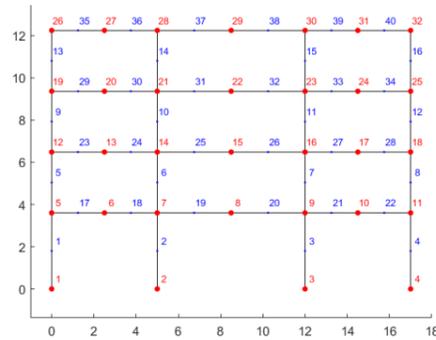


Fig 12. Numeración de elementos mediante CEINCI LAB.

La función **Pushover\_Opensees\_V2a** se diferencia de la función original **Pushover\_Opensees** en los resultados que se obtienen del análisis, en la nueva función se extraen las fuerzas, momentos y deformaciones para cada elemento en cada instante de análisis, estos resultados se almacenan en una carpeta denominada **Res\_Plast\_Conc** que se genera de manera automática. Además, se almacenan las posiciones de los nudos de la estructura para que posteriormente se tenga la animación de la deformación lateral.

Un primer resultado de interés es la curva de capacidad de la estructura como se muestra en la Fig. 13, esto se genera mediante la función **Graficar\_Pushover3**.

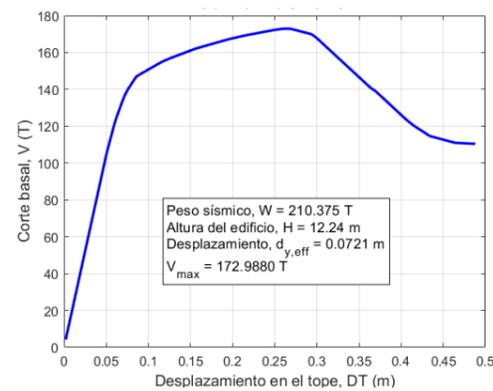


Fig 13. Curva de Capacidad de la estructura.

Las nuevas funciones de CEINCI LAB se detallan en la Fig. 14, en la cual se presenta un fragmento final del código principal de análisis.

```
%% Identificar como cada elemento pasa de un estado limite a otro IO / LS / CP
[teta_i, Lim_Rot_i, Lim_Rot_j, Sec_Rotulas, Lim_Rot_Elem_i]=Lim_Rotacion_Elem_PC2(Fy, Es,
nuds, th_Sec, teta_y_elem, DT, Vbase);
Vy=max(0,6*max(Vbase),Sec_Rotulas(1,5));
tetaDisp_cm = DCM(Fundamental,1,19,'0',Vy,Wbuilding,np,'ALP','SMF');

%%
elem_dibujar_MR=[22:1]; % [num elem principal // 0 = inicio 1 = final]
[Num_RP_El]=Secuencia_Rotulas_Pushover(torig, COSorig, X_hinge, Y_hinge, N3, L, Lim_Rot_i,
Lim_Rot_j,DT,Vbase, Sec_Rotulas, elem_dibujar_MR);

%% Animar Pushover
AnimacionPushover_V2(X_hinge,Y_hinge, NI, N3, L, Lim_Rot_i, Lim_Rot_j,DT,Vbase, Sec_Rotulas)
```

Fig 14. Fragmento final del programa principal.

Los estados límites de los elementos, con códigos de colores azul, verde, amarillo y rojo, representan la condición de rotación en la que se encuentran las secciones de los elementos considerando un comportamiento no lineal como se describe en la Fig. 15. El azul representa una rotación elástica hasta una condición de inmediatamente ocupacional (EL-IO), el verde es hasta seguridad de vida (IO-LS), el amarillo representa desde el nivel anterior hasta prevención de colapso (LS-CP) y el rojo es pasado el límite de prevención de colapso (>CP).

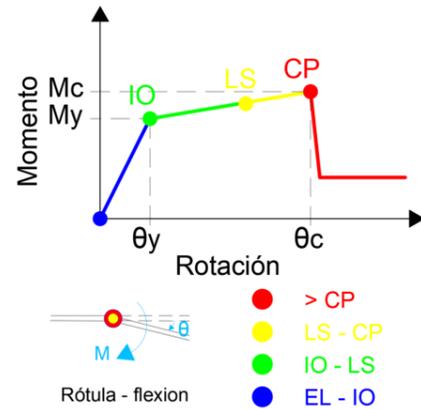


Fig 15. Estados límites de los elementos estructurales.

La función **Lim\_Rotacion\_Elem\_PC2** requiere de datos el esfuerzo de fluencia del acero ( $F_y$ ), módulo de elasticidad ( $E_s$ ), número de elementos ( $nuds$ ), la matriz  $th\_Sec$  que contiene información de las rotaciones (rad), entre ellas:

- $th\_pP$ : es la rotación en el rango de fluencia en el caso positivo;
- $th\_pN$ : es la rotación en el rango de fluencia en el caso negativo;
- $th\_pcP$ : es la rotación en el rango de post fluencia en el caso positivo (rad);
- $th\_pcN$ : es la rotación en el rango de post fluencia en el caso negativo (rad).

Otros datos son las rotaciones de fluencia ( $teta\_y\_elem$ ), el desplazamiento en el tope

de la estructura ( $DT$ ) y el cortante en la base ( $Vbase$ ).

Los resultados de esta función son las matrices  $teta\_i$  que contiene la rotación de fluencia, la rotación última e inelástica de cada elemento. Cada fila de las matrices  $Lim\_Rot\_i$  y  $Lim\_Rot\_j$  contienen información del estado límite de rotaciones para cada paso de análisis del Pushover (1 EL -IO // 2 IO -LS // 3 LS -CP // 4 CP - NC) y en las columnas de estas matrices se almacenan la información correspondiente a un elemento "k", "k+1", ... "n", esta información para el extremo inicial "i" y final "j" donde se asignó las propiedades de plasticidad concentrada.

También se tiene como resultado la matriz con la secuencia de rótulas plásticas y daño en los elementos ( $Sec\_Rotulas$ ). La primera columna define el número de elemento, seguido de 0 o 1 para distinguir si el daño es al inicio o al final del elemento respectivamente, el estado límite con el código descrito anteriormente. En la columna 4 se tiene el desplazamiento en el tope y la columna 5 corresponde al cortante basal asociado a ese nivel de daño del elemento. Finalmente, se tiene la matriz  $Lim\_Rot\_Elem\_i$  con información de las rotaciones en radianes que definen los límites de daño (IO, LS, CP) para cada elemento.

Las funciones de CEINCI LAB presentan un encabezado donde se tiene el detalle de los datos requeridos y resultados esperados por cada rutina. En la Fig. 16 se presenta un fragmento inicial de la función **Lim\_Rotacion\_Elem\_PC2**. De manera similar, en el programa principal se tiene comentarios a las líneas de códigos que sirven de apoyo para los nuevos usuarios de CEINCI LAB.

```
%_Push_Elem_PC2.m Lim_Rotacion_Elem_PC2.m
1 function [teta_i, Lim_Rot_i, Lim_Rot_j, Sec_Rotulas, Lim_Rot_Elem_i]=Lim_Rotacion_Elem_PC2(Fy,
2
3
4 % Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
5 % Maestría de Ingeniería Civil
6
7 % Analisis sísmico de porticos
8 % Desarrollado por: Ing. Brian Cagua, MDO. (4/1/2021)
9 % Tutor de tesis: Dr. Roberto Aguiar.
10 % Revisión: Ing. Julia Pilatasig
11 % Parte de la tesis de maestría ESPE.
12
13 % Datos de entrada:
14 % Fy: Esfuerzo de fluencia, T/m2
15 % Es: Módulo de elasticidad, T/m2
16 % nuds: numero total de elementos principales *(sin dividir)
17 % th_Sec, Rotacion = [th_pP th_pN th_pcP th_pcN] modelo de CEINCI-LAB, rad
18 % teta_y_elem: Rotacion de fluencia de cada elemento
19 % DT: Desplazamiento en el tope de la estructura *Pushover* (m)
20 % Vbase Cortante en la base de la estructura *Pushover* (T)
21
22 % Datos de salida:
23
24 % Lim_Rot_i: Cada fila corresponde a una etapa del Pushover y cada columna
25 % a la plasticidad concentrada un elemento en el nudo i.
26 % 1 EL -IO // 2 IO -LS // 3 LS -CP // 4 CP - NC
27 % Lim_Rot_j: Similar al anterior en el nudo j de cada elemento.
28 % teta_i = [teta_i // teta_j // teta_i-teta_j]
29 % Sec_Rotulas = [Elemento // 0 inicio 1 final elemento // Estado Limite // DT // Vbase] :
30 % Lim_Rot_Elem_i(i,1:3)=[Lim_IO, Lim_LS, Lim_CP] de cada elemento:
```

Fig 16. Fragmento inicial con el encabezado de la función **Lim\_Rotacion\_Elem\_PC2**.

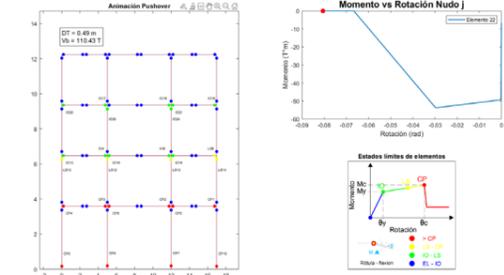


Fig 17. Secuencia de daño en los elementos estructurales.

Mediante la función **Secuencia\_Rotulas\_Pushover** se obtiene la animación de la secuencia de niveles de daño en las zonas de plasticidad concentrada que se presenta en la Fig. 17. En la parte superior derecha del gráfico se presenta un diagrama Momento vs Rotación para un elemento en el nudo inicial o final (i o j), el elemento es determinado por el usuario en el vector  $elem\_dibujar\_MR$  que tiene 2 filas, la primera es el elemento acorde a la numeración presentada en la Fig. 12 y la segunda fila puede ser 0 o 1 para extremo inicial o final del elemento. Un video de esta animación se encuentra en [22].

Finalmente, la función **AnimacionPushover\_V2** se emplea para obtener una animación de la deformación de la estructura al aplicar cargas laterales incrementales (Pushover) y esto permite visualizar el comportamiento de los elementos de la estructura y su curva de capacidad, como se presenta en la Fig. 18. Un video de esta animación se almacena en [23].

La aplicación para el caso con arriostramientos no se presenta, no obstante, la secuencia de funciones y presentación de resultados es similar al ejemplificado.

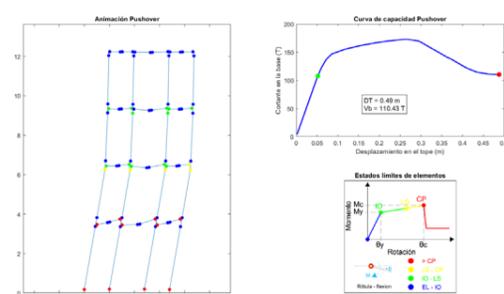


Fig 18. Animación del análisis Pushover.

Las funciones de CEINCI LAB permiten el desarrollo de investigaciones sobre el desempeño de sistemas estructurales, esto contribuye a la resiliencia de las ciudades, se puede exponer el caso de [24, 25]. Además,

el Sistema de Computación CEINCI LAB fomenta la aplicación de código libre, el interés de la programación y su vinculación con la aplicación profesional de ingeniería sísmica-estructural y han sido implementadas como una herramienta de enseñanza-aprendizaje, como se muestra en [26].

#### IV. CONCLUSIONES

Se presentó funciones de CEINCI LAB para el análisis estático no lineal de pórticos de acero, asimismo se indicó como los lectores pueden obtener estos programas. Finalmente, para ilustrar la aplicación de estas funciones se realizó el análisis Pushover para un pórtico de acero de 3 vanos y 4 pisos.

Con la programación de estas nuevas funciones de CEINCI LAB se facilita la visualización de los resultados del análisis Pushover para pórticos de acero. En consecuencia, los usuarios pueden concentrar sus esfuerzos en entender los modelos utilizados, aplicar estas metodologías de análisis para evaluar el posible desempeño de las estructuras, mejorar los diseños con las respuestas obtenidas y contribuir a la resiliencia de las ciudades.

Los usuarios de CEINCI LAB pueden modificar la programación de estas funciones y generar nuevas contribuciones para aplicaciones particulares. Además, es posible visualizar de manera transparente los procedimientos empleados, con ello se apoya el proceso de aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Sísmica-Estructural.

La inclusión de animaciones en las respuestas de los análisis motiva a los estudiantes y usuarios para utilizar las funciones de CEINCI LAB y en algunos casos genera un primer acercamiento al programa OpenSees.

La utilización de programas de código abierto evidencia la necesidad de desarrollar habilidades de programación, que son esenciales en los ingenieros actuales.

Para proyectos futuros se espera actualizar las funciones de CEINCI LAB para el análisis Pushover de pórticos de acero con la inclusión de sistemas de disipación de energía en edificaciones.

CEINCI LAB favorece el aprendizaje del estudiante ya que cada línea programada se basa en teorías y normativas actuales en el campo de la ingeniería civil estructural; y como se ha mencionado anteriormente, al tener acceso libre al código, puede ser modificado y actualizado según amerite cada caso. Las

funciones presentadas fueron desarrolladas en códigos de MATLAB, que se orientan fundamentalmente como una herramienta de docencia, investigación, no obstante, con las nuevas contribuciones se puede implementar en consultorías de proyectos reales.

El Sistema de Computación CEINCI LAB se aplica como una herramienta para el proceso de enseñanza-aprendizaje de Ingeniería Sísmica-Estructural en universidades de Ecuador y Latinoamérica. Por este motivo, las funciones se verifican, actualizan y mejoran continuamente.

#### REFERENCIAS

- [1] R. Alonso, "Cálculo sísmico de estructuras convencionales de edificación aplicando métodos lineales y no lineales implementados en diferentes normas. Estudio comparativo", M.S. thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: [https://oa.upm.es/44488/1/Trabajo%20Fin%20Master\\_Ruben%20Alonso\\_Ingenieria%20Sismica.pdf](https://oa.upm.es/44488/1/Trabajo%20Fin%20Master_Ruben%20Alonso_Ingenieria%20Sismica.pdf)
- [2] Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico-Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Dirección de Comunicación Social MIDUVI, Quito, 2015.
- [3] C. Gálvez, "Evaluación del desempeño sismorresistente usando análisis no lineal en el tiempo", Bachelor thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2011. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1099>
- [4] A. Paredes, "Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal pushover", Bachelor thesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2016. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10757/620673>
- [5] "CSI Spain | SAP2000". CSI Spain | IGENMAI. <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [6] "CSI Spain | ETABS". CSI Spain | IGENMAI. <https://www.csiespana.com/software/5/etabs> (accedido el 27 de marzo de 2022).

- [7] "SeismoStruct - Structural Assessment & Retrofitting - Seismosoft". Seismosoft. [https://seismosoft.com/products/seismostruct/?gclid=CjwKCAjwloCSBhAeEiwA3hVo\\_bwQ1VXD9xIj5-wo3n5\\_eP22zIFn-vKl4t2KgNZG0By\\_2baDEWbIBRoCcVOQA\\_vD\\_BwE](https://seismosoft.com/products/seismostruct/?gclid=CjwKCAjwloCSBhAeEiwA3hVo_bwQ1VXD9xIj5-wo3n5_eP22zIFn-vKl4t2KgNZG0By_2baDEWbIBRoCcVOQA_vD_BwE) (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [8] "MIDASoft Latinoamérica". MIDASoft North America. <https://www.midasoft.com/es/latinoamerica> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [9] "Open System for Earthquake Engineering Simulation - Home Page". <https://opensees.berkeley.edu/> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [10] "CEINCI-LAB". <https://ceincilab.wordpress.com/> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [11] "MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink". <https://www.mathworks.com/> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [12] "GNU Octave". The GNU Operating System and the Free Software Movement. <https://www.gnu.org/software/octave/> (accedido el 27 de marzo de 2022).
- [13] B. Cagua, R. Aguiar, J. Pilatasig y D. Mora, "Acoplamiento de OpenSees con CEINCI-LAB para análisis estático no lineal. Primera parte: reforzamiento sísmico con diagonales de acero.", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 25, n.º 3, pp. 367-420, 2020. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/download/1691/1300>
- [14] R. Aguiar, B. Cagua y J. Pilatasig, "Pushover con Acoplamiento de CEINCI-LAB y OpenSees", Monografías de Ingeniería Sísmica: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 2020. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://books.cimne.com/product/pushover-con-acoplamiento-de-ceinci-lab-y-opensees/>
- [15] J. Pilatasig, "Comportamiento no lineal de pórticos de acero con diagonales concéntricas y excéntricas", M.S. thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, 2021.
- [16] S. Kitayama and M. Constantinou, Seismic Performance Evaluation -A Primer. 2017.
- [17] Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017. Recuperado el 28 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- [18] B. Cagua, R. Aguiar y J. Pilatasig, "Nuevas funciones de CEINCI LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero acorde a la NEC-15", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 26, n.º 1, pp. 1-60, 2021. Recuperado el 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1958>
- [19] B. Cagua, R. Aguiar y J. Pilatasig, "Nuevas funciones de CEINCI LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero con arriostramientos concéntricos", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 26, n.º 2, pp. 199-284, 2021. Recuperado el 23 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/2044>
- [20] B. Cagua, R. Aguiar y J. Pilatasig, "Nuevas funciones de CEINCI LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero con arriostramientos excéntricos", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 26, n.º 3, pp. 523-585, 2021. Recuperado el 23 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/2344>
- [21] Funciones de CEINCI-LAB. CEINCI-LAB. <https://ceincilab.wordpress.com/funciones-de-ceinci-lab/> (accedido el 28 de marzo de 2022).
- [22] a\_Sec\_Push\_Edif\_4P\_3V\_SMF. Recuperado el 28 de marzo de 2022. [Video en línea]. Disponible: <https://vimeo.com/599091117/7609db9b82>
- [23] a\_Pushover\_Est\_4P\_3V\_SMF. Recuperado el 28 de marzo de 2022. [Video en línea]. Disponible: <https://vimeo.com/manage/videos/599090692/aab106084c>

- [24] G., Diaz, y D., Cuasapaz, "Análisis no lineal de estructuras regulares de acero con pórticos especiales resistentes a momento utilizando OpenSees y Ceinci-Lab", Green World Journal, , vol. 5, n.º 1, pp. 1-23, 2022. Recuperado el 24 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.greenworldjournal.com/2022-vol5-num1>
- [25] R. Aguiar, B. Cagua y J. Pilatasig, "Nonlinear behavior of Steel frames with concentric and eccentric bracing", Latest Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy - Proceedings of CIT 2022, 2022. Recuperado el 24 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://cit-conferences.org/earth-and-construction-sciences/>
- [26] R. Aguiar y B. Cagua, "Sistema Computacional CEINCI LAB como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural", DYNA, vol. 89, n.º 222, pp. 74-82, jul. 2022. [En línea]. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/101814>

# AUTHORS



## Brian Cagua

Ingeniero Civil con mención en Estructuras graduado con distinción Suma Cum Laude de la Escuela Politécnica Nacional, reconocimiento de mejor egresado de su promoción otorgado por el Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha (CICP). Graduado con honores de la Maestría en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial en la Universidad de las Américas (UDLA). Es egresado de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Tiene estudios de Diplomados Superior en Estructuras convencionales y sistemas de disipación y aislamiento sísmico desarrollados en el CICP. Acredita certificación como Técnico en Ensayos de Campo del Concreto-Grado I (ACI-EEUU) y Especialidad en Gestión BIM. Actualmente es estudiante investigador de doctorado en la Universidad de Los Andes en Santiago de Chile. Coordinador e Investigador de CEINCI-LAB (REGISTRO SENESCYT-RED-22-0177), autor y revisor de artículos científicos. Ponente en seminarios nacionales e internacionales. En el campo profesional se ha desarrollado como Técnico de Proyectos de Ingeniería en la Entidad Colaboradora Desintecsa, ingeniero Estructural en el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Ecuador, Docente Universitario. Consultor en Ingeniería Sísmica-Estructural. Miembro en la actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y Secretario Técnico de NEC-SE-HM.



## Julia Pilatasig

Ingeniera Civil con mención en Estructuras graduada de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Magíster en Ingeniería Civil Mención en Estructuras de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Acredita certificación como Técnico en Ensayos de Campo del Concreto-Grado I (ACI-EEUU) y estudios de Diplomado Superior en Diseño Sismo Resistente de Estructuras por el Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha (CICP). Experiencia profesional como Analista de Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (EPN). Analista Técnico en DESINTECSA S.A, funciones de revisión de proyectos de ingeniería del Distrito Metropolitano de Quito. Miembro en la actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y Secretaria Técnica de NEC-SE-AC: Estructuras de Acero. Actualmente es investigador de CEINCI-LAB (REGISTRO SENESCYT-RED-22-0177) y consultor de proyectos de ingeniería.



## Roberto Aguiar

Se graduó de Ingeniero Civil en la Politécnica Nacional; obtuvo su Maestría en Ciencias en la Universidad Central de Venezuela y su Doctorado en Ingeniería en la Universidad Politécnica de Cataluña. A nivel internacional ha ganado los siguientes premios a la investigación científica:

- Premio a la Excelencia en el 2009, otorgado por el Instituto Latinoamericano del Hierro y del Acero.
- Certificado de distinción del Premio Sasakawa en prevención de desastres naturales otorgado por Naciones Unidas en Ginebra Suiza en 2000.
- Premio Alcatel a la Innovación Tecnológica en América Latina en 1999.

Su último reconocimiento a nivel nacional fue la Mención de Honor Marieta de Veintimilla por servicios relevantes a la ciudad de Quito, entregada en 2017. Profesor Principal de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de pregrado y de Postgrado. Presidente de la Red de Investigación CEINCI LAB (REGISTRO SENESCYT-RED-22-0177). Autor de libros, artículos científicos y editor de la Revista Internacional de Estructuras, por 26 años y Coeditor de la Revista Ciencia ESPE por 23 años.

#### ARTICLE HISTORY

Received 05 August 2022  
Accepted 26 October 2022

##### **José Sillagana**

Unidad Educativa Suizo  
Ambato, Ecuador  
davidsillagana16@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4304-122X

##### **Daniel Morocho-Lara**

Facultad de Ciencias Humanas y de la  
Educación  
Universidad Técnica de Ambato  
Ambato, Ecuador  
hd.morocho@uta.edu.ec  
ORCID: 0000-0003-3107-6238

##### **Yennifer Bustos Gamboa**

Unidad Educativa La Inmaculada  
Ambato, Ecuador  
yenniferbustos@lainmaculada.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-4534-8401

##### **Génesis Dayana Pinto**

Docente  
Unidad Educativa Nuevo Mundo  
Ambato, Ecuador  
genesis\_pa98@hotmail.com  
ORCID: 0000-0003-2647-1735

## Gamificación en Matemática

### *Gamification in Mathematics*

## Gamificación en Matemática

### *Gamification in Mathematics*

#### José Sillagana

Unidad Educativa Suizo  
Ambato, Ecuador  
davidsillagana16@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4304-122X

#### Yennifer Bustos Gamboa

Unidad Educativa La Inmaculada  
Ambato, Ecuador  
yenniferbustos@lainmaculada.edu.ec  
ORCID: 0000-0002-4534-8401

#### Daniel Morocho-Lara

Facultad de Ciencias Humanas y de la  
Educación  
Universidad Técnica de Ambato  
Ambato, Ecuador  
hd.morocho@uta.edu.ec  
ORCID: 0000-0003-3107-6238

#### Génesis Dayana Pinto

Docente  
Unidad Educativa Nuevo Mundo  
Ambato, Ecuador  
genesis\_pa98@hotmail.com  
ORCID: 0000-0003-2647-1735

**Abstract**— The application of gamification in education is scarce; therefore, the purpose of this study is to consider the contribution of Gamification in the learning of Mathematics in eighth grade students of General Basic Education. The methodology used has a quali-quantitative approach, of exploratory experimental type, based on the survey technique with the questionnaire instrument, instrument validated with Cronbach's alpha with a result of 0.846, on a Likert scale of 5 points, applied to a sample of 30 students with a pretest and a posttest. Thus, it was determined the non-use of gamification resources for the teaching of mathematics, so that an intervention was performed with the developed author resources of the web 3.0 by means of the A.D.D.I.E. methodology in the Canva, Liveworksheet and Nearpod applications. To measure the results and test the hypothesis, chi-square statistics and the Kolmogorov-Smirnov test were used, finding that gamification contributes to the learning of mathematics and generates interactive classes awakening the students' attention.

**Keywords**— learning strategies, mathematics, learning, infopedagogy, gamification

**Resumen**— La aplicación de la gamificación en educación es escasa; por consiguiente, el propósito de este estudio es considerar el aporte de la Gamificación en el aprendizaje de Matemática en los estudiantes de octavo año de Educación General Básica. La metodología

utilizada tiene un enfoque cuali - cuantitativo, de tipo experimental exploratorio, basado en la técnica de la encuesta con el instrumento cuestionario, instrumento validado con el alfa de Cronbach con un resultado de 0,846, en una escala de Likert de 5 puntos, aplicada a una muestra de 30 estudiantes con un pretest y un postest. De ahí, se determinó la falta de uso de recursos de gamificación para la enseñanza de la matemática, por lo que se realizó una intervención con el desarrollo de recursos de autor de la web 3.0 mediante la metodología A.D.D.I.E en las aplicaciones Canva, Liveworksheet y Nearpod. Para medir los resultados y comprobación de la hipótesis se utilizaron los estadísticos de chi-cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, encontrándose que la gamificación aporta en el aprendizaje de la Matemática y genera clases interactivas lo cual despierta la atención del estudiantado.

**Palabras clave**— estrategias de aprendizaje, matemática, aprendizaje, infopedagogía, gamificación

## I. INTRODUCCIÓN

Ante el avance vertiginoso de la tecnología, el mundo de la educación no puede estar relegado ante tal crecimiento. En [1], Muñoz et al. manifiestan que la gamificación es la técnica de aprendizaje que traslada el juego al contexto educativo, consiguiendo en los estudiantes un mejor entendimiento o

absorción de conocimientos, ya que adquieren habilidades para desarrollar destrezas, modificando completamente el contexto educativo tradicional.

Así, la gamificación busca generar en los participantes diversas experiencias educativas divertidas que les permiten recordar y aprender lo que se está trabajando [2]. Así mismo, busca incorporar actividades competentes o desafiantes que despierten el interés del alumno. Gracias a su carácter lúdico, la gamificación permite que todos los alumnos interactúen durante la clase mediante la inclusión de herramientas tecnológicas como los smartphones o tablets con fines educativos, promoviendo su uso adecuado y responsable. Finalmente, por medio de la gamificación, se busca también reforzar el trabajo autónomo y colectivo a través del desarrollo de actividades derivadas del juego. Por ejemplo, al reconocer qué reacción existe en los alumnos se observa; en primera instancia, un cambio de ánimo en el alumnado al mencionar que actividades y evaluaciones se realizarán con mecánica de los videojuegos, ya sean acumulación de puntos, desafíos, estrategias en equipo, entre otros aspectos que involucren esta temática.

En segunda instancia, al implementar la gamificación como estrategia en el ambiente escolar, se hace evidente un mejor desempeño académico, ya sea por medio de interacciones docente-estudiante, o por similares de tipo estudiante-estudiante. En este sentido, Delgado et al. [3] enuncian que, al mostrar una tabla de posiciones acorde al desempeño en cada una de las actividades, los alumnos no solamente se esforzaban día tras día por mejorar su puntaje y subir de rango, sino que también se evidenció un interés hacia las temáticas del día siguiente, ya que investigaban y se preparaban para la siguiente clase. Otro aspecto investigado fue el trabajo colectivo ya que, al trabajar de manera tradicional, existían disgustos y pocos estudiantes trabajaban. Mientras que, al tratarse de obtener puntos, todos los alumnos interactuaban y se ayudaban entre ellos y así todo su grupo ganaba el puntaje [3].

El presente trabajo considera la contribución de la gamificación con base en las herramientas web 3.0 en el aprendizaje de matemática en una muestra de estudiantes de octavo grado de educación general básica. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: En la Sección II, se presenta el estudio del estado del arte, seguido de la explicación de la metodología cuali-cuantitativa empleada, en la Sección III. En la Sección IV, presentamos los resultados obtenidos, seguidos finalmente de las conclusiones correspondientes, en la

Sección V.

## II. ESTADO DEL ARTE

### A. APRENDIZAJE DE LA MATEMÁTICA

Aprender matemática implica un proceso en el cual docentes y estudiantes deben trabajar en conjunto. Son los docentes quienes cumplen el papel de transmitir el conocimiento mediante el planteamiento de distintas actividades, y con ello desarrollar habilidades, destrezas y capacidades que permitan relacionar lo aprendido con la vida real. Tolentino-Quiñones [4] también describe fases observadas en distintos docentes de dicha área para que el alumno aprenda. A continuación, se presentan dichas las fases de la metodología:

- Fase de inicio: el docente comunica y presenta con claridad lo que se va a hacer, aquello que se debe aprender, empezando con actividades innovadoras emotivas.
- Fase de desarrollo: el docente debe anunciar las actividades académicas que conlleven al aprendizaje, siguiendo el progreso de esta, es aquí donde se debe hacer uso de material didáctico atractivo, motivador y novedoso, y emplear la estrategia adecuada que aporte a un desarrollo de la clase en óptimas condiciones
- Fase de Cierre: permite conocer los resultados con base en los objetivos y metas planteadas, se recomienda realizar una evaluación sobre cuestiones que obliguen al alumno a reflexionar y reforzar lo aprendido.

Según Vaca y Armas [5], la razón del rechazo a aprender la Matemática está ligada a la violencia, la metodología utilizada y a la calidad de enseñanza que se brinda. Además, mencionan que la violencia está relacionada directamente con padres de familia que no toleran que sus hijos no entiendan la asignatura. Debido a que existe confusión, o no comprenden el tema tratado, los padres recurren a los golpes con el hecho de que el alumno "atienda" a la clase, por otra parte, con respecto a la metodología, los docentes trabajan mediante el tradicionalismo, en el que se preocupan firmemente en que el alumno absorba los conocimientos.

### B. ESTRATEGIAS DE LA MATEMÁTICA

Cada docente debe escoger la estrategia de aprendizaje que mejor se adapte en clase, pero siempre debe tener presente que no existe una

única forma para trabajar, como mencionan Mero y Castro [6]. Sin embargo, son varias las actividades que facilitan al alumnado dirigirse al aprendizaje, por tanto, les dan sentido a lo aprendido. Entre las características que deben tener las estrategias de aprendizaje, Miranda y Gómez [7] mencionan que deben ser flexibles y adaptables ante el proceso educativo. Además, su aplicación debe ser consciente y controlada, con estrategias enfocadas a un proceso metacognitivo, que aumente la efectividad de su aplicación.

Conforme al tipo de aprendizaje, Guerrero Peña et al. [8] dividen a las estrategias en tres tipos:

- Revisión de la información o aprendizaje memorístico: son estrategias que asocian el aprendizaje; se usan técnicas o habilidades rutinarias, ya sea repetir, subrayar o copiar.
- Elaboración o aprendizaje significativo: encargada de construir el aprendizaje mediante analogías o metáforas, se emplean imágenes, rimas, parafraseo, palabras clave e interpretación de los contenidos
- Organización enfocada al aprendizaje simbólico: genera estructuras cognitivas objetivas mediante la relación de conceptos, formación de mapas, redes de significados, semánticas, entre otros.

### C. INFOPEDAGOGÍA

La infopedagogía surge como una respuesta a la exigencia de la globalización en el mundo actual, y cambia el modelo de enseñanza aprendizaje. Se trata de una herramienta en base al uso de las TIC con el fin de mejorar la relación de interactuar entre los actores del proceso educativo, lo cual prepara tanto alumnos como docentes a integrarse en el amplio mundo virtual para generar habilidades y competencias que les facilite el manejo de estas.

La infopedagogía consiste en integrar las diversas herramientas tecnológicas que han aparecido con el pasar del tiempo, y se aplican en el proceso educativo, modificando y mejorando los modelos pedagógicos con los cuales se va a trabajar. Torres Ortiz y Barnabé Corrêa [9] mencionan que el objetivo es lograr que todo educando se desarrolle satisfactoriamente en la época tecnológica actual y a futuro. Además, de agilizar las interrelaciones de todos los actores de la comunidad educativa, menciona que los

agentes educadores deben satisfacer las necesidades de los estudiantes, por ello deben encontrarse capacitados apropiadamente ante el uso y manejo de estas tecnologías.

### D. GAMIFICACIÓN

La gamificación busca generar en los participantes experiencias educativas divertidas que les permitan recordar y aprender lo que se esté tratando. Pretende incorporar actividades competentes o desafiantes que despierten el interés del alumno. Además, gracias a su carácter lúdico, permite que todos los alumnos interactúen durante la clase, contribuyendo a la motivación y participación, y favoreciendo a la emisión, recepción, y entendimiento de contenidos a tratarse en el aula por el desarrollo inusual que posee. No obstante, debemos tener presente que la gamificación no es sinónimo de juego, sino que utiliza el mecanismo asociado al de los juegos con el fin de invitar a los alumnos a participar mediante retos y desafíos de aprendizaje con recompensas o incentivos [10].

En el área de Ciencias Naturales, como lo menciona Mallitasig y Freire en su investigación [11], la gamificación proporciona un aporte significativo en el aprendizaje de los estudiantes de básica superior, convirtiéndose en una técnica innovadora que combina el conocimiento con experiencias satisfactorias.

De la misma manera en el área de Ciencias Sociales, esta técnica toma un papel primordial debido a que los estudiantes muestran interés en participar, el trabajo cooperativo y participativo entre los educandos los convierten en protagonistas principales, mientras el docente es su guía [12].

### E. RECURSOS TIC

Son herramientas dispuestas a transformar, mejorar y enriquecer el proceso educativo, al ser una puerta amplia hacia el mundo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). Las facilidades que brindan, permiten continuar con la enseñanza de manera digital, otorgando herramientas con las cuales docentes y alumnos puedan acceder fácilmente a la educación. El integrar herramientas TIC en el ámbito educativo resulta indispensable con el pasar del tiempo, puesto que ayudan dentro del proceso educativo. Durante la pandemia del Covid-19, fueron las plataformas como Zoom, Microsoft Teams, Classroom, entre otras, las que permitieron reunirse a los estudiantes y permanecer en contacto con los docentes como si fuese un salón de clase. Además, otros

sitios Web educativos permitieron generar actividades o contenidos curriculares, entre las que encontramos a: Kahoot.it, Geneally, Educaplay, etc. Estos ejemplos, dejan en claro cuan valiosos e importantes son estos recursos para la pedagogía, resaltando la importancia de conocer su utilidad y su correcto manejo

### F. MODELO TAM

El modelo de aceptación tecnológica (TAM) [13] se creó con el fin de conocer la aceptación o rechazo que puede tener un sistema de información al ser utilizado por un sinnúmero de personas. Existen dos características primordiales para asegurar su uso, la primera se refiere a la factibilidad porque se considera un aporte para disminuir la carga de trabajo, y la segunda a la facilidad de generar mayor eficiencia sin tener que incrementar el esfuerzo para su manejo [13].

## III. METODOLOGÍA

Esta investigación utilizó un enfoque cuali-cuantitativo de tipo experimental-exploratorio, bajo las siguientes hipótesis alterna (HA) y nula (HN), respectivamente:

*(HA) La gamificación aporta en el aprendizaje de la matemática*

*(HN) La gamificación no aporta en el aprendizaje de la matemática.*

Esta metodología presenta un enfoque por partes. En la parte cualitativa se midieron las percepciones de uso y aceptabilidad de la tecnología en la población de estudio. Consecuentemente, se obtuvieron los datos cuantitativos mediante la aplicación de los dos instrumentos (cuestionario estructurado y modelo TAM), lo cual permitió la cuantificación de la información recolectada.

En la investigación, se desarrolló la modalidad bibliográfica documental, fundamentando teóricamente las variables intervinientes en el estudio, así como la existencia de investigaciones previas sobre gamificación, educación virtual, infopedagogía, teorías de aprendizaje y aprendizaje de matemática, lo cual brindó un aporte significativo.

Para la recolección de datos, se trabajó con una muestra no probabilística intencional de 30 estudiantes con una edad comprendida entre los 12 y 15 años. Para la fiabilidad de los datos se utilizó el estadístico Alfa de Cronbach obteniendo un valor de 0,846. Nuestra investigación se centra en una modalidad

analítica porque se realizó la medición, recopilación y análisis de datos obtenidos acerca de los estudiantes de octavo grado. La toma de datos se dio en dos momentos:

**(i) Durante el pre-test:** se aplicó un cuestionario estructurado de 20 preguntas con respuestas de opción múltiple a través de la escala de Likert, determinando de manera inicial el uso de plataformas de gamificación en el aprendizaje de matemática. Se realizó una intervención donde se utilizó recursos de autor, basados en las herramientas Nearpod, Canva y Liveworksheet. La intervención se encaminó al desarrollo de recursos de autor con la metodología ADDIE [14]: Análisis; Diseño; Desarrollo; Implementación; y Evaluación, con base en el bloque 6 "Leyes de la lógica y funciones" con el tema "Potencias de base entera y exponente natural".

**(ii) Durante el post-test:** se aplicó el instrumento de modelo de aceptación tecnológica (TAM), mediante un cuestionario estructurado de 15 preguntas en escala de Likert midiendo la percepción de uso y manejo de las nuevas tecnologías en la población de estudio.

Dentro de la intervención en el primer momento (i), las fases aplicadas de la metodología ADDIE para el desarrollo de recursos de autor son las siguientes:

### A. ANÁLISIS

La fase de análisis fue en el momento en el que se aplicó la encuesta inicial a los estudiantes de octavo año de la Unidad Educativa "José Joaquín Olmedo". La encuesta fue diseñada en el formulario de Google Forms con el fin de obtener información necesaria acerca del uso de herramientas web 3.0 dentro del proceso educativo.

### B. DISEÑO

En esta fase, con base en los resultados del análisis, se diseñaron actividades en recursos de autor web 3.0 gamificados para el aprendizaje de la matemática. Las herramientas usadas fueron Nearpod, Liveworksheet y Canva.

### C. DESARROLLO

En esta fase, se describe paso a paso el cómo acceder a cada una de las aplicaciones digitales y cómo se desarrolló cada actividad, evidenciando lo fácil y sencillo que es aplicar cada uno de estos recursos:

- Nearpod para la presentación central del contenido de una manera divertida y atractiva, ya sea en forma de actividades, juegos, encuestas entre otros.
- Liveworksheet para las actividades del contenido presentado a manera de fichas para seleccionar respuestas, búsqueda de términos en sopa de letras, mismas que pueden ser fácilmente evaluadas.
- Canva, para generar recursos de refuerzo de lo trabajado.

**D. IMPLEMENTACIÓN**

Para completar la presente fase, se aplicaron los recursos digitales antes desarrollados en cada momento del desarrollo de la clase:

- **Inicio de clase:** Se utilizó Nearpod (Fig. 1), con el contenido del tema, facilitando la comprensión interactiva y participación.



Fig. 1. Ejemplo de material gamificado en Canva

- **Desarrollo de la clase:** Mediante Liveworksheet (Fig. 2) para la presentación de ejercicios y problemas de aplicación de la temática "exponentes naturales".



Fig. 2. Ejemplo de material gamificado en Liveworksheet

- **Cierre de la clase:** Utilizando Canva (Fig. 3) para la retroalimentación con actividades de selección, unión de elementos,

verificando lo aplicado y el dominio de destrezas propuestas



Fig. 3. Ejemplo de material gamificado en Canva

**E. EVALUACIÓN**

En la presente fase, se ejecutó el modelo TAM, mismo que mediante un cuestionario permitió que los alumnos evaluaran las plataformas con las que trabajaron, y verificamos si les ayudó en el aprendizaje de la matemática, qué les pareció el trabajar con las herramientas de la web 3.0, finalmente, si les resultó útil las plataformas presentadas y si las utilizarían a futuro tanto para sus clases o presentación de tareas.

**IV. RESULTADOS**

En el análisis e interpretación de los datos recolectados, se presentan de manera general la satisfacción con la gamificación y las dos preguntas altamente relacionadas con la investigación y prueba de hipótesis (HA) y (HN). Los datos estadísticos fueron procesados mediante el programa SPSS que sirvió como soporte hacia la elaboración de tablas y gráficos, los cuales sirvieron para tener una visión amplia del estudio, facilitando el establecimiento de conclusiones.

TABLA I. SATISFACCIÓN CON LA GAMIFICACIÓN

Opciones	Frecuencia	Porcentaje (%)
Totalmente en desacuerdo	2	6,7
En desacuerdo	5	16,7
Indeciso	3	10
De acuerdo	12	40
Totalmente de acuerdo	8	26,7
Total	30	100

En la Tabla I, se encontró que existe una satisfacción alta en el uso de gamificación en el aprendizaje de matemática, pues se presentan

funciones novedosas, interacción con sus plataformas y lo divertidas e interesantes que son sus actividades.

Las siguientes son las preguntas que están mayormente relacionadas con la investigación y prueba de hipótesis (HA) y (HN):

1. Considera usted que el desarrollo de recursos web 3.0 por parte del docente es importante para mejorar la enseñanza en la virtualidad y el trabajo colaborativo.
2. Considera que la correcta utilización de herramientas web 3.0 promueven participación y la motivación de los alumnos.

Con respecto a la *Pregunta 1*), los resultados compilados en la Tabla II, muestran que el alumnado concuerda que es necesario que el docente elabore sus propio recursos Web 3.0 con el que va a trabajar la clase.

TABLA II. DESARROLLO DE RECURSOS WEB 3.0

Opciones	Frecuencia	Porcentaje (%)
Totalmente en desacuerdo	4	13,3
Indeciso	5	16,7
De acuerdo	14	46,7
Totalmente de acuerdo	7	23,3
Total	30	100

Esto se contrapone a lo que comúnmente se hace en la virtualidad; i.e., el personal docente se apoya en el uso de videos referentes al tema, o simplemente proyecta los documentos y solicita que los alumnos lean. Esta práctica es bastante tradicionalista y, por tal motivo, resulta más conveniente que se genere el recurso virtual para ser trabajado, de modo que se logre aprender fácilmente. Adicionalmente, estos resultados invitan al docente a considerar el uso de otras herramientas didácticas. En consecuencia, la atención del alumno se incrementaría debido el interés en formar parte de una clase más participativa e interactiva.

TABLA III. USO DE HERRAMIENTAS WEB 3.0

Opciones	Frecuencia	Porcentaje (%)
Indeciso	4	13,3
De acuerdo	12	40
Totalmente de acuerdo	14	46,7
Total	30	100

En cuanto a la *Pregunta 2*), los resultados que se muestran en la Tabla III, determinan que la aplicación de herramientas Web 3.0 aportan positivamente en el desarrollo de las actividades estudiantiles. Como se ha mencionado, cada una de las herramientas transforma totalmente el contexto virtual en un ambiente divertido, atractivo, innovador, lo cual promueve la participación del estudiantado; además que, debido a la forma de trabajo, facilitan el aprendizaje, y convierten cada temática en una experiencia memorable.

**A. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS MEDIANTE LA PRUEBA DE CHI-CUADRADO**

En el estadístico chi - cuadrado de la Tabla IV, se observa un valor menor de 0.05, mostrando las dos preguntas como significativas para cada una de las variables de estudio con la población a la que se aplicó el experimento. De esta manera, se rechaza la hipótesis nula (HN): "la gamificación no aporta en el aprendizaje de la matemática" y se acepta la hipótesis alterna (HA) donde se resalta que "la gamificación aporta en el aprendizaje de la matemática".

**B. COMPROBACIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV PARA UNA MUESTRA**

Los resultados del análisis Kolmogorov-Smirnov para las *Preguntas 1*) y *2*) se presentan en la Tabla V.

TABLA IV. RESUMEN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1 Considera usted que el desarrollo de recursos web 3.0 por parte del docente es importante para mejorar la enseñanza en la virtualidad y el trabajo colaborativo, se producen con probabilidades iguales	Prueba de chi cuadrado de una muestra	0	Rechazar la hipótesis nula
2 Considera que la correcta utilización de herramientas web 3.0 promueven participación y la motivación de los alumnos.	Prueba de chi cuadrado de una muestra	0,008	Rechazar la hipótesis nula

TABLA V. PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA

	P. 1)	P. 2)	
Preguntas	Considera usted que el desarrollo de recursos web 3.0 por parte del docente es importante para mejorar la enseñanza en la virtualidad y el trabajo colaborativo.	Considera que la correcta utilización de herramientas web 3.0 promueven la participación y la motivación de los alumnos.	
Número de la muestra	30	30	
Parámetros normales, b	Media	3,97	4,4
	Desviación típica	0,85	0,621
Diferencias más extremas	Absoluta	0,316	0,3
	Positiva	0,251	0,273
	Negativa	-0,316	-0,3
Z de Kolmogorov-Smirnov	1,729	1,641	
Sig. asintót. (bilateral)	0,005	0,009	
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

De un número de 30 individuos, a quienes se les aplicó la experimentación, se toman dos preguntas representativas, tanto de la variable independiente y la variable dependiente, al comparar los resultados de la media obtenida para la primera pregunta fue de 3,97 y se encontró por debajo del estándar deseado; mientras que en la pregunta dos tenemos una media de 4,40, que fue superior a la estándar, y se encontró a 0,60 puntos de alcanzar a una respuesta óptima en general. Además, por la prueba de Kolmogorov -Smirnov se ratifica el rechazo de la hipótesis nula, puesto que se encuentra un valor bilateral menor al de 0.05 solicitando nuevamente que se acepte la hipótesis alterna, que indica que la gamificación aporta en el aprendizaje de la Matemática.

## V. CONCLUSIONES

La gamificación es una fuente de innovación en el proceso de enseñanza, contribuyendo al aprendizaje mediante el uso de metodologías activas y recursos didácticos interactivos, dinamizando el proceso de enseñanza aprendizaje.

La gamificación promueve la participación y motivación de los alumnos, pues mejora la enseñanza por parte del docente y despierta

atención en el salón de clases.

La gamificación hace una educación más inmersiva, pues el uso de recursos tecnológicos adecuados permite hacer a la matemática más entretenida propiciando la participación y el trabajo colaborativo.

## REFERENCIAS

- [1] J. Muñoz, J. A. Hans y A. Fernández-Aliseda, «Gamificación en matemáticas, ¿un nuevo enfoque o una nueva palabra?», Épsilon - Revista de Educación Matemática, n° 101, pp. 29-45, 2019.
- [2] G. Martínez-Navarro, «Tecnologías y nuevas tendencias en educación: Aprender jugando. El caso de Kahoot», Opción, vol. 33, n° 83, pp. 252-277, 2017.
- [3] Y. C. Delgado-Cedeño, L. J. Chancay-García y J. M. Zambrano-Acosta, «La Gamificación como Aprendizaje Innovador en los Estudiantes de Básica Media», Polo del Conocimiento, vol. 7, n° 4, pp. 883-899, 2022.
- [4] H. Tolentino-Quiñones, «Uso del material auténtico en las aulas virtuales para el aprendizaje de un idioma extranjero», Revista Educación, vol. 45, n° 1, pp. 1p-8p, 2021.
- [5] B. R. Vaca Peñaherrera y V. H. Armas, «Amor u odio a la Matemática: Reflexión desde la práctica pedagógica», Revista Educare, vol. 24, n° 2, pp. 338-352, 2020.
- [6] G. M. Mero Mendoza y I. E. Castro Bermúdez, «La gamificación educativa y sus desafíos actuales desde la perspectiva pedagógica», Revista Cognosis, vol. 6, n° 2, pp. 111-125, 2021.
- [7] I. Miranda y A. L. Gómez-Blancarte, «La enseñanza de las matemáticas con el enfoque de la Teoría de Comunidades de Práctica», Revista Educación Matemática, vol. 30, n° 3, pp. 277 - 296, 2018.
- [8] D. A. Guerrero Peña, A. Guerrero Peña y E. T. Muñoz Serna, «Nuevas tendencias en educación, juegos serios con tecnología móvil en Windows 10 Mobile», Espiral, Revista de Docencia e Investigación, vol. 7, n° 1, pp. 61 - 72, 2017.
- [9] J. A. Torres Ortiz y T. H. Barnabé Corrêa, «Aspectos pedagógicos del conectivismo y su relación con redes sociales y ecologías del aprendizaje», Revista Brasileira de Educação, vol. 25, pp. 1 - 22, 2020.
- [10] J. O. Hernández-Peñaranda, J. Jaramillo-Benítez y J. F. Rincón-Leal, «Uso y beneficios de la gamificación en la enseñanza de las matemáticas», Revista Eco Matemático, vol. 11, n° 2, p. 30-38, 2020.
- [11] A. J. Mallitasig Sangucho y T. M. Freire-Aillón, «Gamificación como técnica didáctica en el aprendizaje de las Ciencias Naturales», INNOVA Research Journal, vol. 5, n° 3, pp. 164-181, 2020.
- [12] A. Roldán Reche, «La gamificación en las Ciencias Sociales en un contexto educativo en transformación», GeoGraphos. Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales, vol. 12, n° 139, pp. 162-192, 2021.
- [13] P. Puello, V. Del campo y F. Scholborgh, «Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) en el Laboratorio de Física III basado en Internet de las Cosas en el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, Colombia», Revista Espacios, vol. 41, n° 13, pp. 159-171, 2020.
- [14] K. Serhat, «ADDIE Model: Instructional Design», 29 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://educationaltechnology.net/the-addie-model-instructional-design/>. [Último acceso: 13 Diciembre 2022].
- [15] D. Castillo López, «Las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje desarrollados por maestros tutores de Educación Primaria en la Región de Murcia», RiiTE, Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa, pp. 1-14, 2020.

# AUTHORS



## José Sillagana

Mi nombre es José David Sillagana Torres, nací el 31 de enero de 1999, tengo 23 años, vivo en la ciudad de Ambato, parroquia de Ambatillo, estudié la primaria en la unidad educativa José Joaquín Olmedo, secundaria en la unidad educativa Rumiñahui, en la universidad ingresé a estudiar en la Universidad Técnica de Ambato, una vez graduado a los 2 meses ingresé a trabajar en la unidad educativa suizo. Tengo afición por la docencia por vocación, además la construcción de materiales mediados por la tecnología.



## Daniel Morocho-Lara

Licenciado en Ciencias de la Educación profesor de Ciencias Exactas, Magister En educación matemática y Doctor PHD en Educación. Sus publicaciones: Metodología Para El Proceso De Enseñanza Aprendizaje De La Geometría Descriptiva El Diálogo De Saberes Hacia La Construcción De Un Currículo Integrador En La Unach, Software "Microsoft Mathematic" En El Proceso Y Desarrollo De Aprendizaje De La Matemática, la Incidencia Del Método Polya En La Enseñanza de Sistemas De Ecuaciones Lineales En Primero De Bachillerato. Sus libros: ETNOMATEMÁTICA Dentro de la investigación ha participado en el rediseño Curricular De La Carrera De Ciencias Exactas De La Unach, Diagnóstico Situacional De Los Procesos Del Sistema De Gestión Académica En La Universidad Nacional De Chimborazo y el desarrollo de herramientas web 3.0 en la educación como apoyo en el aprendizaje colaborativo.



## Yennifer Bustos Gamboa

Mi nombre es Yennifer Michelle Bustos Gamboa, nací el 3 de julio de 1997 en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua del país Ecuador. Mis estudios primarios los realicé en la escuela República de Venezuela, mis estudios secundarios en la Unidad Educativa Ambato, en Universidad Técnica de Ambato obtuve mi título como Licenciada en Educación mención Educación Básica, mis estudios de cuarto nivel los realicé en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ambato, obteniendo el título de Magister en Pedagogía mención Educación Técnica y Tecnológica. Mis principales intereses son en la educación como pilar fundamental de la sociedad, la investigación, pedagogía, literatura. Tengo varios años de experiencia como tutora de estudiantes con Necesidad Educativas Especiales (NEE), docente en la Unidad Educativa Francisco Flor, docente de la Unidad Educativa Nueva Esperanza y actualmente me desempeño como docente de la Unidad Educativa La Inmaculada. Mi principal objetivo ha sido ser una persona que ayude a forjar seres humanos íntegros, holísticos con una visión humanistas, entes sociales que contribuyan al desarrollo exitoso de nuestro país.



## Génesis Dayana Pinto

Genesis Dayana Pinto Almeida (Ecuador, Ambato, 11 de abril de 1998). Licenciada en Ciencias de la Educación Básica por la Universidad Técnica de Ambato, graduada en el 2022. Instructora en un curso de Formador de formadores en Investigación Educativa, con una duración total de 380 horas académicas. Posee un diplomado en Educación Superior. Entró en contacto con el mundo de la investigación a partir del desarrollo de un artículo científico publicado en la revista "Conciencia Digital" sobre el acoso escolar, a partir de ello, crea dos aplicaciones en referencia a la ayuda en todo tipo de violencia, mostrando responsabilidad social. Colabora en artículos científicos cómo coautora, los cuales están en proceso de publicación, incentivando a la producción científica. Dentro del ámbito académico muestra interés en "Liderazgo y Gestión Administrativa en la Educación", dónde sigue en proceso de formación continua en una maestría en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Desde Abril del 2022 trabaja como docente en la Unidad Educativa "Nuevo Mundo" impartiendo clases a estudiantes de nivel Elemental.

# LAJC LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

## Published by

**Escuela Politécnica Nacional**  
Facultad de Ingeniería de Sistemas

Quito-Ecuador

<https://lajc.epn.edu.ec/>  
[lajc@epn.edu.ec](mailto:lajc@epn.edu.ec)

January 2023



# LAJC

Vol X, Issue 1, January 2023

# LAJC

LATIN-AMERICAN  
JOURNAL OF  
COMPUTING

Vol X, Issue 1,  
January 2023

## Indexed in:

