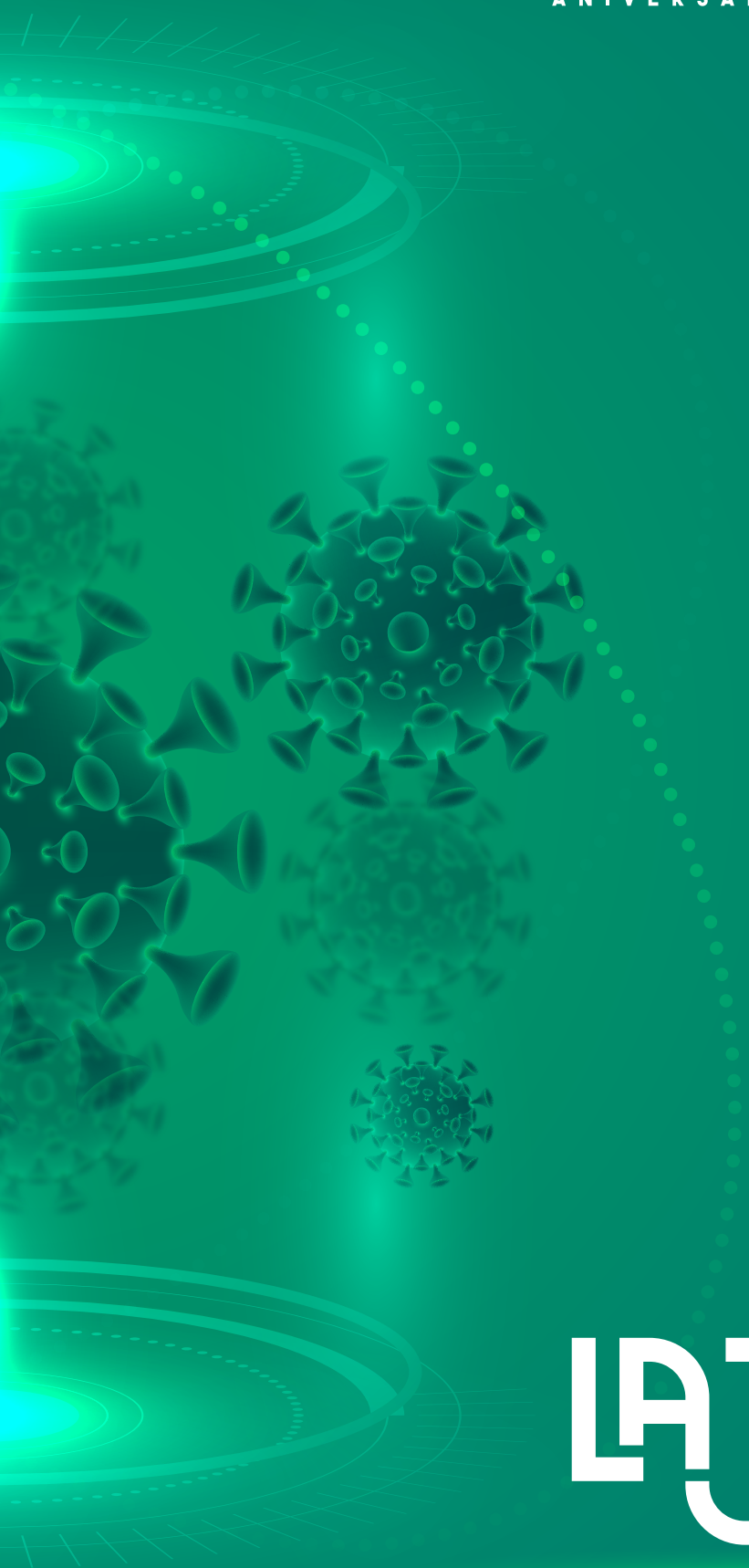
https://lajc.epn.edu.ec

150 ANIVERSARIO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



VOLUME 7, ISSUE 1
JUNE 2020
ISSN: 1390-9266

EDITOR IN CHIEF
PhD. Marco Santórum G.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

IAIC

Vol VII, Issue 1, June 2020

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

EPN

https://www.epn.edu.ec

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

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 garantizar 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.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

https://fis.epn.edu.ec

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

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 transcendencia 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.

CEDIA

CORPORACIÓN ECUATORIANA
PARA EL DESARROLLO DE LA
INVESTIGACIÓN Y LA ACADEMIA

Gonzalo Cordero 2-122 y J. Fajardo Esq.
Teléfono (+593) 7 407 9300
info@cedia.org.ec • Cuenca - Ecuador

www.cedia.edu.ec

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Promovemos la investigación y desarrollo de proyectos innovadores que vinculan a las instituciones mediante concursos e iniciativas. Impulsamos y facilitamos recursos a estudiantes, docentes, profesionales e investigadores con la impresión de esta recopilación científica.

Designed and Printed by
CEDIA

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

Vol VII, Issue 1, June 2020

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

Frequency
2 issues per year

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Published by

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ecuador

Editor in Chief

Marco Santórum G. PhD.,
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Editorial Committee

José Aguilar PhD.
Universidad de los Andes, Venezuela
aguilar@ula.ve
Matthew Bradbury PhD.
University of Warwick, UK
m.bradbury@warwick.ac.uk
Lucía Carrión PhD.
University of Technology Sydney, Australia
lucia.c.carrion@alumni.uts.edu.au
Hagen Lauer PhD (c).
Fraunhofer SIT, Germany
hagen.lauer@sit.fraunhofer.de
Diana Ramírez PhD (c).
Universidad Pompeu Fabra, España
diana.ramirez@upf.edu
Marco Santórum G. PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
marco.santorum@epn.edu.ec

Associate Editors

Denys Flores PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
denys.flores@epn.edu.ec
María Gabriela Pérez PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
maria.perez@epn.edu.ec
Hernán Ordoñez MSc.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
hernan.ordonez@epn.edu.ec
Sandra Sánchez PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
sandra.sanchez@epn.edu.ec
Gabriela Suntaxi PhD (c).
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
gabriela.suntaxi@epn.edu.ec

Assistant Editors

Lic. Dayana Marcillo
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
dayana.marcillo@epn.edu.ec

EDITORIAL

Marco Santórum G. PhD.

Editor in Chief
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Nadie habría podido imaginar el inusitado interés por la ciencia y la tecnología que concitara el contexto de la pandemia. El incesante cuestionamiento en una época signada por la incertidumbre demanda de la ciencia y la investigación respuestas urgentes que expliquen, atisben posibles soluciones y avizoren un panorama post COVID-19.

Si bien las ciencias de la salud juegan un papel crucial, las múltiples aristas de esta emergencia sanitaria convocan indefectiblemente a la conjugación de todas las disciplinas para aportar con urgencia y rigor. La ingeniería, especialmente, la inteligencia artificial, las tecnologías para la salud y las comunicaciones, junto con las ciencias sociales y humanas nos están permitiendo afrontar situaciones emergentes, potenciar la vigilancia epidemiológica y sostener el tejido socio-económico.

Las tecnologías de la información aportan soluciones para el monitoreo de síntomas y la consecuente prevención de necesidades de atención, permiten conocer la ubicación de las personas, garantizar el distanciamiento físico y sostener la cercanía social. Las diferentes alternativas de comunicación aportan al derecho de acceder a una información oportuna y fortalecer el tejido comunitario para afrontar riesgos así como tomar conciencia sobre las medidas de prevención y control de la infección.

Al tornarse obligatorio el acercamiento a las tecnologías se desnudaron profundas asimetrías pero -a la par- al explorar el potencial de las herramientas digitales cobraron fuerza nuevas maneras y modalidades: teletrabajo, software para videoconferencias, cursos a distancia, telemedicina, clases virtuales y un largo etcétera de soluciones que han pasado a ser parte de una cotidianidad que cabe esperar sea pasajera.

Por otro lado, el uso de herramientas intrusivas en un contexto de emergencia plantea retos y peligros. Por ejemplo, el reconocimiento facial podría jugar un papel importante para garantizar el cumplimiento de los lineamientos básicos de prevención que dictaminan las autoridades en salud pero habrá que cuidar los límites para no violentar el derecho a la privacidad y a la confidencialidad de datos personales. En cuanto a las medidas de vigilancia subyace el riesgo de que se conviertan en permanentes con capacidades e infraestructuras que difícilmente serían desestructuradas.

Al final de esta crisis habremos de justipreciar los aprendizajes, entre ellos, el apuntalar la educación, la ciencia, la tecnología y la investigación deberá ser un compromiso irrenunciable e inaplazable constituyendo su inversión no solo como una iniciativa de gobierno sino como una política de Estado.

Nuestro agradecimiento a quienes contribuyen día a día con esta Revista. Este número está dedicado a todas las personas que se encuentran en el primer frente para ganar la batalla contra la COVID-19, exponiéndose a ser contagiados para salvar vidas; y, a innumerables seres humanos que desde el campo o la ciudad ayudan con su trabajo, muchas veces silencioso e invisible, a sostener dinámicas que hacen llevadera esta extraña cotidianidad.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

No one could have imagined the unusual interest in science and technology that the context of the pandemic sparked. The incessant questioning in a time marked by uncertainty demands urgent answers from science and research to explain, examine possible solutions, and envision a post-COVID-19 scenario.

Although health sciences play a crucial role, the multiple edges of this health emergency unfailingly call for the conjugation of all disciplines for their urgent and rigorous contribution. Engineering, especially artificial intelligence, health, and communication technologies, along with the social and human sciences, are allowing us to face emerging situations, enhance epidemiological surveillance and sustain the socio-economic fabric.

Information technologies provide solutions for monitoring symptoms and the consequent prevention of care needs; they also allow knowing the location of people, guaranteeing physical distance, and maintaining social closeness. The different communication alternatives provide the right to access timely information and strengthen the community fabric to face risks as well as becoming aware of infection prevention and control measures.

When approaching towards technologies became mandatory, deep asymmetries were uncovered, but at the same time, when exploring the potential of digital tools, new ways and modalities gained strength: teleworking, videoconferencing software, online courses, telemedicine, virtual classrooms and a long etcetera of solutions that have become a part of daily living that is expected to be temporary.

On the other hand, the use of intrusive tools in an emergency context poses challenges and dangers. For instance, facial recognition could play an important role in guaranteeing compliance with the basic prevention guidelines established by health authorities, but limits must be observed to avoid violating the right to privacy and confidentiality of personal data. Regarding surveillance measures, there is a risk that they will become permanent with capabilities and infrastructure that would hardly be unstructured.

At the end of this crisis, we will have to appreciate learning, which entails shoring up education, science, technology and research as an inalienable and unavoidable commitment, constituting its investment not only as a governmental initiative, but also as a State policy.

Our thanks to those who contribute daily to this Journal. This issue is dedicated to all the people who are on the first front to win the battle against COVID-19, exposing themselves to being infected for saving lives; and to those innumerable human beings who, from the countryside or the city, help with their work, often silent and invisible, to sustain the dynamics that make this strange everydayness bearable.

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

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

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Reviewers

Patricia Acosta, PhD.
Universidad de Las Américas
Josafa Aguiar, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
José Aguilar, PhD.
Universidad de los Andes
Roberto Andrade MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Boris Astudillo MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Andrés Bastidas, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Eduardo Benavides, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Nancy Betancourt MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Diego Brandao, PhD.
Centro Federal de Ensino Tecnologico Celso
Alex Buitrago Hurtado, PhD.
Universidad Externado de Colombia
Tania Calle, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Ivan Carrera MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Jose Luis Carrera, PhD.
University of Bern
Juan Pablo Carvallo, PhD.
Universidad del Azuay
Heitor Costa, PhD.
Federal University of Lavras
Vera Ferreira, PhD.
Federal University of the Pampa
Suckow da Fonseca
CEFET/RJ
Fredy Gavilanes MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Maria Hallo, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Juan Herrera MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Pablo del Hierro, MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Juan Ibujés Villacís, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Francisco Iniesto, PhD.
The Open University
Monserrate Intriago-Pazmino MSc.
Escuela Politecnica Nacional
Erika Jaillier, PhD.
Universidad Pontificia Bolivariana
Andrés Jaramillo MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Ana Leguízamo León, PhD.
Universidad Central de Venezuela
Cindy López MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Edison Loza, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
José Lucio, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Sergio Luján-Mora, PhD.
University of Alicante
Alicia Martinez, PhD.
CENIDET
Fernando T. Molina Granja, PhD.
Universidad Nacional de Chimborazo
Marcela Mosquera MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Rosa Navarrete, PhD.
Escuela Politécnica Nacional
Fábio Pereira Da Silva, PhD.
University of São Paulo
Claudia Pons, PhD.
Universidad Nacional de La Plata
Maria Rauschenberger, PhD.
Max Planck Institute for Software Systems
Lorena Recalde, PhD.
National Polytechnic School
Taghizadeh Saeed, PhD.
Universität Karlsruhe
Eugenio Scalise, PhD.
Universidad Central de Venezuela
Jorge Urbaneja, PhD.
Universidad de Alicante
Alejandro Zunino, PhD.
Universidad Nacional del Centro

TABLE OF CONTENTS

Sistema de Recomendación de Asignaturas en el Proceso de Registro y Matrícula de Estudiantes Universitarios
Recommendation System of Subjects in the Registration and Enrollment Process of University Students 22
Milton Mariduena-Arroyave
Lorenzo Cevallos-Torres
Miguel Botto-Tobar

Evaluación de las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos basados en la red de plataformas open source utilizando la técnica de detección de anomalías
Evaluation of the functionalities of the intrusion detection systems based on the network of open source platforms using the anomaly detection technique 48
José Eduardo Arteaga Pucha

Diseño de sistema de monitoreo simple para redes de gran escala
Design of a simple monitoring system for large-scale networks 66
Vanessa Napa
Luis Urqiza-Aguiar
Xavier Calderón-Hinojosa

El Internet de las cosas en el cuidado de la salud
The Internet of Things in Healthcare. An Overview 86
Alex Cazañas-Gordón
Esther Parra-Mora

Análisis de la Calidad de Objetos de Aprendizaje en Contextos Universitarios
Quality Analysis of Learning Objects in Academic Contexts 100
Valeria Iliana Bertossi
Karina Viviana Martinez
Maria de los Milagros Gutiérrez
Lucila Romero

Diseño de un software de gestión de Portfolios para la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios
Design of a portfolio management software to personalize learning in university environments 114
Eckell Nicolas
Santucci Viviana
Romero Lucila

Desarrollo y evaluación de usabilidad de un aplicativo web gamificado para la enseñanza de informática básica
Development and evaluation of usability of a gamified web application for basic computer education 138
Pedro Javier Cuasqui

Calificación Estadística para Aprobación de Créditos Comerciales mediante Modelos Aditivos Generalizados
Statistical Qualification for Approval of Commercial Credits through Generalized Additive Models 152
Verónica Garrido
Miguel Flores
Luis Felipe Guevara

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Sistema de Recomendación de Asignaturas en el Proceso de Registro y Matrícula de Estudiantes Universitarios

Recommendation System of Subjects in the Registration and Enrollment Process of University Students

ARTICLE HISTORY

Received 16 April 2020
Accepted 06 June 2020

Milton Mariduena-Arroyave
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
milton.mariduenaa@ug.edu.ec

Lorenzo Cevallos-Torres
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
lorenzo.cevallost@ug.edu.ec

Miguel Botto-Tobar
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
miguel.bottot@ug.edu.ec

Sistema de Recomendación de Asignaturas en el Proceso de Registro y Matrícula de Estudiantes Universitarios

Recommendation System of Subjects in the Registration and Enrollment Process of University Students

Milton Mariduena-Arroyave
Facultad de Ciencias
Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
milton.mariduenaa@ug.edu.ec

Lorenzo Cevallos-Torres
Facultad de Ciencias
Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
lorenzo.cevallost@ug.edu.ec

Miguel Botto-Tobar
Facultad de Ciencias
Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
miguel.bottot@ug.edu.ec

Resumen — Actualmente, los sistemas de recomendación son ampliamente utilizados para analizar preferencias de usuarios y sugerirles ítems afines. En el ámbito universitario, el momento en el cual una asignatura es elegida por un estudiante para su siguiente etapa educativa, es monitoreado por un Consejero Académico, quien de acuerdo con el récord estudiantil, y comparando perfiles similares a lo largo de su carrera, debe recomendar cuáles asignaturas, podrían contribuir al rendimiento y aprendizaje del estudiante. El presente trabajo representó un esfuerzo por diseñar un recomendador que se apoya en el modelado de las relaciones causales existentes entre las asignaturas del pénsum curricular de una carrera universitaria, empleando mapas cognitivos difusos y operadores de agregación OWA. Se aplicó el flujo de trabajo del modelo propuesto y su implementación, a través de la herramienta informática (FCM-Decision). Se desarrolló un estudio de caso con los récords estudiantiles de una universidad en Guayaquil, y además, se realizó un experimento para probar los resultados de interpretabilidad con otros modelos existentes. Entre los principales resultados están la fiabilidad de las métricas para el análisis estático de mapas difusos, la similitud respecto a un estudiante objetivo, y la importancia que cada asignatura representa en un nuevo registro.

Palabras clave —Sistemas de Recomendación, Asignaturas, Récord_estudiantil, Mapas Cognitivos Difusos.

Abstract *— Currently, recommendation systems are widely used to analyze user preferences and suggest related items. At the university level, the moment in which a subject is chosen by a student for his next educational stage, is monitored by an Academic Counselor, who according to the student record, and comparing similar profiles throughout his career, must recommend which subjects could contribute to student performance and learning. The present work represented an effort to design a recommender that is based on the modeling of the causal relationships existing between the subjects of the curricular curriculum of a university career, using fuzzy cognitive maps and OWA aggregation operators. The workflow of the proposed model and its implementation were applied through the computer tool (FCM-Decision). A case study with the student records of a university in Guayaquil was developed, and an experiment was also carried out to test interpretability results with other existing models. Among the main results are the reliability of the metrics for the static analysis of fuzzy maps, the similarity with respect to a target student, and the importance that each subject represents in a new record.*

Keywords — Recommendation Systems, Subjects, Student_Record, Fuzzy Cognitive Maps.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la toma de decisiones sobre temas o aspectos de la vida real, resulta ser compleja para las personas. Con el progreso en las tecnologías de punta y el incremento de los sistemas de gestión y control de procesos, se han desarrollado herramientas de asistencia a la toma de decisiones, partiendo de información previa registrada. Dentro de los elementos principales que juegan un papel fundamental a la hora de tomar una decisión se manifiestan: (i) El grado de madurez de las personas; (ii) El nivel de conocimientos; y, (iii) la información disponible relacionada con la decisión que se desea tomar.

Estos elementos en el contexto universitario no son la excepción, también pueden considerarse por el estudiante al momento de tomar una decisión, que implique mejorar su rendimiento académico futuro. La elección de una asignatura, o un grupo de ellas asociadas a un perfil académico, son eventos que se presentan en las diferentes etapas de formación de un estudiante y que resulta difícil, para aquellos con falta de experiencia o porque cuentan con deficiente información, para tomar una mejor decisión, frente a un proceso de registro o matriculación en un nuevo ciclo lectivo.

En el proceso de toma de decisiones, es posible modelar la información de un suceso mediante un grafo, que permita identificar y analizar la relación que existe entre los datos que la componen. El grafo se representa como una Matriz de Decisión, con información existente que puede ser incierta, ambigua, imprecisa y borrosa [1]. En la toma de decisiones bajo incertidumbre, los modelos causales pueden ser empleados como una alternativa para comprender e implementar sistemas complejos [2] [3].

Como parte de las técnicas empleadas para la inferencia causal, se destacan las Redes Bayesianas (RB) y los Mapas Cognitivos Difusos (MCD). Ambas técnicas son representadas en términos computacionales como grafos dirigidos [4].

Los MCD han sido empleados en diferentes dominios de la vida real [5]. Su empleo en la toma de decisiones [6] y el desarrollo de sistemas de ayuda para este fin [7] se destacan como áreas de uso frecuente. Su representación en forma de grafos dirigidos permite esquematizar la información y la forma cómo se encuentran relacionados los elementos que componen el problema. Esta técnica permite visualizar y estudiar la dinámica de cambios de un estado determinado a otro, los mismos que son analizados en diferentes situaciones [8].
Por otra parte, los sistemas de recomendación, también se han convertido en herramientas muy útiles al proporcionar ayuda a la hora de tomar decisiones en diferentes entornos de la sociedad [9].

En ciertos sistemas educativos universitarios, un consejero académico es aquel funcionario de gestión, por lo general un docente encargado de orientar a los alumnos en educación superior. Su función principal, basada en su experiencia, es brindar soporte a los estudiantes en su visión respecto a la decisión acerca de temas importantes, como es la selección de las asignaturas de la malla curricular de su carrera profesional, en época de registros académicos o procesos de matriculación de inicio de semestre, entre otros temas. Además, constituyen un apoyo a los estudiantes con problemas en su rendimiento académico, ayudando a los mismos a encontrar posibles soluciones para su mejora.

Manejar de forma eficiente toda la información académica referente a los estudiantes es un proceso complejo para estos profesionales. El gran volumen de información a analizar para la selección de criterios y consejos a brindar, es un proceso complejo en el cual es posible obviar información relevante del perfil del estudiante. Colateralmente a esta problemática se tiene la carencia de una plataforma virtual para la gestión de toda la información, que se genera durante el proceso y que es de vital importancia para la toma de decisiones al momento de aconsejar al estudiante basado en experiencias y perfiles similares, así como ser considerado como punto de partida para aquellos nuevos especialistas que se incorporen en el proceso docente de consejería estudiantil.

Como objetivo general de la investigación, está desarrollar un sistema inteligente de recomendación de asignaturas, apoyado en el uso de Mapas Cognitivos Difusos (MCD) a partir del análisis del Perfil Académico de un estudiante universitario; y como objetivos específicos: (i) estructurar los componentes del sistema; (ii) describir el Flujo de Trabajo; y, (iii) validar el modelo del sistema. La novedad científica del trabajo se refleja en la propia concepción del modelo de recomendación y la fundamentación teórica de flujo de trabajo basado en inferencias causales.

El aporte práctico de la investigación se manifiesta en una herramienta informática (FCM-Decision) para la generación de recomendaciones de asignaturas.

La estructura del artículo consta de cuatro apartados: En la Sección II se desarrolla la fundamentación y el marco teórico conceptual de los Modelos de recomendación basados en MCD. En la Sección III, se desarrolla el análisis y diseño del Sistema de Recomendación propuesto para la ayuda a la toma de decisiones en la elección de asignaturas durante el registro de un nuevo ciclo lectivo, estimando las calificaciones obtenidas y que podría obtener, así como el esfuerzo a realizar para mejorar el aprovechamiento académico. En la Sección IV, se expone la validación de los algoritmos, la presentación de resultados, su análisis y discusión. Finalmente, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones resultantes de la investigación en la Sección V, acompañadas de las respectivas Referencias Bibliográficas.

2 MARCO TEÓRICO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA

2.1 Toma de decisiones

La toma de decisiones es el proceso de aprendizaje natural o estructurado, mediante el cual se elige entre dos o más alternativas, opciones o formas para resolver diferentes situaciones o conflictos de la vida, la familia, la empresa u organización. Cada día se toman decisiones, las cuales no necesariamente son la mejor opción. Cuando se toman decisiones es necesario estar conscientes, que cada una conlleva consecuencias positivas o negativas y también implica un riesgo. La toma de decisiones a nivel individual está caracterizada por el uso del razonamiento y pensamiento de una persona, para elegir una decisión ante un problema o conflicto que le presente la vida.

En [10] proponen un procedimiento para la toma de decisiones, el cual consta de las siguientes actividades:

1. Definir el problema de toma de decisiones.
2. Analizar el problema y la información.
3. Identificar las alternativas de solución.
4. Establecer criterios o expertos por los cuales ellas puedan ser evaluadas.
5. Evaluar alternativas y seleccionar la mejor.

En el análisis de los procesos de toma de decisiones, se inicia configurando la matriz de decisión, en la Fig. 1. Se detalla una representación de los elementos que la componen:

	X_1	X_2	...	X_j	...	X_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
A_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}
...	...	...	...	...	...	...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

Fig. 1. Matriz de decisiones

Los elementos presentes en la matriz de decisión son los siguientes:

$A_1,...,A_m$: Los diferentes estados de la naturaleza que se pueden presentar.

$X_1,...,X_n$: Las diferentes decisiones o estrategias que puede adoptar el decisor.

$x_{11},...,x_{mn}$: Los diferentes resultados, que surgen de combinar una estrategia con los diferentes estados de la naturaleza. Éstos pueden ser exactos o imprecisos, según la información disponible para el problema.

Los ambientes de decisión se pueden clasificar de la siguiente forma [1]:

— Certidumbre: La decisión es inmediata y se conoce cuál es la mejor decisión posible.
— Riesgo: Se desconoce cuál es la mejor solución posible, pero sí se puede asociar un nivel de probabilidad asociado a las posibles situaciones futuras.
— Incertidumbre: Se determina cuáles son los posibles resultados futuros, pero se desconoce el nivel de probabilidad asociada a ellos.

Los Métodos de Decisión Multicriterio (MDMC) [11] constituyen un conjunto de metodologías que brindan soporte a las circunstancias, donde criterios en conflicto, metas, objetivos, y puntos de vista, deben ser tomados en consideración a la hora de la toma de decisiones. Esta acción bajo múltiples criterios es una tarea subjetiva que depende de las preferencias de un grupo de decisores. Se relaciona con la estructuración del problema, el modelado de las preferencias, la construcción y caracterización de diferentes funciones de agregación de criterios, así como de la construcción de herramientas, que les brinden soporte a los modelos. En la actualidad la decisión multicriterio es considerada como la parte más importante de la teoría de la decisión [12].

2.2 Sistemas de recomendación

El objetivo de los sistemas de recomendación (RS) es facilitar el proceso de toma de decisiones, en el instante de elegir entre un conjunto de posibilidades. La mayoría de los sistemas de recomendación están catalogados en base a la fuente de conocimiento: así, pueden distinguirse entre los sistemas basados en contenido y los sistemas colaborativos.

Por lo general, los sistemas de recomendación se encargan de proporcionar a los usuarios consejos e información personalizada sobre productos o servicios que puedan ser de interés a la hora de tomar una decisión. Este proceso, en el que el sistema guía al usuario a la hora de realizar una elección, puede proporcionar resultados que sean de gran utilidad, ya sea ahorrando tiempo, proporcionando datos relevantes de forma cómoda y fácil, e incluso obteniendo información que permite valorar opciones que de otra forma antes no se habrían contemplado, algo muy apreciado por la mayoría de los usuarios.

Simplificando, se puede decir que un sistema de recomendación reduce su problemática al predecir la puntuación que el usuario daría a una serie de ítems que todavía no ha calificado. Esta predicción, de la forma más intuitiva, podría basarse en las calificaciones basadas en puntajes, que otros usuarios asignaron en el pasado (sistemas colaborativos o sistemas de filtrado colaborativo), aunque también puede obtenerse usando otra clase de información distinta a las valoraciones mencionadas, como pueden ser las características concretas de los productos, los perfiles de preferencias de los distintos usuarios a la hora de tomar decisiones, información demográfica sobre ellos, heurísticas basadas en comportamientos humanos, entre otros; y por supuesto, usar hibridaciones de diversas aproximaciones, entre las existentes.

Aunque los RS tienen el mismo objetivo, ayudar al usuario generando una serie de recomendaciones, de manera que se minimice al máximo la búsqueda que el usuario debe realizar, existen diversas fuentes de las que se nutren de la información requerida y diversas técnicas que mediante estos sistemas construyen, evalúan y proporcionan sus resultados [13]: (i) Basados en contenido [14]; (ii) Demográficos [15]; (iii) Basados en conocimiento [16]; (iv) Basados en utilidad [17]; (v) Sistemas de recomendación Híbridos [18]; y, (vi) los Sistemas de recomendación Basados en Filtrado Colaborativo.

Estos últimos RS se aplican actualmente en muchos sectores del entorno web. Los usuarios de un sistema colaborativo comparten sus valoraciones y opiniones con respecto a los ítems que conocen de forma, en cambio que otros usuarios del sistema, puedan decidir qué elección realizar. Así mismo, otros sistemas proporcionan recomendaciones personalizadas, para aquellos elementos que resultan atractivos para el usuario.

Es importante recalcar, que en el filtrado colaborativo son los usuarios, quienes determinan la relevancia, cualidad, prioridad e interés de los ítems, por lo que se puede realizar el filtrado sobre elementos difíciles de analizar mediante computación. Esto se consigue gracias a que el problema no se intenta solucionar analizando los elementos que se trata de recomendar, sino manejando directamente las valoraciones, objetivas y/o subjetivas, que sobre esos elementos se han realizado.

Además, el filtrado colaborativo tiene la competencia de discernir cómo se adapta un ítem a las necesidades o intereses de los

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

usuarios, basándose en la propia capacidad de los humanos de analizar en términos de calidad o gusto, algo difícil de realizar por procesos computacionales.

Por otro lado, se puede aportar al usuario ítems fortuitos por casualidad o accidente, haciendo recomendaciones de ítems importantes que dicho usuario no esperaba encontrar, que de otro modo posiblemente jamás habría considerado. Este fenómeno es conocido con el término en inglés serendipity, y hace referencia a un hallazgo casual beneficioso, afortunado y no esperado [19]. Si bien esta técnica de recomendación deja la elección del sistema de recomendación al usuario del sistema hay que tener en cuenta que se necesita una alta capacidad de cómputo para que este sistema sea usable. El sistema debe estar configurado para poder calcular recomendaciones de forma paralela y estar preparado para situaciones de alta carga en las horas pico del sistema.

Como se aprecia, el potencial del filtrado colaborativo es significativo, cuando se debe discriminar y tener en cuenta comportamientos subjetivos. Sin embargo, según [20], para alcanzar el potencial completo, es casi seguro que debe hibridarse con tecnologías de otros sistemas, basados en contenido.

2.3 Algoritmos de Agrupamiento

Con el objetivo de identificar elementos pertenecientes a un mismo grupo y distinguir las diversas formas de distribución de la información en un dominio de estudio, el empleo de algoritmos de agrupamiento juega un papel muy importante para la obtención de mejores resultados.

Los algoritmos de recomendación colaborativos pueden ser agrupados en dos clases generales [21]:

— Algoritmos basados en memoria (o en vecindad, o heurísticos)
Son esencialmente implementaciones heurísticas, que realizan predicciones basadas en una colección completa de ítems valorados previamente por el usuario. Es decir, el valor de una puntuación no conocida v para un usuario u sobre un ítem i se calcula como un agregado de las valoraciones de otros usuarios (los K más parecidos) para el mismo ítem *i*.

— Algoritmos basados en modelos: Utilizan una colección de valoraciones para aprender un patrón. Mejora el rendimiento en cuanto a la predicción porque da un fundamento más intuitivo. el cual será utilizado a la hora de realizar las futuras predicciones. Algunos algoritmos colaborativos basados en modelos se fundamentan en:

- Uso de redes bayesianas [22] y sus derivados [23].
- Métodos de clustering para filtrado colaborativo [24].
- Análisis iterativo de la componente principal [25].
- Otro método interesante es utilizar modelos de aprendizaje de manera, que se pueda tratar el filtrado colaborativo como un problema de clasificación. [26].

Teniendo en cuenta las características de los algoritmos de filtrado, que fueron argumentados y los datos que serán manejados en nuestro problema, por la simplicidad e intuición de entendimiento, su estructuta flexible, adaptable al razonamiento causal, la propuesta estará centrada en los algoritmos basados en modelos. Con la implementación de un modelo de Mapa Cognitivo Difuso (MCD) para su simulación, se realizarán las predicciones de asignaturas del sistema a desarrollar para dar solución al problema.

2.4 Distancia euclidiana

En álgebra, geometría y más específicamente, en análisis real, análisis complejo y geometría analítica, se trata de una función no negativa usada en diversos contextos para calcular la distancia entre dos puntos, primero en el plano y luego en el espacio. También sirve para definir la distancia entre dos puntos en otros tipos de espacios o más dimensiones. Sus bases se encuentran en la aplicación del Teorema de Pitágoras sobre triángulos rectángulos, donde la distancia euclidiana viene a ser por lo general, la longitud de la hipotenusa, conformado por cada punto y los vectores proyectados sobre los ejes directores al nivel de la hipotenusa.

En $\mathbb{R}^2$, sean los puntos $\boldsymbol{A} = (\boldsymbol{x_A}; \boldsymbol{y_A})$, $\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{x_B}; \boldsymbol{y_B})$ se define la distancia euclidiana entre dichos puntos por:

$$\boldsymbol{d_E(A,B)} = \sqrt{(\boldsymbol{x_A} - \boldsymbol{x_B})^2 + (\boldsymbol{y_A} - \boldsymbol{y_B})^2} \quad (1)$$

En $\mathbb{R}^3$, sean los puntos $\boldsymbol{A} = (\boldsymbol{x_A}; \boldsymbol{y_A}; \boldsymbol{z_A})$ y $\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{x_B}; \boldsymbol{y_B}; \boldsymbol{z_B})$ se define la distancia euclidiana mediante la expresión:

$$\boldsymbol{d_E(A,B)} = \sqrt{(\boldsymbol{x_A} - \boldsymbol{x_B})^2 + (\boldsymbol{y_A} - \boldsymbol{y_B})^2 + (\boldsymbol{z_A} - \boldsymbol{z_B})^2} \quad (2)$$

Y de manera más general en un espacio $\mathbb{R}^N$, la distancia euclidiana entre dos puntos $N - dimensionales$: $\boldsymbol{A} = (\boldsymbol{a_1}; \boldsymbol{a_2}; \ldots; \boldsymbol{a_N})$ y $\boldsymbol{B} = (\boldsymbol{b_1}; \boldsymbol{b_2}; \ldots; \boldsymbol{b_N})$ se define como:

$$\boldsymbol{d_E(A,B)} = \sqrt{(\boldsymbol{a_1} - \boldsymbol{b_1})^2 + (\boldsymbol{a_2} - \boldsymbol{b_2})^2 + \cdots + (\boldsymbol{a_N} - \boldsymbol{b_N})^2} \quad (3)$$

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

De manera general, la métrica euclidiana entre dos puntos se define como la longitud del segmento de recta que une a dichos puntos.

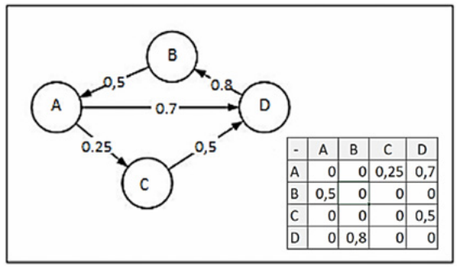
La distancia euclidiana por su sencillez en su cálculo, será en consecuencia, recomendable también utilizarla cuando las variables sean homogéneas y estén medidas en unidades similares y/o cuando se desconozca la matriz de varianzas.

2.5 Mapas cognitivos difusos

Los mapas cognitivos [2] y [3] representan el conocimiento causal sin indicar el grado de fortaleza de la relación causa-efecto. Definen y simulan la dinámica de sistemas por medio de conocimiento cualitativo [27].

Los Mapas Cognitivos Difusos MCD, son una técnica introducida por [28] como una extensión de los mapas cognitivos [20]. Los MCD mejoran los mapas cognitivos describiendo la fortaleza de la relación mediante el empleo de valores borrosos en el intervalo [-1,1]. Los nodos son conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones, valores, metas o procesos [29]. Constituyen una estructura de grafo difuso con retroalimentación para representar causalidad. Combinan herramientas teóricas de los mapas cognitivos, la lógica difusa, las redes neuronales, las redes semánticas, los sistemas expertos, y los sistemas dinámicos no lineales [4].

Un MCD elemental puede ser representado a través de un dígrafo, en el cual los nodos representan conceptos y los arcos indican su relación causal [27]. La matriz de adyacencia es obtenida a partir de estos valores asignados a los arcos, tal como se muestra en la Fig. 2.



-	A	B	C	D
A	0	0	0,25	0,7
B	0,5	0	0	0
C	0	0	0	0,5
D	0	0,8	0	0

Fig. 2. Mapa cognitivo difuso y su correspondiente matriz de adyacencia.

Entre los elementos que permiten una representación más realista del conocimiento se encuentra la posibilidad de representar retroalimentación, la influencia del tiempo, la vaguedad y la ambigüedad. Presentan una mayor usabilidad para obtener conocimiento de los expertos. Actualmente no existe una amplia disponibilidad de herramientas tanto comerciales como libres que den soporte a los MCD.

En los MCD existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos:

— Causalidad positiva (W_{ij}>0): Indica una causalidad positiva entre los conceptos C_i y C_j, es decir, el incremento/disminución en el valor de C_i lleva al incremento/disminución en el valor de C_j.
— Causalidad negativa (W_{ij}<0): Indica una causalidad negativa entre los conceptos C_i y C_j, es decir, el incremento/disminución en el valor de C_i lleva la disminución/incremento en el valor de C_j.
— No existencia de relaciones (W_{ij}=0): Indica la no existencia de relación causal entre C_i y C_j.

Los valores de los conceptos son calculados en cada paso de la simulación, determinando la influencia de los conceptos interconectados al concepto específico de acuerdo a la siguiente regla:

$$A_i^{(t+1)} = f\left(A_i^{(t)} + \sum_{j=1, j\neq i}^{n} A_j^{(t)} \cdot W_{ji}\right) \quad (4)$$

Donde $A_i^{(t+1)}$ es el valor del concepto C_i en el paso (t+1) de la simulación, $A_i^{(t)}$ y $A_j^{(t)}$ son los valores del concepto C_i y C_j, respectivamente en el paso t de la simulación, W_{ji} es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i, y $f(x)$ es la función de activación [30].

La causalidad juega un papel fundamental en la cognición humana especialmente en la toma de decisiones [31]. La definición sistémica plantea la causalidad como las interacciones que involucran un conjunto de elementos (las entradas o causas) afectando el estado futuro de otros (con las salidas o efectos) [29].

Para definir una relación como causal esta debe cumplir tres condiciones [12]:

Asimetría: la causa siempre precede al efecto.
Linealidad: la causa es seguida por un efecto.
Transitividad: si A causa B y B causa C, entonces A causa C.

Los enlaces entre causa y efecto son frecuentemente imprecisos, imperfectos y con presencia de incertidumbre por naturaleza [31]

[32]. Para considerar la causalidad imperfecta desde un punto de vista computacional, se requiere la obtención de modelos causales imprecisos.

Surge entonces la necesidad de plantear la causalidad en términos de lógica difusa ofreciendo esta un marco adecuado para manejar casos de causalidad imperfecta. La teoría de los conjuntos difusos o borrosos fue introducida por Zadeh [33]. Está basada en la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia [34].

Una función de pertenencia o inclusión $\mu_A(t)$ indica el grado μ en que la variable t está incluida en el concepto representado por la etiqueta A [35]. Para la definición de estas funciones de pertenencia se utilizan convenientemente ciertas familias, por coincidir con el significado lingüístico de las etiquetas más utilizadas. Las más frecuentes son: la triangular, trapezoidal y gaussiana Fig. 3.

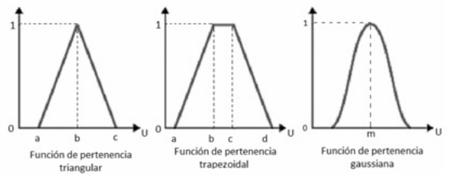


Fig. 2. Mapa cognitivo difuso y su correspondiente matriz de adyacencia.

Los nodos de los MCD están representados por los conceptos a modelar y los arcos o aristas, determinan las relaciones causales entre estos. Se emplea el término granularidad del conjunto de términos lingüísticos para expresar el grado o nivel de causalidad, o intensidad de conexión entre los nodos [36].

La granularidad presente en las relaciones causales [37] hace adecuada su representación mediante variables lingüísticas [38, 39] El empleo de estas variables lingüísticas implica la necesidad de realizar procesos de computación con palabras [40].

La computación con palabras es una metodología que permite realizar un proceso de razonamiento utilizando palabras pertenecientes a un lenguaje en lugar de números. Dicha metodología permite crear y enriquecer modelos de decisión en los cuales la información vaga e imprecisa [41] es modelada a través de variables lingüísticas.

El modelo de representación lingüística de 2-tuplas, permite realizar procesos de computación con palabras sin pérdida de información, basándose en el concepto de traslación simbólica. En los cinco últimos años, se propuso un modelo para combinar la computación con palabras mediante el modelo de representación de las 2-tuplas lingüísticas y los mapas cognitivos difusos [42].

Debido a esta característica y a su relativa facilidad de uso, el autor considera este modelo como el más adecuado para la computación con palabras en MCD, especialmente cuando estos se obtienen a partir de juicio de expertos.

Sea $S=\{s_0,s_1,...,s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0,g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S.

Definición 1: [43] La Traslación Simbólica de β en un término lingüístico $S=_{(si)}$, es un número α valorado en el intervalo [−.5,.5) que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0,g]$, obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, donde $i \in \{0,...,g\}$ que indica el índice de la etiqueta lingüística s_i más cercana en S.

A partir de este concepto se desarrolló un nuevo modelo de representación de la información lingüística el cual hace uso de un par de valores, también denominado 2-tuplas. Este modelo de representación define un conjunto de funciones que facilitan las operaciones sobre 2-tuplas.

Definición 2: [43] Sea $S=\{s_0,s_1,...,s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0,g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica, entonces la 2-tupla lingüística que expresa la información equivalente a β, se obtiene usando la siguiente función:

$$\Delta: [0,g] \rightarrow S \times [-.5,.5) \quad (5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \begin{cases} s_i, & i = round(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-.5,.5) \end{cases} \quad (6)$$

Donde round es el operador usual de redondeo para (s_i), que es la etiqueta lingüística con índice i más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

Siendo $\langle S\rangle = Sx[-.5,.5)$, es importante resaltar que la inversa $\Delta^{-1}:\langle S\rangle \rightarrow [0,g]$ está definida como $\Delta^{-1}(s_i,\alpha)=i+\alpha$. De este modo, una 2-tupla lingüística $\langle S\rangle$ queda identificada con su valor numérico en [0,g].

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

3 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN

El modelo se basa en el historial de calificaciones del estudiante. Adicionalmente se toman en cuenta otros aspectos, tales como: asignaturas aprobadas del nivel de estudio en que se encuentre y las asignaturas pendientes de cursar.

Se utiliza un enfoque basado en la toma de decisiones bajo incertidumbre [29] para determinar el nivel de importancia de las asignaturas, considerando la utilización de técnicas de softcomputing [8], específicamente la computación con palabras mediante el modelo de las 2-tuplas lingüísticas evitando la perdida de información [44].

Se propone un modelo de recomendación y ayuda a la toma de decisiones basado en la relación de los resultados de la integración del algoritmo de cálculo de distancia, la modelación y el análisis de MCD.

Se puede manejar información lingüística y numérica [45] en la modelación del MCD. Se da preferencia al manejo de información numérica, sin embargo, los expertos pueden manejar ambos dominios de información.

A continuación, se muestra la Tabla I con la relación de las etiquetas que se utilizan en el modelado:

TABLA I RELACIÓN DE ETIQUETAS LINGÜÍSTICAS.

Etiqueta	Valor
Muy alta (VH)	1.0
Alta (H)	0.8
Normal (Z)	0.5
Baja (L)	0.4
Muy baja (VL)	0.2

Como se observa, la relación de los conceptos que serán modelados en el MCD se expresará en 5 criterios esencialmente. Desde una relación más débil con un valor de 0.2 hasta una relación total con un valor de 1.0, se utilizan para la representación de las relaciones del mapa. El valor 0 no se incluye porque su equivalencia es la NO relación entre conceptos.

3.1 Estructura general del modelo

En la Fig. 4, se muestra una representación gráfica del modelo que rige la investigación:

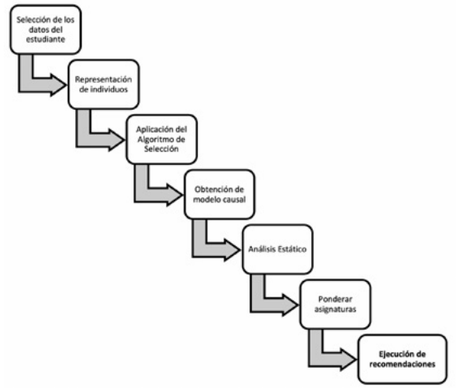


Fig..4. Etapas del Modelo

· Proceso de selección de datos de estudiantes

En el modelo propuesto se presenta como información para la investigación, el historial de calificaciones de los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales de una universidad de la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Para el estudio se tomarán los datos de los estudiantes de los 2 primeros niveles académicos de la carrera en los períodos lectivos 2017 CI, CII y 2018 CII. A partir de esta información se aplicará la selección de asignaturas y estudiantes, para generar como salida del sistema, una recomendación a un estudiante específico.

Como primer paso para iniciar el proceso se debe seleccionar el estudiante al cual se quiere brindar consejería académica. Para ello, se escogerá un estudiante, en este caso, un estudiante del primer nivel que se denominará estudiante objetivo.

El segundo paso estará planteado por la selección de los estudiantes de la misma

carrera, pero un nivel superior al estudiante objetivo. Serán válidos para el proceso de selección, aquellos estudiantes que obtuvieron calificaciones con cierto grado de similitud, en las asignaturas del nivel académico del estudiante objetivo.

El proceso de selección de los individuos semejantes al estudiante objetivo se obtendrá de la ejecución del algoritmo de distancia euclidiana en función de las calificaciones de los mismos. Como resultado de la ejecución se obtiene el estudiante con mayor similitud al estudiante objetivo.

· Representación de individuos

La función de distancia euclidiana, con base en el teorema de Pitágoras como se hace referencia en el capítulo anterior, es el cálculo de la distancia entre dos puntos en un espacio cartesiano.

Los estudiantes seleccionados serán representados en una matriz bidimensional de estudiantes x calificaciones. Adicionalmente en la matriz se incluye el estudiante objetivo con sus calificaciones, actuando como centro sobre el cual se realizarán los cálculos.

· Aplicación de algoritmo de selección

La aplicación del algoritmo se basa en la función $d(A,B)=\sqrt{(\sum_{i=1}^{N}(b_i-a_i)^2}$ en cada una de las calificaciones por asignaturas, donde siempre estará representado por las calificaciones del punto A el estudiante objetivo. El menor promedio de la suma de las distancias desde (A) hasta cada uno de los estudiantes (B) de la matriz representa al individuo con mayor similitud respecto al estudiante objetivo (A). Teniendo este resultado, se recomienda al estudiante (A) el valor aproximado de la calificación por asignatura que puede alcanzar en el próximo nivel de estudio, manteniendo el mismo rigor académico que tiene en la actualidad.

Con el objetivo de representar la relación de las asignaturas de una determinada carrera se diseña la estructura general de un modelo basado en el uso de los MCD como técnica de inferencia causal para fusionar el conocimiento de los expertos y evaluar las distintas alternativas que estos nos ofrecen para su análisis.

· Obtención de Modelo Causal

El modelo está soportado en una herramienta informática desarrollada por (Reimar, 2012) denominada FCM-Decision.

A continuación, se presenta el flujo de trabajo del modelo en FCM Fig. 5.

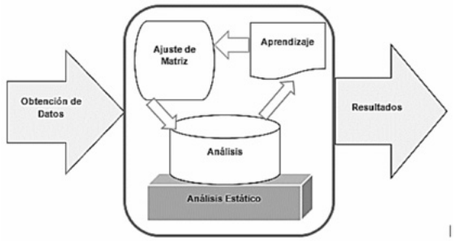


Fig. 5. Flujo de trabajo del modelo.

Las actividades principales representadas en el flujo de trabajo de la figura anterior son: la obtención de datos como pasos iniciales del proceso, el ajuste de la matriz de adyacencia que se obtiene producto de la representación de los datos y la relación que existe entre ellos, el análisis estático y el aprendizaje como paso importante para el ajuste de valores causales por los expertos para la obtención de un resultado más representativo.

El flujo de trabajo a seguir para la obtención del MCD que representará el conocimiento causal que los expertos tienen sobre el dominio, está basado en un conjunto de pasos que permiten la agregación de los mapas individuales. La participación de múltiples expertos ayuda a la compresión conjunta del problema, así como a la búsqueda de una solución por consenso.

A continuación, se describen los pasos del flujo de trabajo en la Fig. 6:

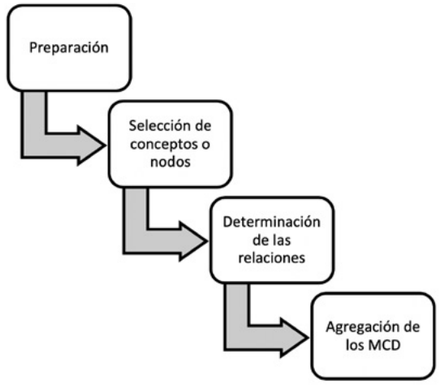


Fig.6. Flujo del trabajo de obtención del modelo causal

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

— Preparación: Se identifican las fuentes de información que serán analizadas en el estudio. Para la obtención de datos, es aconsejable la participación de varios expertos con diferentes criterios. La información que se modelará, al igual que en el flujo de selección de estudiantes, se extrae del historial de calificaciones de estos en una universidad de la ciudad de Guayaquil. Además, se cuenta con los datos ofrecidos por expertos donde cuantitativamente exponen la relación que existe entre las diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de esta universidad.

— Selección de conceptos o nodos: Son determinados los conceptos que serán representados en el mapa. Cada uno de los conceptos representará una asignatura de la carrera, las cuales deben ser asignaturas del ciclo lectivo que se encuentre cursando el estudiante objetivo.

— Determinación de las relaciones: Se determina el tipo de causalidad existente entre conceptos. La causalidad puede tomar valores negativos y positivos, en dependencia del área de estudio que se esté modelando. En el modelo que se analiza, solo se trabajará con valores positivos, representando la relación que existe entre las asignaturas de un ciclo lectivo.

El peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i es representado mediante 2-tuplas lingüísticas del siguiente modo:

$$W_{ij} = (s_{ij}^{w}, \alpha_{ij}^{w}) = \beta_{ij}^{w} \qquad (7)$$

Dado que el modelo lingüístico basado en 2-tuplas permite realizar una trasformación entre una 2-tupla lingüística y un valor numérico en el intervalo de granularidad [0,g-1] y los MCD trabajan sobre valoraciones numéricas expresadas en el intervalo [−1,1], es necesario realizar una trasformación de una 2-tupla a un valor numérico en el intervalo [−1,1] que nos permita trabajar con MCD.

— Agregación de los MCD: Como último paso del presente flujo se realiza la agregación del mapa modelado por los expertos. El análisis de un MCD se puede hacer mediante un análisis estático y/o análisis dinámico. Para el modelo que se presenta solo se realiza el análisis estático, considerando que para la obtención de los resultados es suficiente su aplicación. Mediante la agregación de los mapas individuales el modelo colectivo se hace menos susceptible a creencias potencialmente erróneas de un único experto y sirviendo como base de conocimiento colectivo [46]. La Fig. 7 muestra el flujo de trabajo para la obtención del modelo colectivo:

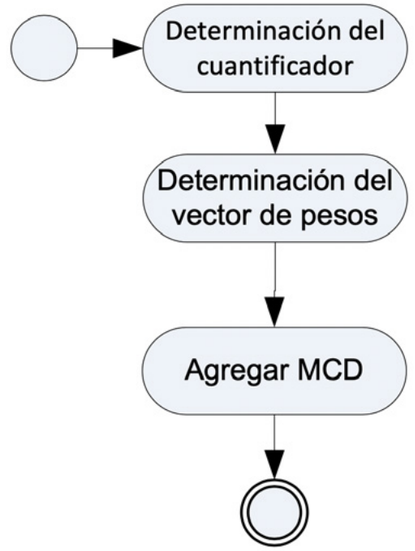


Fig.7. Flujo de trabajo para la agregación de los modelos individuales.

Se propone en este trabajo, el empleo de la familia de operadores OWA y en especial el cálculo del vector de pesos mediante cuantificadores lingüísticos. La Familia de operadores *Ordered Weighted Averaging OWA* -o traducido al español, media ponderada ordenada [47]. Este método unifica los criterios clásicos de decisión con incertidumbre en un solo modelo. Es decir, esta unificación abarca los criterios optimista, el pesimista, el de Laplace y el de Hurwicz en una sola expresión [1].

Este operador puede ser definido de la forma siguiente:

Definición 3: Un operador OWA es una función $F:\mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ de dimensión n si tiene un vector asociado W de dimensión n con $w_j \in [0,1]$ y $\sum_{j=1}^{n} w_{-j} = 1$, de forma tal que:

$$F(a_1, a_2, \ldots, a_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j b_j \qquad (8)$$

Donde b_j es el j-ésimo más grande de los a_j.

Es decir si $W = \left\{w_1 = \frac{6}{11}, w_2 = \frac{2}{11}, w_3 = \frac{3}{11}\right\}$ y $A = \{3,4,5\}$, entonces:

$$F(3,4,5) = \sum_{j=1}^{n} w_j b_j = \left(\frac{6}{11}\right)(5) + \left(\frac{2}{11}\right)(4) + \left(\frac{3}{11}\right)(3) = \frac{47}{11}$$

El vector de pesos w_j asociado al operador OWA puede ser determinado de modo funcional [48]. Por otra parte, este vector es empleado para indicar el nivel de compensación entre los criterios y el nivel de optimismo del decisor [23]. Dentro de este enfoque se destaca el empleo de los cuantificadores regulares no decrecientes Q [49]. Esto evita la necesidad de determinar parámetros externos al modelo, aunque en principio el modelo es flexible tanto para admitir otras formas del cálculo del vector de pesos, como otros operadores de agregación.

A continuación, se describe el flujo de trabajo de agregación:

— Determinación del cuantificador: Los cuantificadores lingüísticos difusos son empleados para representar cuantificadores del quehacer diario como por ejemplo: casi todos, muchos, al menos la mitad, entre otros. [49]. El primer paso consiste en la selección del cuantificador a emplear.

— Determinación del vector de pesos. En este caso se sugiere que el vector de pesos asociado al operador OWA sea determinada por un cuantificador regular no decreciente Q [48].

Un Cuantificador Q es un conjunto difuso [0,1] donde dada una proporción r∈[0,1], Q(r) representa el grado en que r representa la semántica definida en Q, con regla de correspondencia:

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & si\ r \leq \alpha \\ \frac{r-\alpha}{\beta-\alpha} & si\ \alpha < r \leq \beta \\ 1 & si\ r > \beta \end{cases} \quad (9)$$

Si Q es un Cuantificador Incremental Monótono Regular (RIM por sus siglas en inglés) entonces el valor agregado de la alternativa x=(a_1,...a_n) esta dado por F_q (a_1,...a_n), donde F_q es un operador OWA derivado de Q. Los cuantificadores RIM pueden ser empleados para generar los pesos del = operador OWA utilizando la siguiente expresión,

$$w_i Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{i-1}{n}\right) \quad (10)$$

— Agregar MCD: En caso de participar más de un experto y de obtenerse los modelos de manera independiente, se realiza la agregación. Esta actividad consiste en la fusión de los MCD individuales obtenidos.

• Análisis estático

Para determinar la importancia y selección de los nodos representados en un MCD se utiliza el análisis estático, como se muestra en la Fig. 8.

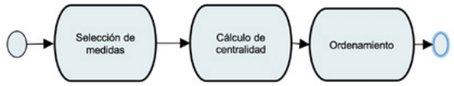


Fig. 8. Análisis estático.

— Selección de las medidas: Se selecciona el aspecto del MCD o la combinación que se desea analizar. En el presente estudio, se decidió establecer el nivel de fuerza de la conexión entre los nodos (asignaturas), para determinar su importancia dentro del grafo.

— Cálculo de centralidad: Se calculan los valores de entrada y salida de los nodos (Indegree y Outdegree, respectivamente) para determinar la centralidad. De emplearse más de una medida de centralidad se determina un valor compuesto de centralidad mediante la agregación de nuevos valores.

En este trabajo, como propuesta inicial, se propone la transformación del valor numérico equivalente de una 2-tupla β a un valor numérico en el intervalo [-1,1] del siguiente modo:

$$\gamma: [0, g-1] \rightarrow [-1,1] \quad (11)$$

$$\gamma(v) := \frac{2v}{g-1} - 1 \quad (12)$$

$$\gamma^{-1}: [-1,1] \rightarrow [0, g-1] \quad (13)$$

$$\gamma^{-1}(v) = \frac{(v+1)(g-1)}{2} \quad (14)$$

Donde **g** es la granularidad del conjunto de términos S.

Las funciones anteriores junto a las funciones asociadas con la 2-tupla, permiten la representación de relaciones causales tanto positiva como negativa y la agregación de estos valores para la realización del proceso de inferencia causal utilizando las 2-tuplas.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

— Ordenamiento: En esta actividad se ordenan los nodos de acuerdo a su importancia en el modelo.
Se representa el MCD como un grafo dirigido ponderado (V,E) , donde V es el conjunto de nodos y E es el conjunto de conexiones entre esos nodos.

Para priorizar los nodos más importantes se determina la centralidad del factor (C_i) a partir de su Outdegree (od_i) e *Indegree* (id_i), teniendo en cuenta la magnitud de los pesos c_ij de la siguiente manera:

▪ *Outdegree*: $od(v_j)$ es la suma de las filas en la matriz de adyacencia y refleja la fortaleza de las relaciones (c_{ij}) salientes de la variable.

$$od(v_j) = \sum_{i=1}^{N} c_{ij} \quad (15)$$

▪ *Indegree*: $id(v_j)$ es la suma de las columnas y refleja la intensidad de las relaciones (c_{ji}) entrantes de la variable.

$$id(v_j) = \sum_{i=1}^{N} c_{ji} \quad (16)$$

▪ Grado de Centralidad (C_i) se calcula a partir de la suma de su grado de entrada (id_i) y grado de salida (od_i), tal como se expresa en la fórmula siguiente:

$$C_i = id_i + od_i \quad (17)$$

La centralidad en un MCD indica que tan fuertemente está relacionado un nodo con otros, a partir de sus conexiones directas. Los nodos se clasifican de acuerdo con las siguientes reglas:

▪ Las variables transmisoras tienen *Outdegree* positivo o indeterminado, y cero *Indegree.*

▪ Las variables receptoras en cambio, tienen una *Indegree* positivo o indeterminado, y cero *Outdegree.*

▪ Las variables ordinarias: Tienen un grado de *Indegree* y *Outdegree* distinto de cero.

Los Mapas de Decisión Difusa (FDM) por sus siglas en inglés) se propusieron en el año 2006 para resolver el problema de toma de decisión multicriterio teniendo en cuenta la dependencia y la retroalimentación [49]. Para superar la deficiencia en los métodos AHP y ANP. El FDM incorpora el método de valores propios (eigenvalues), y la ecuación de ponderación [50].

Las ventajas de FDM [50, 51] es superar los inconvenientes de los métodos: Analytic Hierarchy Process AHP y el Analytic Network Process ANP, empleando las diferentes funciones de umbral para indicar los diversos tipos de relación entre los criterios. La capacidad para resolver tanto el compuesto como los efectos de interacción y tratar con influencias directas e indirectas es otra área de ventaja.

Los FDM están basados en los mapas cognitivos difusos (MCD) e indican el grado de influencia entre los criterios [52]. Siendo además una opción adecuada para el modelado de interdependencia [53].

La importancia entre los nodos se compara para derivar el vector de ponderación local utilizando el enfoque de valor propio [50]. Esto se debe hacer por los expertos de dominio de acuerdo con la escala de preferencia como se muestra en la Tabla II.

TABLA II. ESCALA PARA LA RELACIÓN ENTRE LOS CRITERIOS.

Descripción	Valor Numérico
Igual Importancia	1
Importancia Moderada	2
Importancia Fuerte	3
Importancia Muy Fuerte	4
Importancia Extrema	5

Se desarrolló un mapa cognitivo difuso para indicar la influencia entre los criterios por el experto. Interdependencias causales son modeladas de esta manera. Esta etapa consiste en la formación de FDM de sub-factores, como nodos según los expertos.

El cálculo de la ecuación de actualización para obtener la matriz de estado estacionario es la siguiente:

$$C^{(t+1)} = f\left(C^{(t)} \cdot E\right), C^0 = I_{n\times n} \quad (18)$$

Donde $I_{n\times n}$ denota la matriz de identidad, $E=[W_{ij}]$ es una matriz de $n\times n$, que reúne los valores de peso entre los conceptos C_i y C_j, $C^{(t+1)}$ y $C_{(t)}$ son las matrices de estado en iteraciones (t+1) y (t), respectivamente, C^0 es la matriz inicial, y f es la función de transformación de umbral.

Se debe normalizar primero el vector de Peso Local *V* y la matriz de estado estacionario *M*, como sigue:

$$V_n = \frac{1}{k}V, \; M_n = \frac{1}{c}M \quad (19)$$

Donde V_n es el vector normalizado de peso local, y M_n es la matriz normalizada de estado estacionario. Por último, se normaliza el peso global de *W*

Donde *k* es el elemento más grande de *V* y c es la mayor suma de la fila de *M*. Entonces, el vector de peso global de *W*, puede ser calculado como sigue:

$$W = V_n + V_n M_n \quad (20)$$

▪ Ponderar asignaturas

En esta actividad se filtran los cursos de acuerdo al perfil del usuario para encontrar cuáles son las más adecuadas para este.

$$NP_i = C_i N_i \quad (21)$$

Donde NP_i representa la nota ponderada, C_i el valor del peso obtenido por el método FDM y N_i la nota promedio de los *N* vecinos más cercanos

▪ Ejecutar recomendaciones

Una vez calculada la ponderación de las notas de las asignaturas y el valor de centralidad, representado por el siguiente vector:

$$NP_i = (np_i, \ldots, np_n) \quad (22)$$

Los mejores serán aquellos, que mejor satisfagan las necesidades del perfil del usuario.

4 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN BASADO EN MAPAS COGNITIVOS DIFUSOS

La aplicación del proceso de ayuda a la toma de decisiones se torna compleja cuando se tiene un conjunto de datos imprecisos y no se cuenta con herramientas que automaticen el proceso. En este capítulo se presenta un caso de estudio basado en los récords estudiantiles de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de una universidad de la ciudad de Guayaquil, la implementación de los sistemas informáticos para el cálculo de distancia entre estudiantes, el FCM-Decision, como una de las herramientas utilizadas para el modelado y análisis de Mapas Cognitivos Difusos (MCD).

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

4.1 Aplicaciones informáticas utilizadas.

Para el estudio se desarrolla un pequeño sistema que nos permite realizar la selección y cálculo de métricas necesarias para obtener los resultados del modelo. La pantalla del sistema para el cálculo de distancias en la Fig. 9, es una aplicación de escritorio desarrollada en Visual Studio .Net C# sobre una base de datos en Sqlite donde se guardan todos los registros de los estudiantes.

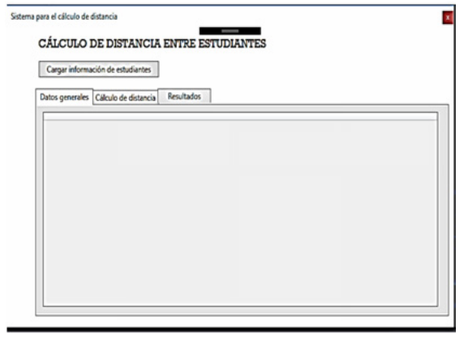


Fig.9. Pantalla del Sistema Informático desarrollado para el cálculo de distancia

El diseño del MCD donde se modelan las asignaturas se realiza con la herramienta FCM-Decision [54]. El desarrollo de la aplicación fue llevado a cabo utilizando la metodología de desarrollo RUP, UML para el modelado del sistema, como lenguaje de programación Java y XML como lenguaje de etiquetado para el tratamiento de ficheros.

La aplicación consta de un panel central donde se encuentra el área de trabajo para la obtención visual del MCD. A la izquierda se muestra la paleta con todos los componentes que brinda la aplicación para el diseño y a la derecha se representa de forma jerárquica los nodos que se encuentran insertados en el área de trabajo. En la parte superior se encuentra ubicada la barra de herramientas la cual contiene funcionalidades básicas de la aplicación. En la Fig. 10, se muestra la vista de las principales funcionalidades y del análisis estático del sistema.

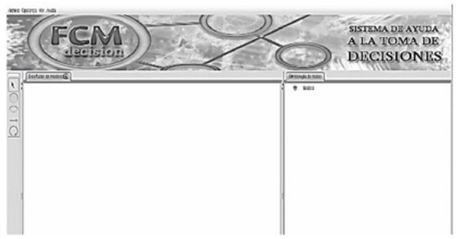


Fig.10. Vista principal del sistema.

El software implementado ha tenido dos alternativas de aplicación: desarrollar sistemas basados en el conocimiento, para resolver problemas concretos, permitiendo simplificar el proceso de ingeniería del conocimiento causal. También ha sido utilizada como medio de enseñanza para el desarrollo de habilidades prácticas en la construcción de sistemas inteligentes y de la ingeniería de software.

4.2 Caso de estudio

El caso de estudio para el análisis se divide en dos partes esenciales. En una primera parte se realiza la selección de los estudiantes con evaluaciones similares (perfiles semejantes) al estudiante que se desea ayudar a tomar una decisión y/o mostrar las alternativas de estudio – asignaturas recomendadas - para mejorar sus resultados académicos. En la segunda parte del estudio se realiza el modelado de la relación que existe entre las diferentes asignaturas que conforman el nivel a cursar por el estudiante en cuestión, así como determinar el grado de importancia que presenta cada una de ellas.

4.3 Validación de la propuesta.

Se procede a validar el modelo propuesto atendiendo a las etapas enunciadas en el epígrafe A, de la Seccion III:

Para la selección de los estudiantes que serán analizados respecto a un estudiante objetivo, se debe tener en cuenta que se tiene que trabajar con dos ciclos consecutivos de cualquiera de las carreras, en dicho caso, de la facultad y carrera del estudiante a dar una recomendación.

Se cuenta con el registro de calificaciones de los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales de una universidad de la ciudad de Guayaquil. En el caso de estudio se tomará el registro de notas de los estudiantes del ciclo 2016-2017 CII del nivel 1 y ciclo 2015-2016 CII del nivel 1. Del primer ciclo que se hace referencia, se seleccionan los estudiantes a los cuales se quiere dar una recomendación de estudio referente al siguiente nivel a cursar y en el segundo ciclo se aplica el cálculo de la distancia con aquellos estudiantes con similares calificaciones respecto al estudiante seleccionado.

El algoritmo se divide en varios pasos descritos a continuación:

Se selecciona un estudiante A del primer ciclo que consta con las notas que en la Tabla III, se describen:

TABLA III. RELACIÓN DE NOTAS DEL ESTUDIANTE A.

Relación de notas de Estudiante A	
Asignatura	**Nota**
Matemáticas I	9 puntos
Matemáticas Discretas	7 puntos
Programación I	7 puntos
Introducción Computacional	7 puntos
Circuitos Eléctricos	7 puntos
Idioma Español	9 puntos

Se seleccionan los estudiantes del segundo ciclo referido para el estudio y en el mismo nivel del estudiante A. Con la relación seleccionada se construye una matriz bidimensional M(x,y), donde y representa las asignaturas del ciclo y el x la lista de estudiantes. El valor M(x,y) contiene la nota de cada estudiante, respecto a la asignatura en la posición (x,y) de acuerdo a la Tabla IV, que sigue:

TABLA III. RELACIÓN DE NOTAS DEL ESTUDIANTE A.

Estudiante 1	6.0	7.0	5.0	8.0	7.0	9.0
Estudiante 2	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	10.0
Estudiante 3	7.0	8.0	7.0	8.0	8.0	9.0
Estudiante 4	8.0	8.0	6.0	10.0	8.0	9.0
Estudiante N	8.0	7.0	7.0	8.0	7.0	9.0

Teniendo seleccionado el escenario, se procede a la ejecución del algoritmo de cálculo de distancia. Para ello se incluye como registro adicional a la matriz M de calificaciones del estudiante A. El cálculo se realiza tomando como referencia el vector de notas del estudiante A y la distancia que existe entre cada una de las calificaciones de los estudiantes representados en la matriz.

Haciendo referencia a la ecuación (3), se propone una forma simplificada: $d(X,Y)=\sqrt{(\sum_{i=1}^{N}(y_i-x_i)^2}$, donde ***X*** representa el estudiante a recomendar y ***Y***, al resto representados en la matriz ***M***.

En cada iteración del algoritmo son normalizados los valores de las notas de los estudiantes. Se divide el valor de la nota por el mayor valor representado en la matriz, o lo que es lo mismo, por el valor de la nota máxima que se puede alcanzar que es 10.0 puntos.

Realizado el cálculo se seleccionarán aquellos estudiantes donde el valor de distancia obtenido se encuentre dentro del 85% de similitud respecto al estudiante ***A***. Como resultado se tienen 36 registros dentro del rango de similitud especificado.

Los estudiantes comprendidos en los resultados del cálculo de la distancia, se toman como muestra para determinar el promedio de notas a alcanzar en el próximo ciclo a cursar por el estudiante ***A***. Este promedio que se obtiene de las asignaturas del presente ciclo terminado por los estudiantes resultantes representa la calificación aproximada que puede alcanzar el estudiante ***A*** si mantiene un sistema de estudio similar al del curso terminado.

La relación de asignaturas a cursar el próximo ciclo, así como las notas estimadas que el estudiante puede alcanzar manteniendo un comportamiento estable respecto al ciclo concluido y en referencia a la similitud que presenta con los 36 estudiantes que se obtuvieron como resultado de la ejecución del algoritmo, se evidencia en la Tabla V.

TABLA V. VALORES APROXIMADOS DE NOTAS DE PRÓXIMO CICLO.

Asignaturas 2016 – 2017 CI Nivel 2	
Asignatura	***Nota Estimada***
Matemática II	6.56 puntos
Algebra Lineal	7.03 puntos
Programación II	5.93 puntos
Circuitos electrónicos	7.61 puntos
Contabilidad general	7.08 puntos
Comunicación oral y escrita	7.72 puntos

4.4 Mapa Cognitivo Difuso de Asignaturas

Haciendo uso de la herramienta FCM-Decision, se registran los nodos y relaciones que serán representados en el mapa. Cada uno de los nodos representa una asignatura y la relación que exista entre cada una de ellas estará representada mediante arcos con un peso que indica cuan fuerte están relacionadas. Los valores de los arcos están comprendidos en el siguiente conjunto de términos lingüísticos, véase Tabla IV, donde a mayor valor, mayor es la relación que existe entre nodos que se relaciona.

TABLA VI. CONJUNTO DE TÉRMINOS LINGÜÍSTICOS.

No	Etiqueta	Número Difuso Triangular
s_0	Negativamente Muy Alto (NVVH)	(-1,-1,-0.66)
s_1	Negativamente Moderado (NH)	(-1,-0.667,-0.333)
s_2	Ligeramente Negativo (NL)	(-0.667,-0.333, 0.0)
s_3	Ninguno (Z)	(-0.333,0,0.333)
s_4	Ligeramente Positivo (PL)	(0.0,0.333,0.667)
s_5	Positivamente Moderado (PH)	(0.333,0.667,1)
s_6	Positivamente Muy Alto (PVVH)	(0.667,1,1)

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Para el caso de estudio se toman las asignaturas del 2do.nivel de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales y haciendo uso del criterio de expertos se establece la influencia que tiene cada una de ellas sobre el resto.

Se asignan los valores de forma lingüística y luego se obtiene el valor numérico correspondiente. Por ejemplo, para el caso de la etiqueta positivamente muy alto, mediante la aplicación de (9), se tiene:

$$\gamma(6)=\frac{2*6}{7-1}-1=2-1=1$$

TABLA VII. NODOS DEFINIDOS PARA DETERMINAR LA IMPORTANCIA DE LAS ASIGNATURAS.

Asignaturas del Nivel 2 representadas en Nodos del Mapa	
Nodos	***Descripción***
N-1	Matemática II
N-2	Álgebra Lineal
N-3	Programación II
N-4	Circuitos Electrónicos
N-5	Comunicación Oral y Escrita
N-6	Contabilidad General

Partiendo del registro de nodos en la herramienta, en la Fig. 11, se muestra el diseño automático del mapa que se analizará y la matriz de adyacencia resultante sobre la cual se aplica el análisis para la obtención de las alternativas de solución.

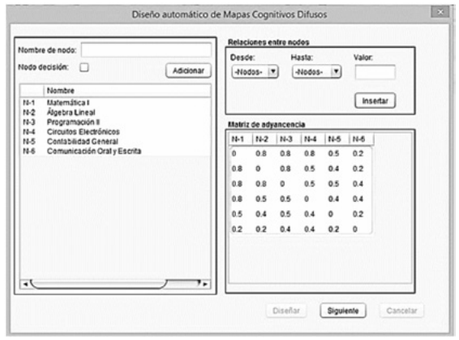


Fig. 11. Diseño automático del Mapa

Con los valores registrados se diseña el mapa, obteniendo un grafo resultante de las asignaturas y la intensidad de influencia de una asignatura sobre otra, como sigue en la Fig. 12:

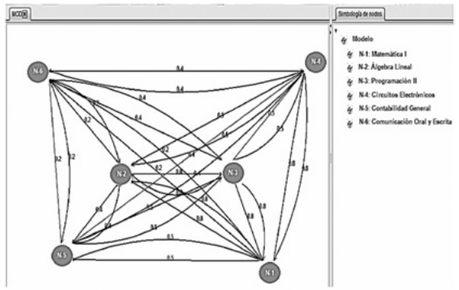


Fig. 12. Diseño automático de Grafo MCD

Una vez diseñado el MCD, donde los nodos son las asignaturas y las relaciones representan la influencia que tiene cada una sobre las demás, se procede a realizar el análisis estático del MCD.

Como sigue en la Fig. 13, se muestran los resultados luego de ejecutar el análisis estático del mapa:

MCD | Centralidad de factores

Factores	Outdegree	Indegree	Sumatoria	Centralidad
Matemática I	3.1	3.1	6.2	0.209
Álgebra Lineal	2.7	2.7	5.4	0.182
Programación II	3.0	3.0	6.0	0.203
Circuitos Electrónicos	2.6	2.6	5.2	0.176
Contabilidad General	2.0	2.0	4.0	0.135
Comunicación Oral y Escrita	1.4	1.4	2.8	0.095

Fig. 13. Resultados de ejecución

Los valores de centralidad calculados en la simulación del análisis estático del MCD representa el grado de influencia que tiene cada nodo en el espacio de estudio. Estos resultados se ordenan descendentemente y se obtienen los conceptos: *N1>N3>N2>N4>N5>N6*. Esta sucesión representa la importancia que estas asignaturas tienen en el diseño.

A continuación, se obtiene la ponderación de cada una de las asignaturas.

Para la elección de la mejor alternativa, se debe derivar los puntajes de influencia de

cada criterio y calcular las puntuaciones de influencia de cada factor.

La matriz de puntuación (E) se obtuvo como sigue:

```
[[1.   0.25 0.2  0.2  0.33 3.  ]
 [4.   1.   1.   1.   2.   1.  ]
 [5.   1.   1.   1.   4.   2.  ]
 [5.   1.   1.   1.   2.   3.  ]
 [3.   0.5  0.25 0.5  1.   3.  ]
 [0.33 1.   0.33 0.33 0.33 1.  ]]
```

Desde la matriz anterior, se pueden calcular los pesos locales por medio del método de valor propio Tabla VIII.

TABLA VIII. PESOS LOCALES

Nodo	Pesos locales
N1	0.11866388
N2	0.30634986
N3	0.39097931
N4	0.11866388
N5	0.19835631
N6	0.1272004

Matriz de adyacencia de la FCM se muestra a continuación:

```
[[0.  0.8 0.8 0.8 0.5 0.2]
 [0.  0.8 0.  0.5 0.4 0.2]
 [0.8 0.8 0.  0.5 0.5 0.4]
 [0.8 0.5 0.5 0.  0.4 0.4]
 [0.5 0.4 0.5 0.4 0.  0.2]
 [0.2 0.2 0.4 0.4 0.2 0. ]]
```

Por último, mediante el uso de (15), se pueden obtener los Pesos globales como se muestra en la Tabla IX:

TABLA IX. PESOS GLOBALES

Nodo	Pesos Globales
N1	0.14164641
N2	0.16535974
N3	0.23737714
N4	0.21740704
N5	0.14194677
N6	0.0962629

4.5 Resultados Experimentales del estudio.

Realizados los flujos de selección de estudiantes según similitud en cuanto a calificaciones alcanzadas y el análisis de importancia de las asignaturas haciendo uso de Mapas Cognitivos Difusos se obtiene la siguiente tabla de relación:

TABLA X. RELACIÓN DE RESULTADOS

Asignatura	Nota Estimada	Valor De Importancia	Nota*Importancia
MATEMATICA II	6,56	0,14164641	0,9292
ALGEBRA LINEAL	7,03	0,16535974	1,162479
PROGRAMACION II	5,93	0,23737714	1,407646
CIRCUITOS ELECTRONICOS	7,61	0,21740704	1,654468
CONTABILIDAD GENERAL	7,08	0,14194677	1,004983
COMUNICACION ORAL Y ESCRITA	7,72	0,0962629	0,74315

En la Tabla X, se puede observar cómo influye una asignatura en las calificaciones de los estudiantes, y a su vez, ayuda a tomar una decisión de cómo enfrentar una asignatura con el objetivo de mejorar sus resultados académicos. En el ciclo de estudio escogido para la investigación se tiene que en las asignaturas de mayor rigor es donde los estudiantes presentan más bajas calificaciones, por lo que son estas asignaturas donde ellos deben hacer un mayor esfuerzo con vistas a mejorar sus resultados.

Según el algoritmo se le recomienda cursar las siguientes asignaturas en este orden:

Circuitos electrónicos>programación II>álgebra lineal>contabilidad general>matemática>comunicación oral y Escrita.

4.6 Resultados experimentales en la agregación de MCD

Se diseñó un experimento para probar las mejoras en cuanto a interpretabilidad y fiabilidad de los MCD agregados mediante cuantificadores.

1. Datos empleados

En la literatura se reportan distintos estudios de casos donde se integra conocimiento causal de múltiples expertos sin embargo existen pocos datos disponibles para realizar experimentos. Para este trabajo se empleó la base de datos propuesta de Leyva [55] que incluye siete modelos reales obtenidos por el autor y disponibles en: https://sites.google.com/site/mleyvazshomepage/causal-knowledge-datasets. Estos son: factores críticos de éxito de los proyectos de integración de datos (FCE) [56], análisis del caso de negocio para software biomédico [55] (ACN), el modelado de las relaciones entre requisitos no funcionales (RNF), dos modelos relacionados con la Ley de Brook, (Brook1, Brook2) y con los factores que intervienen en la motivación de los ingenieros de software (Mot1), así como de la motivación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Ciencias Informáticas (Mot2).

2. Variables e indicadores de evaluación

En la presente investigación se ha definido como variable dependiente la efectividad en la recomendación de asignaturas, así como la preservación de las propiedades, tanto estructurales como de comportamiento, de los modelos individuales en el modelo colectivo. Los resultados del análisis estático del MCD agregado con respecto a los MCD de entrada deben ser consistentes [57, 58].

La evaluación del modelo propuesto se realizó teniendo en cuenta aspectos estructurales (densidad y error de la matriz) y de comportamiento (error del estado estable).

En este caso la Densidad del grafo se toma como una medida de la complejidad del modelo e indica la facilidad para interactuaciones posteriores con el mismo, por parte de los expertos [59]. Esta se define de la siguiente forma:

$$Densidad = \frac{m}{n^2} \qquad (23)$$

Donde m es el número de conexiones y n es la cantidad de nodos.

La fiabilidad está relacionada con reflejar la opinión cercana al experto o grupo de expertos. En el aspecto estructural se analiza el Error de Matriz (EM), definido de la siguiente forma [55] [59]:

$$EM = \frac{1}{K \cdot N \cdot N} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} |e_{ij} - \hat{e}_{ij}^{k}| \qquad (24)$$

Donde e_{ij} es el valor de la relación existente entre los nodos C_i y C_j en el mapa agregado y $\hat{e}_{ij}^{k}$ es el peso de la relación existente entre los nodos C_i y C_j para el experto k-ésimo. N representa el número de conceptos y K el número de expertos.

3. Modelos de agregación empleados en la comparación

La comparación se realiza entre el modelo propuesto guiado por cuantificadores utilizando el cuantificador "muchos" recomendado en el modelo para representar cierto nivel de consenso Fig. 14.

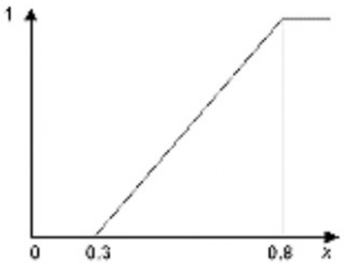


Fig. 14. Cuantificador lingüístico "Muchos"

y la agregación realizada por los siguientes modelos:

— El operador OWA dependiente (D-OWA) (Xu, 2006), siempre que los valores a agregar sean distintos entre sí, sino se devuelve el valor único.
— Media aritmética (μ).
— El OWA centrado (C-OWA). En este caso para el cálculo de los pesos se emplea la propuesta de Yager (Yager, 2007), para $j \leq n/2$ se tiene:

$$w_j = \frac{2(2j-1)}{n^2} \qquad (25)$$

4. Análisis de los resultados

Se muestran los datos de los MCD (número de expertos, número de conceptos) y los resultados de la aplicación de los distintos modelos de agregación en la Tabla XI. En negrita se muestran los mejores resultados para cada uno de los casos.

Con la propuesta se obtiene en cuanto a la densidad los mejores resultados 7/7 coincidiendo una vez con la Q_muchos. En cuanto al EM se obtiene también los mejores en 5/7 casos. En el experimento para la comparación de las muestras se utilizó: Kruskal-Wallis Test o el Mann-Whitney Test según se específica. En ambos casos para el nivel de significación se aplicó el método de Monte Carlo con intervalos de confianza del 99%. Se considera significativa una significación menor de 0.05.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Durante la aplicación de los test, en los casos que se encontraron diferencias significativas entre los modelos, se formaron diferentes grupos. Los grupos formados cumplen con la siguiente propiedad: los modelos de un mismo grupo no tienen diferencias significativas entre ellos. Los grupos cumplen la siguiente propiedad Grupo1 < Grupo2 <..., con los modelos en los grupos menores reportando los mejores resultados.

TABLA VI. CONJUNTO DE TÉRMINOS LINGÜÍSTICOS.

Modelo	Datos		Operador	Medida	
	Número de conceptos	Número de expertos		Densidad	EM
FCE	10	12	Q_{muchos}	0.41	0.231
			D-OWA	0.89	0.251
			μ	0.89	0.255
			C-OWA	0.89	0.238
ACN	8	9	Q_{muchos}	0.425	0.291
			D-OWA	0.891	0.298
			μ	0.891	0.302
			C-OWA	0.891	0.290
RNF	10	8	Q_{muchos}	0.427	0.239
			D-OWA	0.9	0.245
			μ	0.9	0.250
			C-OWA	0.9	0.238
Brook1	9	8	Q_{muchos}	0.154	0.086
			D-OWA	0.481	0.097
			μ	0.481	0.104
			C-OWA	0.481	0.090
Mot1	10	9	Q_{muchos}	0.098	0.047
			D-OWA	0.32	0.057
			μ	0.32	0.061
			C-OWA	0.32	0.051
Mot2	7	6	Q_{muchos}	0.1344	0.053
			D-OWA	0.388	0.063
			μ	0.388	0.068
			C-OWA	0.388	0.059
Brook2	4	7	Q_{muchos}	0.187	0.131
			D-OWA	0.625	0.140
			μ	0.625	0.144
			C-OWA	0.625	0.136

Se aplicó el Kruskal-Wallis Test comparando las muestras obtenidas de aplicar los resultados de los modelos respecto a las variables densidad y EM. Como resultado se encontraron diferencias significativas respecto a la variable densidad y no se encontraron diferencias significativas respecto a las variables EM.

Se aplicó Mann-Whitney Test convenientemente para comparar muestras dos a dos determinando finalmente los siguientes grupos respecto a variable EM:

Grupo1: Q_{muchos}

Grupo2: C-OWA, D-OWA, μ

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. En esta investigación se realizó un análisis preliminar de los sistemas de recomendación en general como herramientas capaces de ahorrar tiempo y proporcionar ayuda a la hora de tomar decisiones de diversa índole, para continuar con un estudio más profundo de los Mapas Cognitivos Difusos (MCD) en el campo de la Educación Superior.
2. Los MCD son capaces de realizar recomendaciones de asignaturas al estudiante basándose en la importancia que estas representan en los ciclos a los que corresponden, así como de forma general. La representación de asignaturas en un MCD permite recomendar que asignaturas debe el estudiante enfrentar con mayor o menor rigor teniendo en cuenta la importancia que dicha asignatura representa.
3. Se resolvió un problema académico para comprobar la efectividad de los MCD y el cálculo de similitud entre estudiantes tomando sus calificaciones como información, permitiendo realizar recomendaciones personalizadas a estudiantes de una universidad de la ciudad de Guayaquil al momento de enfrentar asignaturas con mayores dificultades de aprendizaje o necesidades académicas de refuerzo.
4. Para el modelado de los MCD, se trabajó con datos que no provienen de la información previa utiliza en la investigación y que tampoco son recogidos automáticamente por el sistema, sino que son aportados por expertos.
5. Haciendo uso de los datos históricos de las calificaciones de alumnos universitarios y su representación en MCD de las asignaturas por ciclo lectivo se desarrolló un sistema para determinar la similitud entre estudiantes de ciclos anteriores respecto a un estudiante objetivo y además se utilizó un sistema para modelar las asignaturas en un MCD y determinar la importancia que cada una representa, lo que permite orientar al alumnado en la elección de asignaturas y predicción de su desempeño en futuras asignaturas a cursar.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Estudiar el proceso de simulación dinámica de los Mapas Cognitivos Difusos para establecer modelos combinados de valores cuantitativos y cualitativos para obtener mejores resultados.
2. Debido a que se trabaja con datos reales de estudiantes de una universidad de la ciudad de Guayaquil, es importante utilizar el mayor número de medidas para garantizar la privacidad de la información.
3. Desarrollar un sistema web único integrado para la ejecución del modelo propuesto que permita el acceso al personal docente de la universidad e implicados en el proceso de aprendizaje de la universidad

REFERENCIAS

[1] J. Merigó, "New extensions to the OWA operators and its application in decision making," PhD Thesis, Department of Business Administration, University of Barcelona, 2008.

[2] A.M. Sharif and Z . Irani, "Applying a fuzzy-morphological approach to complexity within management decision making," Emerald Group Publishing Limited. pp. 930-961, 2006.

[3] M. Glykas and P. Groumpos, "Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems," in Fuzzy Cognitive Maps, Berlin: Springer, pp. 1-22, 2010.

[4] C.W. Ping, "A Methodology for Constructing Causal Knowledge Model from Fuzzy Cognitive Map to Bayesian Belief Network," in Department of Computer Science. Chonnam National University, 2009.

[5] G. Pajares, J. Sánchez-Lladó and C. López-Martínez, "Fuzzy Cognitive Maps Applied to Synthetic Aperture Radar Image Classifications Advances Concepts for Intelligent Vision Systems," Berlin: Springer, pp. 103-114, 2011.

[6] J, Carvalho, "Rule Based Fuzzy Cognitive Maps in Humanities Social Sciences and Economics," Berlin: Springer, pp. 289-300, 2012.

[7] D.k Iakovidis and E. Papageorgiou, "Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Making," Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on. 15(1): pp. 100-107, 2011.

[8] L. Curia and A. Lavalle, "Estrategias de decisión en sistemas dinámicos: aplicando mapas cognitivos difusos aplicación a un ejemplo socio-económico," Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação. 8(3): pp. 663-680, 2011.

[9] R. Srivastava, M. Buche and T. Roberts, "Belief Function Approach to Evidential Reasoning in Causal Maps," in Causal Mapping for Research in Information Technology, Idea Group Pub., 2005.

[10] F. Herrera, S. Alons, F. Chiclana and E. Herrera-Viedma, "Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects," Fuzzy Optimization and Decision Making. 8(4), pp. 337-364, 2009.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

[11] M. Doumpos and C. Zopounidis, "Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support: A review," European Journal of Operational Research. 209(3): pp. 203-214, 2010.
[12] G.F Barberis and M.C.E. Ródenas, "La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual," VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad. Valencia, 2011.
[13] G. Adomavicius and A. Tuzhilin, "Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions," IEEE Trans. Knowl. Data Eng., vol. 17, no. 6, pp. 734-749, 2016.
[14] M.J. Pazzani, "A framework for collaborative, content-based and demographic filtering," Artif. Intell. Rev., vol. 13, no. 5-6, pp. 393-408, 2015.
[15] M.j. Pazzani and D. Billsus, Learning and Revising User Profiles: The Identification of Interesting Web Sites, Kluwer Academic Publishers, pp. 313-331, 1997.
[16] J.D. Ullman, "Principles of database and knowledge-base systems," vol. 1, Computer Science Press, Inc., pp. 631, 2017.
[17] R, Burke, K. J. Hammond, and B. C.Young, "Knowledge-based Navigation of Complex Information Spaces," Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI Press/MIT Press, 2014.
[18] B. Bezerra and F.D. Carvalho, "A symbolic hybrid approach to face the new user problem in recommender systems," Ai 2004: Advances in Artificial Intelligence, Proceedings, Lecture Notes in Artificial Intelligence 3339, Berlin: Springer, pp. 1011-1016, 2016.
[19] T. Murakami, K. Mori and R. Orihara, "Metrics for evaluating the serendipity of recommendation lists," New Frontiers in Artificial Intelligence, pp. 40–46, 2008.
[20] B. Kosko, "Fuzzy cognitive maps," International Journal of Man-Machine Studies. 24(1): pp. 65-75, 1986.
[21] B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan and J. Riedl, "Analysis of recommendation algorithms for e-commerce," ACM Press, pp. 158-167, 2000.
[22] J. Breese, D. Heckerman and C. Kadie, "Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative Filtering," Proc. Uncertainty in Artificial Intelligence. Proceedings of the Fourteenth Conference, pp. 18, 2016.
[23] M. Condliff, D. Madigan, D. Lewis and C. Posse, "Bayesian Mixed-Effects Models for Recommender Systems," Proceedings of the ACM SIGIR Workshop on Recommender Systems: Algorithms and Evaluation. 22nd Intl. Conf. on Research and Development in Information Retrieval, 2016.
[24] L. Ungar and D. Foster, "Clustering Methods for Collaborative Filtering," Proceedings of the Workshop on Recommendation Systems, AAAI Press, Menlo Park California, 1998.
[25] D. Kim and B. Yum, "Collaborative filtering based on iterative principal component analysis," Expert Syst. Appl., vol. 28, no. 4, pp. 823-830, 2015.
[26] D. Billsus and M. Pazzani, "Learning Collaborative Information Filters," Proc. Proceedings of the 15th International Conference on Machine Learning, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, pp. 46-54, 2017.
[27] R.M. Axelrod, Structure of decision: The cognitive maps of political elites. Princeton University Press Princeton, NJ, 1976.
[28] J.L Salmeron, Supporting decision makers with Fuzzy Cognitive Maps. Industrial Research Institute, Inc. pp. 53-59, 2009.
[29] J. Salmeron and E. Papageorgiou, "A Fuzzy Grey Cognitive Maps-based Decision Support System for radiotherapy treatment planning," Knowledge-Based Systems, pp. 151-160, 2012.
[30] S. Bueno and J. Salmeron, Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. Expert Systems with Applications, pp. 5221-5229, 2009.
[31] C. Puente-Agueda, Causality in Sciencie. Pensamiento Matemático. pp. 12, 2011.
[32] R. Burke, Book Knowledge-based Recommender Systems, vol. 69, Supplement 32, Marcel Dekker, 2014.
[33] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets. Information and Control," pp.338-353, 1965.
[34] B. M. Brio and A. S. Molina, Redes Neuronales y Sistemas Borosos, 2th ed., Alfaomega, 2001.
[35] G. J. Klir and B. Yuan, Fuzzy sets and fuzzy logic, New Jersey: Prentice Hall, 1995.
[36] L. Cevallos, M. Leyva, M. Peña, E. Santos and A. Guijarro, "The Extended Hierarchical Linguistic Model in Fuzzy Cognitive Maps," CITI 2016, Guayaquil: SPRINGER, pp. 39-50, 2016.
[37] L. J. Mazlack, "Causal modeling approximations in the medical domain," IEEE International Conference on Fuzzy systems, June 2011.
[38] M. R. Berthold and D. J. Hand, Intelligent Data Analysis: An Introduction, Springer, 2010.
[39] M. S. Garcia-Cascales and M. T. Lamata, "Nueva aproximación al método tópsis difuso con etiquetas lingüísticas," ESTYLF, Huelva, 2010.
[40] M. Espinilla-Estévez, "Nuevos modelos de evaluación sensorial con información lingüística," (DEA), Universidad de Jaén, Jaen, 2009.
[41] F. Herrera, S. Alonso, F. Chiclana and E. Herrera-Viedma, "Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects," Fuzzy Optimization and Decision Making, pp. 337-364, 2009.
[42] K. Pérez-Teruel, M. Leyva-Vázquez, M. Espinilla and V. Estrada-Sentí, "Computación con palabras en la toma de decisiones mediante mapas cognitivos difusos," Revista Cubana de Ciencias Informáticas, pp. 19-34, 2014.
[43] F. Herrera and L. Martínez, "A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words Fuzzy Systems," IEEE Transactions on, pp. 746-752, 2000.
[44] A. Altay and G. Kayakutlu, "Fuzzy cognitive mapping in factor elimination: A case study for innovative power and risks," Procedia Computer Science, pp. 1111-1119, 2011.
[45] S. Samarasinghea and G. Strickert, "A New Method for Identifying the Central Nodes in Fuzzy Cognitive Maps using Consensus Centrality Measure," 19th International Congress on Modelling and Simulation. Perth, Australia, 2011.
[46] M. Y. Leyva-Vázquez, K. Pérez Teurel, A. Febles Estrada and J. Gulín-González, "Modelo para el análisis de escenarios basado en mapas cognitivos difusos," Ingenieria y Universidad, 2013.
[47] R. Yager, "Quantifier guided aggregation using OWA operators," International Journal of Intelligent Systems, pp. 49–73, 1996.
[48] R. Yager, "Centered OWA operators," in Soft Computing pp. 631-639, 2007.
[49] J. M. Doña-Fernández, "Modelado de los procesos de toma de decisión en entornos sociales mediante operadores de agregación OWA," PhD Thesis, Universidad de Málaga, 2008.
[50] B. M. Elomda, H. A. Hefny and H. A. Hassan, "An extension of fuzzy decision maps for multi-criteria decision-making," Egyptian Informatics Journal, pp. 147-155, 2013.
[51] G. H. Tzeng, W.H. Chen, R. Yu and M. L. Shih, "Fuzzy decision maps: a generalization of the DEMATEL methods," in Soft Computing, pp. 1141-1150, 2010.
[52] M. Leyva, J. Hechavarria, N. Batista, J. A. Alarcon and O. Gomez, "A framework for PEST analysis based on fuzzy decision maps," Revista ESPACIOS, 2018.
[53] A. Betancourt-Vázquez, K. Pérez-Teruel and M. Leyva-Vázquez, "Modeling and analyzing non-functional requirements interdependencies with neutrosofic logic," Neutrosophic Sets and Systems, 2015.
[54] O. Reimar, M. Leyva and Y. Barroso, "Herramienta para la simulación y análisis de mapas cognitivos difusos," VI Taller de Inteligencia Artificial. UCIENCIA, Habana, Cuba, 2012.
[55] M. Leyva-Vázquez, "Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones Basado en Mapas Cognitivos Difusos," UCI, La Habana, 2013.
[56] M. Y. Leyva-Vázquez, R. Rosado-Rosello and A. Febles-Estrada, "Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos," in Ciencias de la Información, pp. 41-46, 2012.
[57] W. Stach, "Learning and aggregation of fuzzy cognitive maps-An evolutionary approach," PhD Thesis, University of Alberta, 2011.
[58] M. Stajdohar and J. Demsar, "Interactive Network Exploration with Orange," Journal of Statistical Software, pp. 1-24, 2013.
[59] W. Stach, W. Pedrycz and L. A. Kurgan, "Learning of fuzzy cognitive maps using density estimate," Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, pp. 900-912, 2012.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

AUTORES

MILTON RAFAEL MARIDUEÑA ARROYAVE

Ingeniero en Computación, Máster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa, Máster en Investigación Matemática, PhD en Ciencias Pedagógicas y, PhD en Ciencias Técnicas. Docente investigador de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil y en la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL. Docente de Posgrado UTEG-UPSE, autor de libros y artículos publicados en revistas indizadas, ha sido Director de Investigación de la UG y Editor Asociado Revista NEUTROSOPHIC COMPUTING and MACHINE LEARNING.

LORENZO JEOVANY CEVALLOS TORRES

Ingeniero en Estadística, Máster en Gestión de la productividad y la calidad, Máster en Modelado computacional en Ingeniería, Docente investigador de la Universidad de Guayaquil UG, miembro del grupo de Investigación de Inteligencia Artificial e Información Tecnológica UG, autor de libros de Simulación, Probabilidad & estadística educativa y artículos en revistas indizadas, ha ocupado cargos de Dirección y Subdirección en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales así como Coordinador de Investigación en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

MIGUEL ANGEL BOTTO TOBAR

Miguel Botto-Tobar es Ingeniero en Sistemas Computacionales, M.Sc. en Ingeniería de Software. Actualmente, cursa un Doctorado en Ciencias de la Computación en la Universidad Tecnológica de Eindhoven, Países Bajos. Es autor/co-autor de 30 artículos, y libros publicados por Springer Verlag. Es editor de Ecuadorian Journal of Science, Research and Innovation, y editor regional de JOIV: International Journal on Informatics Visualization. Sus áreas de investigación incluyen Ingeniería de Software, Ingeniería de Software Empírica, y Aspectos Sociales en la Ingenieria de Software.

M. Mariduena-Arroyave, L. Cevallos-Torres, and M. Botto-Tobar, "Sistema de Recomendación de Asignaturas en el Proceso de Registro y Matrícula de Estudiantes Universitarios", Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 7, no. 1, 2020.

Evaluación de las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos basados en la red de plataformas open source utilizando la técnica de detección de anomalías

Evaluation of the functionalities of the intrusion detection systems based on the network of open source platforms using the anomaly detection technique

ARTICLE HISTORY

Received 26 April 2020
Accepted 06 June 2020

José Eduardo Arteaga Pucha
Quito, Ecuador
jeap_fer@yahoo.es

Evaluación de las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos basados en la red de plataformas open source utilizando la técnica de detección de anomalías

Evaluation of the functionalities of the intrusion detection systems based on the network of open source platforms using the anomaly detection technique

Arteaga Pucha José Eduardo
Quito, Ecuador
jeap_fer@yahoo.es

Resumen — El presente trabajo investigativo tiene por objeto evaluar las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos (IDS) basados en red de plataformas Open Source utilizando la técnica de detección de anomalías, definiendo varios conceptos acerca de los sistemas de detección de intrusos. Para la evaluación de los IDS se utilizó una metodología basada en la investigación aplicativa y cuasi-experimental, considerando los conocimientos existentes y la implementación de los casos de: aprendizaje, simulación de ataques y aplicativo, por medio escenarios virtuales, sobre los cuales se instalaron los IDS Snort, Suricata, Bro y las diferentes herramientas de Benchmark. La correlación de las alertas emitidas tanto por Snort y Suricata utilizando la técnica de detección de anomalías basada en datos estadísticos, permitió determinar los verdaderos positivos (VP) para las alertas efectivas y los falsos negativos (FN) para las anomalías.

Palabras clave — Tecnología y ciencias de la ingeniería, redes, Snort, seguridad informática, sistemas de información, Suricata (herramienta), Bro (herramienta), sistema de detección de intrusos (IDS), anomalías de sistemas de información.

Abstract *— The purpose of this research work is to evaluate the functionality of the intrusion detection systems (IDS) based on Open Source platforms using the anomalies detection technique, defining several concepts about intrusion detection systems. For the evaluation of the IDS a methodology based on the application and quasi-experimental research was used, considering the existing knowledge and the implementation of the cases of: learning, simulation of attacks and application by means of virtual scenarios, on which they were installed the Snort, Suricata and Bro IDS and the different Benchmark tools. The correlation of the alerts issued by both Snort and Suricata using the anomaly detection technique based on statistical data, allowed to determine the true positives (TP) for the effective alerts and the false negatives (FN) for the anomalies.*

Keywords — Technology and science of engineering, networks, Snort, computer security, information systems, Suricata (tool), Bro (tool), intrusion detection system (ids), anomalies of information systems.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de detección de intrusos (IDS) constituyen una herramienta indispensable para la seguridad de la red de una institución o empresa. Los IDS de plataforma Open Source, que actualmente existen en el mercado son: Snort, Suricata, BRO IDS y Kismet, cada uno de ellos con su propia estructura de funcionalidad.

Para contribuir al uso de software libre, se planteó realizar una evaluación de los IDS de plataforma Open Source, con la finalidad de contar con un estudio comparativo, que sirva de base para seleccionar un sistema que se adapte a las necesidades de las instituciones y así reducir los tiempos de implementación.

Los sistemas informáticos pueden ser protegidos desde el ámbito lógico (con el desarrollo de software especializado) o físico (vinculado al mantenimiento eléctrico, por ejemplo).

Las amenazas pueden proceder desde programas dañinos que se instalan en la computadora del usuario (virus) o llegar por vía remota (Hackers).

La cantidad de intentos de accesos no autorizados a la información que existe en Internet ha crecido durante estos últimos años, en la mayoría de las instituciones u organizaciones, estos intentos pueden ser o no detectados, debido a que al momento no han implementado mecanismos de seguridad en su infraestructura tecnológica.

Muchas empresas u organizaciones, normalmente por motivos de coste, han migrado información clave a Internet, exponiéndola hacia el exterior. Además, para comodidad de los trabajadores que solicitan teletrabajo, las compañías han tenido que "abrir sus puertas" para permitir la conexión a la intranet de la oficina desde su hogar. Desafortunadamente, cuando los atacantes comprometen los sistemas de entrada, ellos también tienen acceso a datos de la empresa u organización.

La incorporación de cortafuegos y redes privadas virtuales (VPNs) para permitir de forma segura que los usuarios externos se puedan comunicar con la intranet de la organización ha aliviado un poco el problema; un cortafuego con una política correcta puede minimizar el que muchas redes queden expuestas.

Sin embargo, los atacantes están evolucionando constantemente y aparecen nuevas técnicas como los troyanos, gusanos y escaneos silenciosos que atraviesan los cortafuegos mediante protocolos permitidos como HTTP, ICMP o DNS. Los atacantes buscan vulnerabilidades en los pocos servicios que el cortafuego permite y enmascaran sus ataques dentro de estos protocolos, quedando expuesta la red nuevamente.

La cantidad de mensajes publicados en listas de vulnerabilidades como BUGTRAQ ha aumentado de forma exagerada durante los últimos años. Las vulnerabilidades no solo afectan a sistemas tradicionalmente seguros, sino que afectan incluso a sistemas de seguridad: cortafuegos y sistemas de detección de intrusos o IDS (Intrusion Detection Systems). Esto se debe en parte a un crecimiento del número de auditorías que las empresas de software aplican a sus productos y por el aumento de interés en el campo de la seguridad por parte de los profesionales de la informática.

Los atacantes hoy en día también intentan sobrepasar los sistemas de detección de intrusos, ya sea saturándolos de tráfico o bien mediante herramientas que les proporcionan información falsa de lo que pasa por la red. El hecho de que los atacantes están incorporando técnicas anti-IDS a su arsenal, lo que les coloca en situación más ventajosa frente a organizaciones que ni siquiera disponen de un IDS.

Usualmente las instituciones, para el desarrollo de sus actividades cuenta con equipamiento tecnológico critico como son: servidores físicos y servidores virtuales, donde cada uno de ellos tiene diferente funcionalidad, como servidor puede ser: el alojamiento de la página web, correo electrónico institucional, respaldos de información, aplicaciones cliente servidor, impresiones, información técnica acorde al campo estratégico, entre otras. Se puede evidenciar la vulnerabilidad de la seguridad de información en diferentes instituciones del Ecuador.

En el año 2014 en el Ecuador, “las cifras de los ciberataques son alarmantes, según Daniel Molina, experto de la empresa Kaspersky, quien asegura que cerca del 16% de usuarios de la región son víctimas de fraudes informáticos, lo cual suma 60’090.173.” [1].

En enero de 2016, una red de hackers accedió a los sistemas informáticos de universidades privadas del Ecuador para registrar como alumnos a personas que nunca cursaron estudios superiores. Este delito incluyó a una lista de 366 personas que habrían inscrito ilegalmente sus títulos falsos en la base de datos de la Senescyt. [1].

El 17 de febrero del 2016, GMS, empresa ecuatoriana con más de 35 años de experiencia en seguridad de la información, realiza un análisis sobre los riesgos cibernéticos a los que se exponen las instituciones educativas, a propósito del reciente suceso ocurrido en enero de 2016 donde una red de hackers vulneró información de universidades privadas para ingresar ilegalmente 366 títulos falsos en la base de datos de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt). Este hecho ha permitido constatar las vulnerabilidades que presenta en la red y la importancia que implica para las universidades el protegerse de manera adecuada ante la inminente amenaza de ataques avanzados [1].

Carlos López, Consultor de Tecnologías de la Información de GMS, señala que existen páginas donde un cibernauta puede encontrar datos no solo de universidades sino de empresas en general. Explica que luego de hallar esta información conocida como "huella digital" los ciber delincuentes penetran las defensas perimetrales, siendo los usuarios atacados al acceder a correos maliciosos o con ayuda de algún infiltrado. Finalmente, cuando el delincuente ya está en la red, la información es manipulada sin dejar huellas, e incluso burlando los sistemas de seguridad de las universidades que no son lo necesariamente robustos o completos [1].

En varios proyectos y estudios se evidencia la utilización de sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source:

En el proyecto "Sistema para la correlación de alertas NIDS basados en anomalías", con el objeto de llevar a cabo un diseño capaz de correlacionar las alertas emitidas por NIDS basados en anomalías que analizan la carga útil del tráfico de la red, en busca malware. Los principales objetivos han sido la identificación de los falsos positivos, la valoración cualitativa de la probabilidad de que una anomalía sea efectivamente una amenaza y una clasificación cuantitativa que muestre el tipo concreto de amenaza detectada. Snort fue utilizado en este estudio [2].

En el artículo científico acerca de la "comparación de algoritmos para detección de intrusos en entornos estacionarios y de flujo de dato", concluyen que la detección de intrusos bajo el enfoque de aprendizaje automático tiene varias deficiencias dada la naturaleza de la propia aplicación. A pesar de ello los investigadores continúan trabajando en lograr soluciones que permitan cubrir las mismas, el despliegue de estas soluciones es lograr que cada red, como sistema autónomo, haga la construcción de su propio conjunto de datos, lo cual debe actualizarse periódicamente debido a la diversidad de aplicaciones y al emergente crecimiento de estas [3].

En otros casos el desconocimiento de la funcionalidad de los sistemas de detección de intrusos ocasiona que los administradores de servidores o de red lo instalen a modo de prueba para realizar los testeos correspondientes a fin de probar sus funcionamiento, ocasionando pérdidas tiempo y recursos, debido a estos inconvenientes no lo utilizan y prefieren utilizar otras alternativas de seguridad o software propietario.

Por unas causas u otras, las instituciones tanto privadas como públicas carecen parcialmente o tiene deficientes mecanismos de seguridad de la información que hagan frente al aumento del número de ataques que se producen en Internet, como una medida para mitigar los ataques informáticos es utilizar un sistema de detección de intrusos que alerte a los administradores de los servidores y red, cuando un intruso o eventos anormales se presenten en la red.

Actualmente la mayoría de instituciones del Ecuador no tienen instalado un sistema de detección de intrusos, debido a que no existen evaluaciones de funcionalidad o cuadro comparativos de ventajas y desventajas de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source que les permita elegir de manera eficiente y segura un sistema acorde a la infraestructura tecnológica con la que cuentan.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad realizar la evaluación de funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source, debido a que, en los estudios citados anteriormente solo se enfocan en uno solo como es el caso de Snort, por lo que se ha visto la necesidad de evaluar el resto de sistemas como son: Bro y Suricata utilizando la técnica de detección de anomalías, con el objeto de dar a conocer el mejor sistema de detección de intrusos en plataformas Open Source, debido a que en la actualidad, en el país existe el decreto 1073, emito el 12 de junio del 2020, que en su artículo 11 establece los lineamientos para la "Evaluación de factibilidad y plan de migración a tecnologías libres digitales libres" [4].

Al finalizar el trabajo de investigación se presentará un manual de buenas prácticas de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source lo que permitirá a los administradores de servidores o de red, elegir un IDS, conociendo sus ventajas y desventajas y que puede ser adaptable al entorno de trabajo con el fin de garantizar la seguridad de la información de las diferentes unidades a su cargo, ya que en su mayor parte poseen información confidencial y de uso gubernamental para la toma de decisiones, en los diferentes campos de desarrollo del país.

1.1 Preguntas de Investigación

Las preguntas de investigación definidas para este estudio son las siguientes: 1) ¿La evaluación de funcionalidades de un sistema de detección de intrusos (IDS) de plataformas Open Source utilizando la técnica de anomalías permitirá determinar al mejor IDS, al momento de realizar la detección de amenazas?; 2) ¿Cuáles son los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source que se utilizan para la seguridad de la información a nivel de red?; 3) ¿Cuál es el segmento de red que garantiza una mayor cantidad de detecciones de amenazas por parte de un IDS basado en la red?; 4) ¿Cómo medir el rendimiento de los IDS basados en la red?; 5) ¿Cuál es la técnica que mejor evalúa el funcionamiento adecuado de un IDS?

1.2 Objetivo General

El objetivo principal es evaluar las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos basados en red de plataformas Open Source utilizando la técnica de detección de anomalías.

1.3 Objetivos Específicos

Para este estudio de investigación se han definido los siguientes objetivos específicos: 1) Estudiar los diferentes IDS basados en red de plataformas Open Source para determinar su funcionalidad; 2) Diseñar un esquema de red para la implementación de los sistemas de detección de intrusos (IDS) de plataformas Open Source; 3) Definir el Benchmark para determinar el rendimiento de los IDS frente a los ataques; 4) Elaborar un manual de buenas prácticas de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source para aportar en la implementación de un IDS de forma óptima; 5) Implementar un IDS basado en red de plataforma Open Source utilizando la técnica de detección de anomalías, en un escenario de prueba en la red de datos de una institución para mejorar la seguridad de la información.

1.4 Hipótesis

Se plantea como hipótesis que la implementación de un sistema de detección de intrusos, basado en la red de plataforma Open Source, utilizando la técnica de detección de anomalías mejorará la seguridad de la información que viaja por la red.

2 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS (IDS)

La detección de intrusiones es la práctica de utilizar herramientas inteligentes y automáticas para detectar intentos de intrusión en tiempo real. Dichas herramientas se llaman Sistemas de Detección de Instrucciones (Intrusion Detection Systems, IDS).

2.1 Clasificación de los IDS

Los sistemas de detección de intrusos pueden clasificarse en función de los sistemas que vigilan (Secciones 2.1.1 y 2.1.2); y en función de cómo actúan (Secciones 2.1.3 y 2.1.4); a continuación se describe cada uno de ellos.

2.1.1 Sistemas de detección de intrusos de red (NIDS)

Garantizan la seguridad dentro de la red, por lo que necesitan un hardware exclusivo donde se implementa el sistema para que pueda verificar los paquetes de información que viajan por una o más líneas de la red. Esto se realiza con el objetivo de descubrir si se ha producido alguna actividad maliciosa o anormal.

El NIDS pone uno o más de los adaptadores de red exclusivos del sistema en modo promiscuo.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Éste es una especie de modo "invisible" en el que no tienen dirección IP. Tampoco tienen una serie de protocolos asignados. Es común encontrar diversos IDS en diferentes partes de la red.

Por lo general, se colocan sondas fuera de la red para estudiar los posibles ataques, así como también se colocan sondas internas para analizar solicitudes que hayan pasado a través del firewall o que se han realizado desde dentro [5].

2.1.2 Sistema de detección de intrusiones en el host (HIDS)

Garantizan la seguridad en el host, cubren una amplia gama de sistemas operativos como Windows, Solaris, Linux, HP-UX, Aix, etc.

El HIDS actúa como un daemon o servicio estándar en el sistema de un host. Tradicionalmente, el H-IDS analiza la información particular almacenada en registros (como registros de sistema, mensajes, lastlogs y wtmp) y también captura paquetes de la red que se introducen/salen del host para poder verificar las señales de intrusión (como ataques por denegación de servicio, puertas traseras, troyanos, intentos de acceso no autorizado, ejecución de códigos malignos o ataques de desbordamiento de búfer) [5].

2.1.3 Detección de anomalías

Desde que en 1980 James P. Anderson propusiera la detección de anomalías como un método válido para detectar intrusiones en sistemas informáticos, la línea de investigación más activa (esto es, la más estudiada, pero no por ello la más extendida en entornos reales) es la denominada Anomaly Detection IDS, IDS basados en la detección de anomalías. Estos modelos de detección conocen lo que es “normal” en nuestra red o nuestras máquinas a lo largo del tiempo, desarrollando y actualizando conjuntos de patrones contra los que comparar los eventos que se producen en los sistemas. Si uno de esos eventos (por ejemplo, una trama procedente de una máquina desconocida) se sale del conjunto de normalidad, automáticamente se cataloga como sospechoso [6].

Los IDS basados en detección de anomalías se basan en la premisa de que cualquier ataque o intento de ataque implica un uso anormal de los sistemas, Pero ¿cómo puede un sistema conocer lo que es y lo que no es “normal” en nuestro entorno de trabajo? [6]. Para conseguirlo, existen dos grandes aproximaciones: o es el sistema el que es capaz de aprenderlo por sí mismo (basándose por ejemplo en el comportamiento de los usuarios, de sus procesos, del tráfico de nuestra red) o bien se le especifica al sistema dicho comportamiento mediante un conjunto de reglas. La primera de estas aproximaciones utiliza básicamente métodos estadísticos (medias, varianzas, entre otros), aunque también existen modelos en los que se aplican algoritmos de aprendizaje automático; la segunda aproximación consiste en especificar mediante un conjunto de reglas los perfiles de comportamiento habitual basándose en determinados parámetros de los sistemas (con la dificultad añadida de decidir cuáles de esos parámetros que con mayor precisión delimitan los comportamientos intrusivos) [6].

En el primer caso (el basado en métodos estadísticos), el detector observa las actividades de los elementos del sistema, activos - sujetos -, pasivos - objetos - o ambos, y genera para cada uno de ellos un perfil que define su comportamiento; dicho perfil es almacenado en el sistema, y se actualiza con determinada frecuencia envejeciendo la información más antigua y priorizando la más fresca. El comportamiento del usuario en un determinado momento se guarda temporalmente en otro perfil, denominado ‘perfil actual’ (current profile), y a intervalos regulares se compara con el almacenado previamente en busca de desviaciones que puedan indicar una anomalía [6].

2.1.4 Detección de usos indebidos

El funcionamiento de los IDS basados en la detección de usos indebidos supone que podemos establecer patrones para los diferentes ataques conocidos y algunas de sus variaciones; mientras que la detección de anomalías conoce lo normal (en ocasiones se dice que tienen un 'conocimiento positivo', positive knowledge) y detecta lo que no lo es, este esquema se limita a conocer lo anormal para poderlo detectar (conocimiento negativo, negative knowledge) [6].

2.2 Sistemas de detección de intrusos plataformas Open Source

Dentro del proyecto de investigación se usaron los siguientes sistemas de detección de intrusos basados en la red de plataforma Open Source, ver Fig. 1, considerando que Kismet es un sistema de detección de intrusiones para redes inalámbricas 802.11, no fue analizado debido que su campo de aplicación es distinto al resto de los IDS, y no se podrían establecer cuadros comparativos al respecto.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

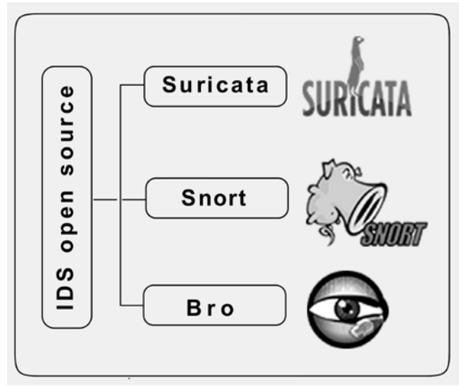


Fig. 1. IDSes de plataformas Open Source.

2.2.1 Snort

Snort es un Sistema de Detección de Intrusos (IDS) basado en red (N-IDS) Open Source. Cuenta con un lenguaje de creación de reglas en el que se pueden definir los patrones que se utilizarán a la hora de monitorizar el sistema. Además, ofrece una serie de reglas y filtros ya predefinidos que se pueden ajustar durante su instalación y configuración para que se adapte lo máximo posible a lo que deseamos, su última versión estable es de diciembre de 2016 (v.2.9.9.0) [7]. Snort puede ser configurado a modo de sniffer, packet logger y NIDS (Network Intrusion Detection System).

Entre sus ventajas más importantes están que: 1) Cuando un paquete coincide con algún patrón establecido en las reglas de configuración, se registran sus datos. Así se sabe cuándo, de dónde y cómo se produjo el ataque hacia un equipo terminal; 2) Snort utiliza un lenguaje de descripción de reglas sencillo y ligero que es flexible y bastante potente [8].

2.2.2 Suricata

Suricata es una herramienta escalable. Este monitor de seguridad hace uso de las funciones multi-hilo de manera que solo con ejecutarse en una instancia el monitor balanceará su carga entre todos los procesadores disponibles, evitando incluso alguno de ellos si así lo especificamos. Gracias a ello, esta herramienta es capaz de procesar un ancho de banda de hasta 10 gigabits por segundo sin que ello repercuta sobre el rendimiento [9].

Esta herramienta también es capaz de identificar los principales protocolos de red, siendo capaz de controlar en todo momento todo el tráfico que se genera en el sistema y controlando posibles amenazas de malware.

Suricata trabaja actualmente de acuerdo con los avances tecnológicos actuales, se planteó contribuir con dos aspectos fundamentales faltantes: una interfaz de administración, que facilite su gestión como solución empresarial y un módulo de detección de anomalías [10].

Entre sus principales características tenemos:

• Network Intrusion Prevention (IPS - Intrusion Prevention System).
• Network Security Monitoring.
• Detección de Protocolos automáticos.
• IP Reputation, GeoIP, IP list support.
• JSON event and alert outputs – Logstache

2.2.3 Bro

Bro es un sistema de detección de intrusiones para UNIX/Linux Open Source, algo distinto a Snort y Suricata. En cierto modo, Bro es tanto un IDS basado en anomalías como en firmas. El tráfico capturado generará una serie de eventos.

Bro dispone de una serie de scripts o políticas escritos en un lenguaje nativo de Bro. Estas políticas describen qué tipo de actividades se consideran sospechosas. En base a esto, disponemos de una gran cantidad de políticas para la detección de las actividades sospechosas más comunes.

Entre sus ventajas más representativas pueden ser:

• Gran capacidad de análisis a nivel de protocolo y las políticas especializadas y configurables y la capacidad de ser una herramienta de análisis forense.
• Es de elevado rendimiento y capacidad para gestionar grandes volúmenes de tráfico.
• Sus alertas pueden ser configuradas para generar eventos de log, alertas en tiempo real y hasta ejecución de comandos de sistema.
• Las políticas, además de generar logs por actividad sospechosa, pueden generar logs de actividad normal dependiente de las configuraciones dadas.
• A través del lenguaje de scripts de políticas o policies, se pueden crear políticas específicas para un entorno de red o una actividad concreta que deseemos detectar.

3 BENCHMARK

Para realizar la evaluación de funcionalidades de los NIDS, previa investigación se procedió a instalar en diferentes entornos, obteniéndose los siguientes resultados, ver Tabla I.

TABLA I. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS NIDS

Características	Bro	Snort	Suricata
Multi-Threading	No	No	Si
Detección automática de protocolos	Si	No	Si
Aceleración de GNU	No	No	Si
GeoIP	Si	No	Si
Detección de alertas basa en reglas	No	Si	Si
Detección de alertas basada en scripts	Si	No	No

Como el objetivo del trabajo de investigación tiene que ver con la evaluación de los NIDS utilizando la técnica de detección de anomalías, se tomará en cuenta a los NIDS que utilicen la misma técnica para detección de alertas, en este caso: Snort y Suricata están basados en firmas o reglas y su funcionalidad se basa en el conocimiento sobre malwares y utilizan el mismo conjunto de reglas; por otro lado, Bro IDS se basa en el comportamiento y mantiene una estructura basada en la interpretación de políticas, plugins y scripts que son cargados al momento de su instalación, razón por la cual dentro del proceso de investigación realizado, se descarta la comparación de Bro IDS, debido a que su arquitectura a evaluar difiere con las características de Snort y Suricata y no se podrían establecer parámetros de igual similitud [9].

Los Benchmarks pueden ser un modo importante de averiguar cómo funciona un Sistema de Detección de Intrusos frente a los ataques, para cerciorarse de que el IDS, funciona correctamente y se ajusta a los requerimientos de la institución u organización.

Para la detección de los ataques por parte de los IDS, se utilizó la técnica de detección de anomalías basado en datos estadísticos, para lo cual se utilizaron casos de entrenamiento y simulación de ataques, mediante los cuales se analizó el tráfico de la red, con la finalidad de evaluar el comportamiento de los eventos generados y su clasificación, ya sea como un verdadero negativo, falso positivo y verdadero positivo, sus definiciones se pueden encontrar en la sección 5 Evaluación de un IDS;

Con la finalidad de comprobar la hipótesis de la investigación se realizó un caso aplicativo de evaluación de tráfico real de una institución, utilizando los escenarios virtuales.

4 DONDE COLOCAR UN IDS

Un IDS puede ser colocado en diferentes puntos de la red:

A. Delante de contrafuegos externo
B. Detrás de cortafuegos externo
C. Redes principales
D. Subredes de valor crítico
E. Máquinas

Dentro del proyecto de investigación para el proceso de evaluación de los IDS, se consideró el punto B, ya que ofrece varias ventajas al respecto como son: 1) Se monitorizan intrusiones que logran atravesar el firewall principal; 2) Detección de ataques a servidores que ofrecen servicios públicos; 3) En caso de no detectar ataques con éxito, puede reconocer algunas consecuencias de estos, como intentos de conexiones salientes, realizadas desde servidores comprometidos; 4) Identificación de los ataques y escaneos más comunes permite mejorar la configuración de los cortafuegos; 5) Monitoreo de la red LAN, ya que muchas amenazas son provocadas por usuarios internos al momento de ingresar a páginas web maliciosas o al insertar medios extraíbles contaminados en sus equipos informáticos.

En la Fig. 2. se muestra los puntos principales de ubicación de un IDS.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

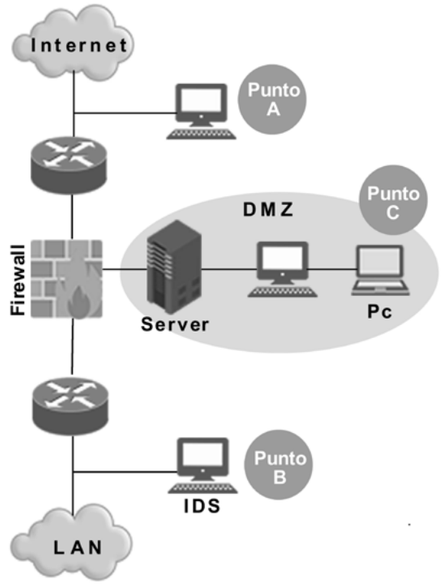


Fig. 2. Colocación de un IDS

5 EVALUACIÓN DE UN IDS

Para detectar los ataques en los diferentes escenarios se utilizará la técnica de detección de anomalías.

En los IDS basados en anomalías consiste en analizar el tráfico de la red para ver si el comportamiento de los usuarios se clasifica como ataque. Para ello, el IDS genera un autómata en el que asocia las comunicaciones a un determinado estado, y dependiendo de la actividad va cambiando la comunicación de estado hasta que se termine la comunicación o que llegue a un estado que se considera como ataque [11].

La detección de anomalías permite dar flexibilidad al sistema y detectar ataques conocidos a partir de la información del sistema. En el momento que un IDS toma una decisión, éste puede tomarla de forma correcta o incorrecta, ver Fig. 3. De acuerdo con los cuatro posibles estados [8]:

Verdadero positivo. Ataque detectado correctamente.

Verdadero negativo. Eventos inofensivos que se etiquetan como tráfico normal.

Falso positivo. También se conoce como falsa alarma y corresponde a tráfico inofensivo que se considera como ataque.

Falso negativo. Ataque que no detecta el IDS.

Fig. 3. Posibles estados en los IDS [8]

Para la evaluación de Snort y Suricata, se desarrollaron tres casos: entrenamiento, simulación y aplicativo:

Para el caso de entrenamiento se utilizaron los conjuntos de datos de DARPA 99, que contiene 2 semanas de tráfico normal y una semana de tráfico anormal, los mismos que permitieron establecer la línea base para verificación anomalías al momento de generar alertas por parte de Snort y Suricata; Para el caso de simulación a través de herramientas polivalentes como son: Hydra, Nmap, Nikto2, Hping3 y otras, se generaron ataques a hacia equipos servidores y host que eran parte de los escenarios de Snort y Suricata respectivamente; Para el caso aplicativo, se realizó el análisis de tráfico de la red de datos de una institución con la finalidad de verificar si existían alertas a nivel red y determinar si un IDS podría ser un complemento para mejorar la seguridad de la red.

Con el fin de efectuar la evaluación de Snort y Suricata, se utiliza el método de evaluación sumaria escala de Likert y para ello se crea la siguiente Tabla II, con las ponderaciones de evaluación cualitativamente, cuantitativamente y en una escala porcentual. La escala gradual es de 0 a 5 puntos de acuerdo con el cumplimiento de los indicadores expuestos.

TABLA II. PONDERACIÓN DE EVALUACIÓN DE LOS IDS

Calificación cualitativa	Valor asignado	Porcentaje
No existe	*0*	*0%*
Malo	*1*	*20%*
Regular	*2*	*40%*
Bueno	*3*	*60%*
Muy bueno	*4*	*80%*
Excelente	*5*	*100%*

Dentro del proceso de evaluación de Snort y Suricata, se definieron 3 indicadores como son: funciones, desempeño y seguridad, a continuación, se muestran los resultados obtenidos.

5.1 Indicador 1: Funciones

Con el fin de proceder con la evaluación del indicador de funciones, se consideró los valores definidos en la siguiente Tabla III, fundamentada en el método de evaluaciones sumarias (escala de Likert), en la que se crea una escala con valores graduales de 0 a 5 puntos, de acuerdo con el cumplimiento de los criterios expuestos. Además, cada valor está representado por su respectiva valoración cualitativa y porcentual.

TABLA III. PONDERACIÓN DE EVALUACIÓN DEL INDICADOR 1

Calificación cualitativa	Valor asignado	%	Descripción
No existe (N/A)	*0*	*0%*	*No aplicable para la asignación de un valor cuantitativo o no posee ese indicador o característica evaluada.*
Deficiente	*1*	*20%*	*Esta cualidad cuyo equivalente cuantitativo es igual a 1, será otorgada a las herramientas que no cumplan o cumplan de manera deficiente con el objetivo del indicador.*
Regular	*2*	*40%*	*Esta cualidad cuyo equivalente cuantitativo es 2, será otorgado a la herramienta que cumpla de manera insuficiente el indicador.*
Bueno	*3*	*60%*	*Esta cualidad cuyo equivalente cuantitativo es 3, será otorgado a la herramienta que cumpla parcialmente el indicador.*
Muy bueno	*4*	*80%*	*Esta cualidad cuyo equivalente cuantitativo es 4, será otorgado a la herramienta que cumpla casi en su totalidad el indicador.*
Satisfactorio	*5*	*100%*	*Esta cualidad cuyo equivalente cuantitativo es 5, será otorgado a la herramienta que cumpla en su totalidad el indicador.*

Para realizar la comparación de funciones que inciden directamente con la detección de intrusiones de los IDS, se compararon los criterios descritos en la Tabla IV.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

TABLA IV. EVALUACIÓN DEL INDICADOR 1

Criterios	Snort	Suricata
Escalabilidad	*4*	*5*
Protocolos de red	*4*	*5*
Gestiona distintos módulos salida	*3*	*4*
Soporte IPV6	*5*	*5*
Aplicaciones extendidas	*5*	*5*
Subherramientas para respuestas activas	*5*	*4*
Reputación IP	*5*	*5*
GeoIP	*5*	*5*
Promedio	4,50	4.75

El promedio del resultado de la evaluación del indicador 1 es de: 4,50 puntos para Snort y 4,75 para Suricata. Cabe indicar que esta evaluación está sustentada principalmente por búsqueda de información en sitios web oficiales de las herramientas NIDS Open Source.

Finalmente, de acuerdo con los resultados porcentuales obtenidos de acuerdo a los 8 criterios del indicador funciones de los IDS, se estipula que: Suricata es la solución más prometedora con un porcentaje total de 95 % frente a 90 % de Snort. La diferencia de los resultados obtenidos entre Suricata y Snort es sutil.

5.2 Indicador 2: Desempeño

Para la evaluación del desempeño de los sistemas de detección de intrusos, se utilizaron los paquetes de entrada y salida de DARPA 99, que corresponden a 2 semanas de entrenamiento con paquetes libre de amenazas y 1 una semana a paquetes que contiene amenazas. Con la finalidad de evaluar este indicador se hace uso de los datos de la etapa de entrenamiento, para lo cual se utilizó 44894776 (100%) paquetes divididos en 30 archivos de extensión (.pcap).

Una vez analizados los archivos correspondientes por los sistemas de detección intrusos Snort y Suricata respectivamente, se obtienen los siguientes resultados.

Se puede evidenciar, que Suricata para analizar 44894776 paquetes segmentados en 30 archivos, toma un tiempo promedio de 16,13 segundos, en cambio Snort lo realiza en un tiempo promedio de 36,20 segundos, cabe indicar que Suricata posee cierta ventaja respecto a Snort, debido a que es multihilo por lo que puede equilibrar sus procesos.

Respecto a la cantidad de alertas emitidas al momento del entrenamiento tanto con tráfico normal como anormal, se obtienen los siguientes datos al respecto, Snort emite un total de 593786 alertas, y por otra parte Suricata emite 225924 alertas, de esta manera se evidencia que Snort emite mayor cantidad de alertas al respecto.

También se pudo verificar al momento de analizar 44894776 paquetes que Suricata no tiene perdidas de paquetes y por otro lado Snort tiene una pérdida de 593786 paquetes equivalente al 1,32%. Por lo que se puede concluir que Suricata tiene un mejor desempeño respecto a Snort ya que sus tiempos son cortos a relación de Snort y no genera pérdidas de paquetes.

Para la valoración del indicador 2 se consideraron los datos de la etapa de entrenamiento, la valoración del indicador 2, se describe en la siguiente Tabla V.

TABLA V. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR 2

Criterio	Suricata	Snort
Tiempo de respuesta	*5*	*3*
Paquetes perdidos	*5*	*3*

5.3 Indicador 3: Seguridad

Con la finalidad de evaluar este indicador, se procedió a cuantificar el total de alertas detectadas por los sistemas de detección de intrusos, en los diferentes casos de estudio, ver Tabla VI., las mismas que serán correlacionadas a fin de obtener los valores de: verdaderos negativos (VN), verdaderos positivos (VP), falsos positivos (FP) y falsos negativos (FN).

TABLA VI. CANTIDAD DE ALERTAS EMITIDAS POR LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS

Casos	Snort	Suricata
Entrenamiento	*232363*	*26975*
Simulación	*276*	*75050*
Aplicativo	*2652*	*38525*
Totales	*235291*	*140550*

En la Fig. 4, se muestra de forma gráfica la representación de las alertas emitidas por Snort y Suricata, en los diferentes casos de evaluación propuestos en el proyecto de investigación.

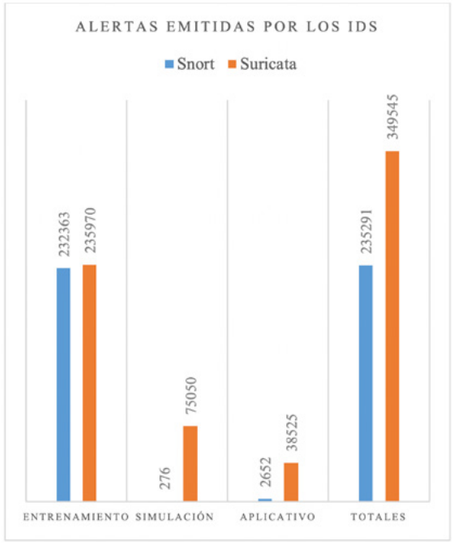


Fig. 4. Distribución del total de las alertas emitidas por los IDS

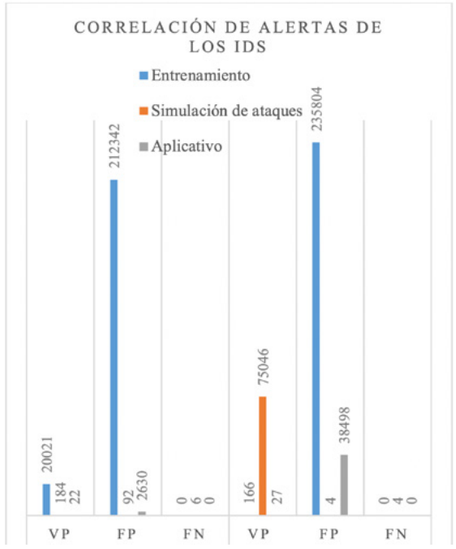


Fig. 5. Correlación de las alertas emitidas por los IDS

Una vez realizada la correlación de las alertas emitidas por Snort y Suricata con los datos estadísticos de la etapa de entrenamiento, se obtienen clasificación de los datos respecto a: VP, FP y FN, ver Tabla VII, a fin de determinar los ataques y falsas alertas (sección V. EVALUACIÓN DE UN IDS).

TABLA VII. CORRELACIÓN DE LAS ALERTAS EMITIDAS POR LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS

Caso	Snort			Suricata		
	VP	FP	FN	VP	FP	FN
Entrenamiento	*20021*	*212342*	*0*	*166*	*235804*	*0*
Simulación de ataques	*184*	*92*	*6*	*75046*	*4*	*4*
Aplicativo	*22*	*2630*	*0*	*27*	*38498*	*0*
Totales	20227	215064	6	75239	274306	4

En la Fig. 5, se muestra de forma gráfica la representación de la correlación de las alertas como VP, FP y FN emitidas por Snort y Suricata, en los diferentes casos de evaluación propuestos en el proyecto de investigación.

Cabe indicar que, los falsos negativos (FN), se los consideraron en el caso simulación, debido a que los sistemas de detección de intrusos no emitieron ninguna alerta al momento de generar ataques a través de Nmap, Hydra, Nikto, Hping3 y otros, razón por la cual, por cada intrusión no detectada se otorgó un valor de la unidad que correspondería a una alerta no detectada, considerando que se desconoce la cantidad de alertas que pudiesen generar al respecto, tanto Snort como Suricata.

El valor de la precisión está determinado con la posibilidad de predecir amenazas (VP) en relación a todos los casos que el IDS detecta como positivos, y se determina por la división entre el número total de VP y la sumatoria de VP + FP (falsos positivos). El valor será un valor menor a 1, que multiplicado por 100 es el valor porcentual. Mientras el valor sea más cercano a 1, la herramienta se aproxima a un valor sensible de 100%, ver tabla VIII.

$$P = \frac{\Sigma\, VP}{\Sigma\,(VP+FP)} * 100\ \%$$

Nomenclatura:

P = Precisión
VP = Verdaderos positivos
FN = Falsos negativos

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

TABLA VIII. CÁLCULO DE LA PRECISIÓN DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS

Indicador	Snort	Suricata
Caso entrenamiento	*8.61%*	*0.07%*
Caso Simulación	*66.67%*	*99.99%*
Caso aplicativo	*0.82%*	*0.07%*
Valor promedio	**25.37%**	**33.37%**

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que: Suricata tiene una precisión de un valor promedio de 33.37 % y por otro lado Snort tiene un valor promedio de 25.37%, estos valores son obtenidos de acuerdos a los casos de estudio del proyecto de investigación

6 MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

En la actualidad las instituciones tanto privadas como públicas carecen parcialmente o tiene deficientes mecanismos de seguridad de la información que hagan frente al aumento del número de ataques que se producen en Internet.

Como una medida para mitigar los ataques informáticos es utilizar un sistema de detección de intrusos que alerte a los administradores de los servidores y red, cuando un intruso o eventos anormales se presenten en la red.

Actualmente la mayoría de instituciones del Ecuador no tienen instalado un sistema de detección de intrusos de plataforma open source, debido a que no existen evaluaciones de funcionalidad o cuadro comparativos de ventajas y desventajas de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source, que les permita elegir de manera eficiente y de forma segura un sistema acorde a la infraestructura tecnológica con la que cuentan.

En el manual de buenas prácticas de los sistemas de detección de intrusos de plataforma de software libre, se describen los pasos necesarios para su implementación y los resultados de la evaluación de sus funcionalidades, con la finalidad de reducir los tiempos al momento de elegir un IDS que se adapte a las necesidades de la institución y su proceso de instalación.

6.1 Los pasos para una implementación adecuada y eficiente de Suricata.

Para implementar Suricata de forma eficiente, se deben considerar los siguientes pasos de acuerdo con la Fig. 6.

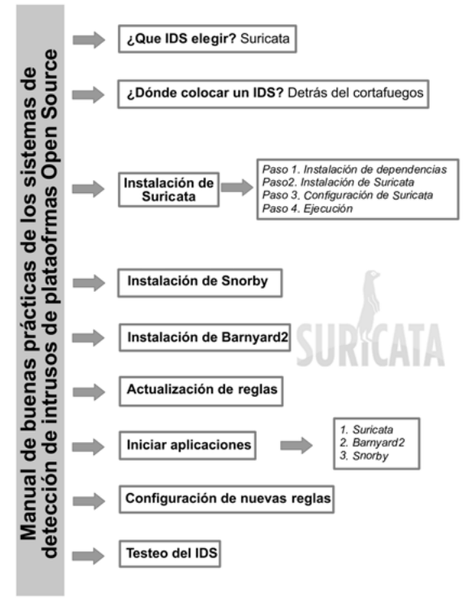


Fig. 6. Manual de buenas prácticas de implementación de un IDS de plataforma Open Source

Para un correcto funcionamiento de Suricata es necesario instalar las siguientes aplicaciones en conjunto como son: 1) Snorby que es una aplicación web (front-end), que interactúa con un IDS para monitorizar gráficamente la seguridad de la red; 2) Barnyard2 es un intérprete de las alertas que va recopilando Suricata.

Para iniciar Suricata, Snorby y Barnyard2, utilizar la siguiente secuencia, haciendo uso de 3 terminales o consolas:

Terminal 1: Iniciar Suricata
sudo suricata -c /etc/suricata/suricata.yaml -i enp0s3 -D

Nota: Cabe indicar que el nombre de la tarjeta de red puede variar dependiendo de la configuración o versión del sistema base.

Terminal 2: Iniciar Barnyard2
sudo barnyard2 -c /etc/suricata/barnyard2.conf -d /var/log/suricata -f unified2.alert -w /var/log/suricata/suricata.waldo –D

Terminal 3: Iniciar Snorby
cd /var/www/html/snorby
bundle exec rails server –e production

7 CONCLUSIONES

En el proyecto de investigación se realizó la implementación de los IDS de plataforma Open Source, que utilizan la técnica de detección de anomalías, como son Bro IDS, Snort y Suricata, en diferentes escenarios, considerando que Snort y Suricata mantienen una estructura basada en firmas de conocimiento y por otra parte BRO IDS se basa en una estructura de políticas de scripts (comportamiento), razón por la cual no se considera al momento de la evaluación de los indicadores propuestos, debido que su esquema de funcionalidad es distinto y por ende sus resultados serían discordantes.

Luego del análisis se concluyó que: en cuanto a la funcionalidad Suricata es un 5% mejor que Snort; en cuanto al desempeño se determinó que: Suricata al momento de analizar el conjunto de datos de DARPA 99 que consta de 44894776 paquetes tiene un 0% de paquetes perdidos, con respecto a Snort que tiene un 7.6 %; referente a los tiempos de respuesta utilizando el mismo conjunto de datos se evidencia que Suricata emplea un tiempo de 484 segundos y por otra parte a Snort lo toma realizar el análisis en un tiempo de 1086 segundos; y respecto a la seguridad Suricata ofrece una precisión del 3.37% respecto a Snort del 25.37%. Luego del análisis estadístico inferencial mediante la prueba Z, con la utilización de los datos del caso aplicativo se establece que Suricata ofrece una mejor seguridad que Snort.

Con la finalidad de garantizar que un IDS pueda analizar todo el tráfico que viaja en una red datos es necesario su implementación delante del firewall para que nos permita realizar una monitorización de las intrusiones que logran atravesar el firewall principal, detectar ataques a servidores que ofrecen servicios públicos, intentos de conexiones salientes e identificar los ataques y escaneos más comunes que pudiesen ocurrir.

Para poder cuantificar las alertas que emite los IDS, se emplearon diferentes herramientas polivalentes como son: Hydra, Nmap, Nikto, Hping, entre otras, cabe indicar que cada una estas herramientas tienen un objetivo específico sobre las máquinas que están siendo atacadas.

La elaboración del manual de buenas prácticas de los sistemas de detección de intrusos de plataformas Open Source, sistematiza los pasos necesarios para la implementación de un sistema de IDS, los mismos que están verificados al 2017, y de acuerdo con las versiones propuestas, ya que al momento de realizar este manual en conjunto con la implementación de los laboratorios, se encontraron que ciertos pasos descritos en manuales y documentación de la WEB, estaban obsoletos e incompletos, causando muchas molestias al momento de instalar, por lo que este trabajo servirá de base para realizar la implementación de Suricata de forma óptima, eficiente y segura, y de esta manera ser un complemento más, para aportar a la seguridad de la información que viaja por la red.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

8 RECOMENDACIONES

Mantener actualizado las reglas del sistema de detección de intrusos con periodicidad, permitirá que el sistema alerte sobre nuevas amenazas que viajan por la red, ya sea esta externa o interna que pueden vulnerar la seguridad de la información.

Un sistema de detección de intrusos alerta sobre nuevas amenazas, por lo que es importante complementarlo con un sistema de prevención de intrusos, con la finalidad de saber que acción se debe tomar al respecto, como puede ser denegar el servicio o permitir el acceso, de acuerdo con las reglas establecidas.

Utilizar el manual de buenas prácticas permitirá implementar un sistema de detección de intrusos de plataforma Open Source por parte de los administradores de servidores y redes de manera eficiente y segura, ya que los pasos descritos en el manual corresponden a laboratorios de casos prácticos dentro de los casos de estudios de los IDS.

La ubicación de un IDS debe estar priorizado hacia los servicios del Core de la institución u organización, ya que serán el centro de ataques de terceros con la finalidad de detener servicios tecnológicos o robar información, cabe indicar que el IDS solo alerta de amenazas porque es muy importante fusionar con otras herramientas para denegar los servicios requeridos por los intrusos o atacantes de la red.

Considerando la importancia de la seguridad de la información dentro de las instituciones se recomienda que se realice un análisis de la usabilidad de las herramientas de análisis del tráfico, con finalidad de que se determine el grado de uso de las herramientas de plataforma Open Source y su eficiencia.

REFERENCIAS

[1] GMS, "Gms presento recomendaciones para prevenir ataques ciberneticos en instituciones educativas," [Online]. Available: https://tinyurl.com/y9dul7ks [Accessed: Apr.18, 2020].

[2] J. Maestre, "Sistema para la correlación de alertas de NIDS basados en anomalías," Universidad Complutense, Madrid, 2013.

[3] J. Rivero, B. Ribiero and K. Ortiz, "Comparación de algoritmos para detección de intrusos en entornos estacionarios y de flujo de datos," [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000400004. [Accessed: Apr.18, 2020].

[4] L. Moreno, "Plataforma presidencial," [Online]. Available: https://minka.presidencia.gob.ec/portal/usuarios_externos.jsf. [Accessed: Jun. 12, 2020].

[5] V. Carlos, "CCM sistema de deteccion de intrusiones," [Online]. Available: http://es.ccm.net/contents/162-sistema-de-deteccion-de-intrusiones. [Accessed: Apr.18, 2020].

[6] Rediris, "Sistemas de detección de intrusos," [Online]. Available: https://www.rediris.es/cert/doc/unixsec/node26.html. [Accessed: 18 April 2020].

[7] D. Ortego, "Snort: Primeros pasos," [Online]. Available: https://openwebinars.net/blog/que-es-snort/. [Accessed: Apr.18, 2020].

[8] J. Gómez, "Optimizacion de sistemas de deteccion de intrusos en red utilizando tecnicas computacionales avanzadas," [Online]. Available: https://tinyurl.com/yctjb9oo. [Accessed: Apr.18, 2020].

[9] IDS/IPS, "Descripción y características de Suricata," [Online]. Available: https://blog.elhacker.net/2017/04/ids-ips-suricata-reglas-rules.html. [Accessed: Apr.18, 2020].

[10] J. A. Astudillo Herrera, A. A. Jimenez Macias and F. M. Ortiz Flores, "Adaptación del ids/ips suricata para que se pueda convertir en una solución empresarial," [Online]. Available: http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/19502. [Accessed: Apr.18, 2020].

[11] G. M. I. Giménez, "Utilización de Sistemas de Detección de Intrusos como elemento de Seguridad Perimetral," [Online]. Available: www.adminso.es/recursos/Proyectos/PFC/PFC_marisa.pdf. [Accessed: Apr.18, 2020].

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

AUTOR

EDUARDO ARTEAGA

Nacido en San Miguel de Bolívar el 18 de marzo de 1987; Graduado como Ingeniero en Sistemas Computacionales en la Universidad Estatal de Bolívar en el año 2011; Magister en Interconectividad de Redes en la Escuela Politécnica del Chimborazo en el año 2018; Entre los principales cursos aprobados: Gestión de proyectos, Empoderamiento y eficacia personal con orientación a lineamientos estratégicos, Control de gestión pública, Programación web, CCNA1, CCNA2, CCNA3; Principales cargados ocupados Administrador de Base de Datos en el Instituto Geográfico Militar, Asistente de Tecnologías de la Información en el CACES, Director de Tecnologías de la Información y Comunicaciones en la Secretaría de Hidrocarburos (2016-2017), Docente y Programador de Sistemas en la Universidad Estatal de Bolívar. Asistente Administrativo y Tecnológico en la Fundación Natividad de los Andes.

J. Arteaga, "Evaluación de las funcionalidades de los sistemas de detección de intrusos basados en la red de plataformas open source utilizando la técnica de detección de anomalías", Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 7, no. 1, 2020.

Diseño de sistema de monitoreo simple para redes de gran escala

Design of a simple monitoring system for large-scale networks

ARTICLE HISTORY

Received 14 May 2020
Accepted 06 June 2020

Vanessa Napa
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
vanessa.napa@epn.edu.ec

Luis Urquiza-Aguiar
Departamento de Electrónica,Telecomunicaciones y Redes de Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
luis.urquiza@epn.edu.ec

Xavier Calderón-Hinojosa
Departamento de Electrónica,Telecomunicaciones y Redes de Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
xavier.calderon@epn.edu.ec

Diseño de sistema de monitoreo simple para redes de gran escala

Design of a simple monitoring system for large-scale networks

Vanessa Napa
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
vanessa.napa@epn.edu.ec

Luis Urquiza-Aguiar
Departamento de Electrónica,Telecomunicaciones y Redes de Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
luis.urquiza@epn.edu.ec

Xavier Calderón-Hinojosa
Departamento de Electrónica,Telecomunicaciones y Redes de Información
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
xavier.calderon@epn.edu.ec

Resumen — Actualmente, existen muchas herramientas de administración de redes que tratan de monitorizar dispositivos de diferentes casas fabricantes. Sin embargo, ninguna de ellas permite automatizar las tareas de monitoreo que se realizan en la red. Para solventar este problema, se propone un sistema a medida que verifica automáticamente los archivos de configuración de los equipos de red para que los técnicos puedan dedicar su tiempo a solucionar los fallos encontrados, lo que dará como resultado un uso más eficiente de sus días de trabajo. El sistema de monitoreo propuesto se desarrolla para la red WAN de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) de Ecuador, en el cual se utiliza dos formas para el análisis automático de los registros de configuración: 1) mediante el uso interactivo de comandos que se pueden usar en cualquiera de los dispositivos, independientemente de su marca. 2) mediante el uso de los objetos MIB de Cisco, que son la mayoría de los dispositivos de la red. El sistema se desarrolló utilizando software gratuito y nuestro sistema lleva a cabo la supervisión automática de la red en 14 horas, lo que representa una reducción en el tiempo de aproximadamente el 94%.

Palabras clave — Gestión de red, Monitoreo de red, SNMP, Bash, Expect, WordPress

Abstract *— Currently, there are network management tools that try to monitor devices from different manufacturers. However, none of them allow you to automate the monitoring tasks carried out on the network. To tackle this problem, we propose a tailored system that automatically checks the networking devices' configuration files. In this way, the technicians can spend their time resolving the faults found, resulting in a more efficient use of their workdays. The proposed monitoring system was developed for the WAN of Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) of Ecuador, in which two forms are used for the automatic analysis of configuration records: 1) by interactive use of commands that can be used in any of the devices, independently of his brand. 2) by using the MIB objects of Cisco, which are most of the network devices. The system was developed using free software and the whole, automatic network monitoring is carried out by our system in 14 hours, which represents a reduction in time of approximately 94%.*

Keywords — Network Management, Network Monitoring, SNMP, Bash, Expect, WordPress

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

El monitoreo de una red implica advertir de forma preventiva y oportuna la presencia de cualquier tipo de dificultades que puedan interferir en el correcto desempeño de los servicios que dicha red ofrece. En el mercado mundial existen muchas herramientas de administración de redes que tratan de monitorizar dispositivos de diferentes casas fabricantes. Herramientas comerciales como: Mg-Soft, WhatsUp Gold, Tivoli, Open View, etc. Así mismo, existen herramientas de libre distribución como: Nagios, NET-SNMP, Brother, etc. Todas las herramientas trabajan con el protocolo SNMP y permiten obtener datos de los dispositivos de una red. Pero, específicamente ninguna de ellas proporcionan una herramienta que permita automatizar las tareas que se realizan en una empresa.

Actualmente el área de O&M IP_MPLS de CNT EP cuenta con los sistemas de administración CISCO ANA (Active Network Abstraction), U2000 y SAM (Service Aware Manager), los cuales son propietarios de las marcas CISCO, HUAWEI Y ALCATEL, respectivamente. Estas herramientas entre sus múltiples ventajas permiten la gestión de dispositivos de red. Mediante el revisión de forma automatizada de eventos producidos en los equipos, los tres mencionados sistemas detectan fallas en los equipos y muestran alertas en el caso de ser meritorio, siempre basados en parámetros propios de cada fabricante. La red IP_MPLS de CNT EP está conformada por un conjunto extenso de equipos de las marcas anteriormente mencionadas. Los tres softwares de administración son adquiridos a un costo significativo (miles de dólares) y solamente pueden monitorear hasta un determinado número de elementos de red.

Los objetivos que satisface el sistema de monitoreo propuesto en este artículo envuelven características de redundancia en los métodos de obtención de los registros de configuración, escalabilidad al poder funcionar adecuadamente en un número mayor de equipos, eficiencia al realizar el análisis respectivo en un tiempo considerablemente menor en comparación al tiempo empleado en realizar el mismo proceso de forma manual, versatilidad para integrar en una mismo sistema el análisis de varios fabricantes de equipos de conectividad y finalmente presentar los resultados, mediante una visualización completa y ordenada de los resultados obtenidos en el análisis.

El resto de artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2, se describen los conceptos básicos necesarios acerca de cómo funciona una red MPLS, tomando como base la estructura de la red IP-MPLS de la CNT. Además, se incluye información acerca del protocolo SNMP y la forma en como éste es utilizado para la extracción segura de información de los elementos de red. Luego, la sección 3, presenta la situación actual del proceso conocido como Rutinas de Mantenimiento llevado a cabo por el área de Operación & Mantenimiento de las plataformas IP-MPLS. En la sección 4 se detallan los requerimientos que debe cumplir el sistema para posteriormente definir el diseño del mismo. En la sección 5, se presenta una breve descripción de la parte más relevante de la implementación del sistema de monitoreo. Se describe la estructura general de la programación de los scripts que realizarán el análisis de los parámetros de configuración de los equipos que conforman la red IP-MPLS. Después de ello, la sección 6, da una visión general de las pruebas de funcionamiento realizadas y se describe los pasos a seguir en caso de que se presenten dificultades en el servidor en el cual el sistema de monitoreo fue desplegado. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones son presentadas en la sección 7.

2 ANTECEDENTES

A continuación, se describen los conceptos acerca de la gestión de redes utilizados en el desarrollo del sistema, Así también se describe las configuraciones más significativas de la red IP-MPLS, de la CNT EP.

2.1 Gestión de redes

Gestionar una red implica advertir y diagnosticar problemas para posteriormente dar soporte en el menor tiempo posible. Una adecuada gestión de red, conlleva a que los tiempos de inactividad, causados por un funcionamiento erróneo o a su vez por un rendimiento inadecuado de los equipos sean reducidos, ya que si alguno de estos eventos es pasado por alto podría afectar la forma en la que el cliente percibe el servicio contratado y en consecuencia significar pérdidas económicas [1].

Uno de los protocolos ampliamente difundidos dentro del campo de telecomunicaciones y redes es SNMP (Simple Network Management Protocol). SNMP es un protocolo de capa de aplicación que tiene un conjunto de características especialmente diseñadas para la gestión de redes levantadas sobre la arquitectura de red TCP/IP. Sus bases radican en un modelo de cliente-servidor y se lo utiliza con frecuencia para facilitar el intercambio de información entre dispositivos de red. SNMP maneja los conceptos de agente y gestor. Un agente es un programa dentro del equipo que se encarga de la administración de un conjunto de datos denominado MIB (Management Information Base). Otro programa llamado gestor es similar a una aplicación del tipo cliente, éste genera peticiones hacia la MIB y procesa las respuestas asociadas [2]. La MIB, contiene información almacenada de forma jerárquica en una estructura de árbol. Está conformada por una secuencia de números que representan objetos. Un objeto es una entidad que hace una abstracción de los recursos del dispositivo a ser gestionado y tiene un identificador único (OID, Object Identifier).

2.2 Modelo jerárquico de tres capas

Diseñar una red de forma jerárquica ayuda a los administradores a tener un mejor monitoreo y control de la misma, lo cual se consigue al dividir la red en capas con funciones específicas. Al ser una estructura modular, recuperar la red después de una falla se vuelve una acción fácil de efectuar. El modelo jerárquico tradicional usado para redes extensas consta de tres capas: Core, Distribución y Acceso [3]

Acceso.- Es la interfaz de comunicación entre la red y los dispositivos finales de usuario.

Distribución.- Punto de asociación de múltiples switches de la capa de acceso, agrega los datos provenientes de la misma para su enrutamiento hacia el destino final.

Core.- Es el núcleo de la red. Su función principal es conmutar grandes cantidades de tráfico a la mayor velocidad posible de manera confiable. Es el medio de comunicación entre los elementos de la capa de distribución. La Fig. 1, es un esquema de diseño jerárquico de redes

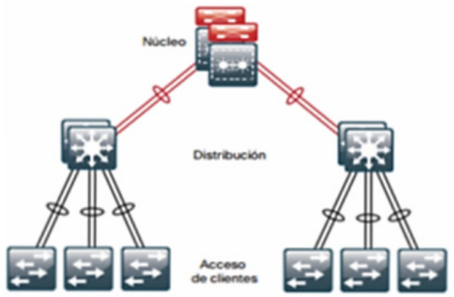


Fig. 1 Esquema del modelo jerárquico de tres capas

2.3 Redes MPLS

La tecnología MPLS fue diseñada como una solución que otorga un trato adecuado a aplicaciones tolerantes al retardo y aplicaciones en tiempo real [4]. MPLS discrimina entre diferentes clases de servicio (CoS - Class of Service) y las administra mediante el uso de ingeniería de tráfico. Adicionalmente, estas redes reciben y dan trato a tráfico multiprotocolo. MPLS, es un mecanismo de conmutación que usa etiquetas para el reenvío de paquetes aprovechando lo mejor de la capa 2 y un rápido enrutamiento mediante características de capa 3; siendo considerado un protocolo de capa 2,5.

En la arquitectura de una red MPLS se distinguen dos dispositivos principales: LER (Label Edge Router) y LSR (Label Switched Router). Los LER también conocidos como PE (Provider Edge) o E-LSR (Edge Label Switching Router), están situados en el borde de la red y son los encargados de asignar/retirar las etiquetas a los paquetes al entrar/salir de la red, son los únicos que realizan funciones de enrutamiento. Los LSR se encuentran intermedios entre los enrutadores de borde, tienen como función el transporte de los paquetes hacia el PE destino.

2.4 Red IP-MPLS de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

La CNT, tiene una amplia red de equipos de telecomunicaciones, la cual está conformada por redes de menor tamaño, subdivididas y administradas en referencia a la función que desempeña dentro del contexto global, una de estas redes basada en tecnología MPLS.

El área de operación y mantenimiento de la de la red IP-MPLS de CNT EP, es la encargada de mantener la disponibilidad de los servicios en dicha red. La red IP-MPLS está estructurada en base al modelo jerárquico de tres capas. La Tabla I, muestra las marcas y número de equipos pertenecientes a cada capa.

TABLE I. NÚMERO APROXIMADO DE EQUIPOS DE LA RED IP-MPLS POR FABRICANTE

CAPA	FABRICANTE	NÚMERO DE EQUIPOS
ACCESO	CISCO	980
	HUAWEI	330
	ALCATEL	160
AGREGACIÓN	CISCO	500
CORE	CISCO	30

La disponibilidad de una red depende en gran parte de la fiabilidad en el funcionamiento de los equipos, es por esta razón que, el departamento O&M IP-MPLS efectúa un proceso denominado Rutinas de Mantenimiento. Este proceso se encarga de verificar el estado operativo de cada uno de los equipos que conforman la red IP-MPLS.

3 RUTINAS DE MANTENIMIENTO OPERACIÓN & MANTENIMIENTO DE LA PLATAFORMA IP-MPLS

Rutina de mantenimiento, es un proceso cuyo objetivo es la revisión periódica de los registros operacionales de los equipos que conforman la red IP-MPLS, con la finalidad de reducir los problemas que pueden presentarse en los mismos. Este proceso actualmente es realizado de forma manual por el personal del área en más de 2000 elementos de conectividad. Se debe considerar que las configuraciones o parámetros analizados dependen de la función que el equipo efectúe dentro de la red. Esta tarea se realiza en un tiempo promedio de siete minutos por equipo y representa un coste global estimado de 234 horas. En contexto, esto significaría que se emplee seis técnicos a tiempo completo (8 horas) de forma continua durante una semana para efectuar el proceso de verificación del funcionamiento de todos los equipos.

Las rutinas de mantenimiento implica la realización de las siguientes actividades en cada uno de los dispositivos:

• Autenticarse en el equipo.

• Digitar el comando que muestre la información a verificar.

• Revisar detalladamente cada uno de los parámetros relevantes de la información mostrada.

• Discriminar entre un funcionamiento adecuado, una alerta o una falla en la configuración.

• Dar soporte en el caso de ser necesario.

En cada capa de la red son analizados parámetros relevantes en cuanto a la función que dicha capa cumple, sin embargo los siguientes parámetros son comunes para las tres capas.

• Porcentaje de procesamiento de CPU.- El objetivo es, verificar que los niveles de procesamiento no superen los límites establecidos, ya que podrían suscitarse falencias en el rendimiento del dispositivo.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

• Parámetros de entorno.- Los parámetros de entorno permiten obtener información acerca del estado del hardware del equipo en referencia a condiciones de temperatura, estado operativo de fuentes de poder y ventiladores.

• UTC: Fecha local actual.- Todos los equipos de la red IP-MPLS están conectados a un servidor, el cual posibilita una comunicación remota con dichos elementos. Este servidor está configurado con el estándar de tiempo universal UTC (Universal Time Coordinated), el mismo que se sincroniza con el tiempo medio de Greenwich a partir de las mediciones de la rotación de la Tierra [5] . Es necesario tener concordancia servidor-equipo en cuanto a la fecha configurada, lo cual posibilitará en caso de ser necesario realizar procesos masivos en un día en particular.

A continuación, son descritos los parámetros específicos analizados en cada una de las capas de la red IP-MPLS

3.1 Capa de Acceso

La capa de acceso de la red IP-MPLS de la CNT EP, está conformada por equipos de las marcas Alcatel, Cisco y Huawei. Dentro de esta capa son considerados para el análisis los siguientes parámetros.

• Protocolo Múltiple de Árboles de Expansión.- Su siglas MST (Multiple Spanning Tree), la función de este protocolo es que, en cada instante exista un único camino entre dos equipos. Dentro de este protocolo se analizan dos características. La primera de ellas es la configuración de instancias y de región asociada, como segunda característica es analizado el rol que cumple el equipo dentro de la estructura de MST, al ser equipos que trabajan en capa de acceso, su rol bajo ninguna circunstancia puede actuar como Raiz (Root).

• Virtual Trunking Protocol.- Este protocolo permite administrar de forma eficaz las VLANs dentro de un dominio de equipos, transmitiendo los cambios hechos en un dispositivo hacia los demás dentro de su dominio. Los equipos de acceso deben estar configurados en modo Transparente, en este modo los cambios hechos en un equipo de acceso no son replicados a los demás dispositivos dentro del dominio VTP.

3.2 Capa de Distribución

La capa distribución está conformada por equipos Cisco, los mismos han sido agrupados de acuerdo a la nomenclatura que usa esta casa fabricante: Cisco Series 7600, Cisco ME Series 3600X/3800X, Cisco Series 900 y Cisco IOS XR (ASR Series 9000).

Debido a que en base a cada clasificación los parámetros a analizarse difieren, se ha optado por definir parámetros generales, parámetros comunes y parámetros específicos.

1) Parámetros generales

Dentro de los parámetros generales se encuentran:

• Tráfico en los puertos: sesiones SPAN.- SPAN (Switched Port Analizer), es una tecnología propietaria de Cisco. Posibilita la duplicidad de paquetes y su captura en una localidad distinta al puerto destino, mediante el levantamiento de sesiones consideradas “parásitas” en el dispositivo. Por lo tanto, es necesario comprobar que ningún puerto esté siendo monitoreado por este tipo de sesiones.

• Descripción de las interfaces.- Es necesario tener información de cada uno de los interfaces que tiene el dispositivo. Dentro de esta información está el destino del enlace, el ancho de banda asignado al mismo y el servicio asociado a dicho puerto. Es común que se realicen migraciones o cancelaciones de servicios, por lo que se precisa tener un seguimiento del estado de los servicios asignados con el fin de conocer las interfaces que están libres y asignarles un nuevo uso.

• Interfaces configuradas con ISIS.- Intermediate System to Intermediate System, es un protocolo de estado de enlace de implementación sencilla. Funciona de manera estable, lo que lo hace robusto en redes de gran tamaño. Permite convergencia rápida y alta escalabilidad. Además, mediante IS-IS se puede implementar enrutamiento jerárquico y enrutamiento multiarea. Cuenta con características para la implementación de Ingeniería de Tráfico. Los parámetros comunes son analizados en referencia a la Tabla II.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

TABLE II. PARÁMETROS EN COMÚN ENTRE SERIES DE EQUIPOS CISCO EN LA CAPA DISTRIBUCIÓN

PARÁMETRO A SER ANALIZADO		SERIE
MST	Rol del equipo dentro del protocolo	7600 3600X/3800X IOS XR
	Estado operativo de los puertos	900
Políticas de servicio	Concordancia de ancho de banda política-interfaz	7600 3600X/3800X
	Paquetes descartados en las interfaces configuradas con políticas de servicio.	900 IOS XR
Estado operativo de objetos referentes a direccionamiento IP: Tracks		7600 3600X/3800X

• MST. - Dentro de este protocolo se analiza el rol que cumple el dispositivo dentro de cada una de las instancias. MST. Cabe mencionar que al ser equipos de capa distribución, el rol de los dispositivos debe ser de Raíz (root). Otra característica para análisis es el estado operativo de los puertos, cada uno de los puertos debe estar en estado Forwarding, el mismo que hace alusión a que todas las tramas entrantes por dicho puerto están siendo reenviadas de acuerdo a las direcciones MAC destino aprendidas.

• Políticas de calidad de servicio. - Una de las causas de la pérdida de paquetes se debe a que el flujo de datos es dirigido desde un enlace de gran ancho de banda hacia otro de ancho de banda menor. Esto a su vez, puede ser el resultado de que el ancho de banda configurado en la interfaz carece de concordancia con al ancho de banda requerido en la política de servicio. Así mismo, es necesario tener información acerca de la existencia de paquetes descartados, con la finalidad de tomar medidas y se posibilite que la mayor cantidad de datos enviados a través de la red lleguen a su destino.

• Estado operativo de objetos referentes a direccionamiento IP: Tracks.- Los Tracks, hacen alusión a un proceso levantado en el equipo. Estos procesos son conocidos como objetos, un objeto puede ser el estado de un protocolo en una interfaz, parámetros de enrutamiento ip o la accesibilidad que tenga el equipo para ser alcanzado por sus vecinos. Se debe verificar que el estado de cada Track sea “Up” y que el intervalo de tiempo transcurrido después de la última actualización de estado sea mayor a una hora.

2) Parámetros específicos analizados: Cisco Series 7600

• Fuentes de Poder. - Se recomienda que todos los equipos tengan dos fuentes de poder, una activa y una en stand-by; ambas de iguales valores de potencia y corriente.

• Estado de arranque y registro de configuración. - Al cargar el IOS en un equipo, la imagen de este se almacena automáticamente en el sup-bootdisk del dispositivo. Si el equipo no encuentra una imagen de IOS válida, entonces no podrá arrancar. El equipo dispone de un disco de respaldo llamado slave-supbootdisk, que actúa en el caso de que el disco principal presente dificultades en su operación. Es por esto que es necesario verificar que ambos discos contengan la imagen del IOS.

• Porcentaje de uso de recursos de hardware para reenvío de tramas y paquetes. - Es necesario conocer el porcentaje de uso de recursos de hardware empleados para el reenvió de tramas y paquetes. Esta información es almacenada en una base de información denominada EARL (Encoded Address Recognition Logic), mediante un proceso centralizado se permite el reenvío de tramas y paquetes, basado en las direcciones MAC aprendidas. El dispositivo se basa en dichos datos para tomar las decisiones de conmutación [6].

• Recursos usados para brindar QoS. - Dentro de una red extendida que permite el flujo de una gran variedad de servicios contratados por diversos clientes, es necesario saber la cantidad de recursos usados para la asignación de políticas que permiten brindar una adecuada calidad de servicio a cada requerimiento.

• Porcentaje de uso de los recursos de fábrica. - Al ser dispositivos cuya función principal es la de conmutar tráfico hacia diferentes destinos, se vuelve imprescindible conocer el porcentaje de uso de los recursos que están siendo utilizados para lograr dicho objetivo. De esta manera si se superara un umbral predeterminado administrativamente, se deberá tomar una acción, con el fin de garantizar la disponibilidad de los servicios.

3) Parámetros analizados en equipos Cisco ME Series 3600X y 3800X.

• Etiquetas utilizadas para VPN (Virtual Private Network) capa 3.- La configuración de VPN de capa 3, proporciona seguridad extra al encapsular paquetes mediante etiquetado. El número de etiquetas usadas debe estar por debajo de un valor referencial, con el fin de no colapsar la capacidad del dispositivo.

• Etiquetas utilizadas para tráfico unicast IP v4.- Es necesario conocer el número de etiquetas utilizadas para aplicaciones unicast en direccionamiento IP v4, esta información es almacenada en la tabla TCAM (Ternary Content Adressable Memory), esta tabla se encuentra subdividida en regiones llamada Nile.

4) Parámetros analizados en equipos Cisco ASR Series 900

• Etiquetas y rutas usadas en conmutación avanzada CEF. - Cisco Express Forwarding (CEF), es una técnica que permite una conmutación más rápida usando la tabla de enrutamiento FIB (Forwarding Information Base). Es importante conocer el número de etiquetas utilizadas dentro de esta tabla.

• Uso de memoria en la tabla TCAM. - Dentro de la tabla TCAM existe un número de etiquetas específico para tráfico unicast, multicast y etiquetas con las que se puede brindar calidad de servicio. Es necesario conocer estos valores con el fin de no sobrepasar los límites y conocer la disponibilidad de etiquetas que puedan ser asignadas a nuevos requerimientos.

5) Parámetros analizados en equipos Cisco ASR Series 9000 IOS XR.

• Estado de dispositivos programables de campo FPD.- Los dispositivos programables de campo FPD (Field Programmables Devices), son elementos que se implementan en las tarjetas de los enrutadores o conmutadores. Estos dispositivos le proporcionan al equipo de red, características adicionales como por ejemplo las que se encuentran dentro de un FPGA. La reprogramación hace referencia a una actualización de software que se basa en lograr una compatibilidad del FPD con el sistema operativo del enrutador o del conmutador. Los FPD se reprograman en caliente y de forma independiente.

• Tráfico en periodos de congestión. - Es importante analizar el comportamiento del dispositivo en cuanto al reenvío de paquetes en periodos de congestión. WRED Drop (Weidhted Random Early Detection), es el parámetro que indica el número de paquetes descartados debido a falta de capacidad en el buffer.

3.4 Capa Core

Los equipos que conforman esta capa cuentan con las mismas características de los dispositivos ASR 900 IOS XR, presentados en la capa de agregación, por consiguiente, la mayor parte de parámetros a ser analizadas fueron ya descritos.

Los parámetros en común entre los equipos agregación ASR Series 900 y los equipos de la capa de Core son:

• Descripción de las interfaces.
• Interfaces configuradas con ISIS.
• Paquetes descartados en las interfaces configuradas con políticas de servicio.
• Estado de dispositivos programables de campo FPD.
• Como parámetro adicional en estos equipos es necesario verificar el estado del protocolo BGP, en cuanto a la recepción de prefijos.
• Prefijos Recibidos en BGP (Border Gateway Protocol).- Para BGP es indispensable que la información que se intercambia entre sistemas autónomos (AS) sea confiable y que ayude a obtener detalles de la red dentro de la cual se está operando. Esto se hace posible a través del intercambio de prefijos entre los AS.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

4 DISEÑO DEL SISTEMA

En la actualidad la mayor parte de dispositivos en el mundo, que trabajan con IP (Internet Protocol) tienen como parte de su plataforma un repositorio MIB que permite la monitorización de estos, utilizando diferentes herramientas de administración denominadas NMS (Network Management System). Es por eso que existen objetos MIB's que tienen información relacionada a la plataforma del dispositivo y por ende información del protocolo MPLS, facilitando de esta forma el sondeo de las características que tienen los dispositivos de redes en relación a MPLS y con esta información los administradores de una red pueden solucionar los problemas que se presenten en la red de cualquier empresa. Por tanto, la información de monitoreo de un equipo de red puede ser extraída de forma automática con un conjunto de herramientas adecuado. Esta sección describe los componentes del sistema propuesto

La metodología usada para el diseño del sistema se basa en las siguientes actividades:

• Análisis de la situación actual de la Empresa y toma de requerimientos del sistema en base a los criterios de los técnicos.
• Selección de las herramientas software a utilizar y elaboración de los diagramas de flujo del programa a implementar.
• Se realiza la codificación de cada una de las soluciones planteadas.
• Finalmente, se realizan las pruebas de funcionalidad del software en la Empresa y se procede a realizar las correcciones de los errores encontrados y las mejoras planteadas por los técnicos de CNT.

4.1 Requerimientos del sistema

El sistema software deberá ser capaz de satisfacer los siguientes requerimientos:

• Las entradas del sistema deberán ser obtenidas de manera fiable y automática.

• Los parámetros especificados dentro del proceso de Rutinas de Mantenimiento deberán ser analizados de manera automática en todos los equipos de la red IP-MPLS.

• La salida resultante debe ser concisa y confiable.

• El sistema debe ser diseñado de manera que pueda adecuarse a necesidades futuras, es decir, en caso de que posteriormente se consideren nuevos parámetros a revisar, estos podrán ser incluidos sin la necesidad de un cambio drástico en la estructura del sistema.

• El sistema debe ser multimarca, lo que permitirá abarcar en una única plataforma cualquier dispositivo de red independientemente de su fabricante. No estará limitado por las políticas impuestas de uno u otro propietario, convirtiendo al sistema en una herramienta de monitoreo multiplataforma.

4.2 Elementos y Herramientas utilizadas en el Sistema

El sistema constará de tres elementos claves: Servidor, Base de Datos y un Gestor de Contenido para la visualización de los resultados.

1) Servidor

Este elemento será la interfaz equipo-sistema que posibilitará dos tareas principales:

• Obtención de los registros operacionales y de eventos de los elementos de red.- La obtención de registros es una de las partes fundamentales que realiza el sistema, es por esto que se han considerado dos alternativas para su realización, el objetivo es que la herramienta desarrollada sea adaptable y robusta.

— La primera alternativa es mediante un proceso definido por Cisco basado en CISCO-CONFIG-COPY-MIB. Ésta última es un conjunto de archivos que entre otras funciones permite copiar archivos de configuración pertenecientes a un agente SNMP hacia y desde la red. En este caso el dispositivo gestionado (con su agente) es cada uno de los equipos Cisco de la red IP-MPLS y sus archivos de configuración son transferidos vía TFTP hacia el servidor. La información contenida en la MIB (Management Information Base), se encuentra alojada de forma jerárquica mediante los OID (Object

Indentifiers Device). Cada objeto identifica una variable que puede ser configurada o leída a través del protocolo SNMP. Para poder ejecutar este procedimiento es necesario que los equipos tengan configurado una comunidad SNMP privada con permisos de lectura y escritura.
— El segundo mecanismo usa una ejecución interactiva de comandos, a partir de la función de Linux EXPECT. Este mecanismo emula un diálogo entre el usuario y el elemento de red a través del servidor, pudiendo ser usado en equipos de cualquier fabricante [7].

• Almacenamiento y administración de las bases de datos y tablas necesarias para el adecuado funcionamiento del sistema.

2) Bourne Again Shell

Bash es un shell que interpreta comandos introducidos por el usuario, éstos también pueden ser leídos y/o ejecutados de manera secuencial desde un archivo llamado Script.
Algunas de sus características y funciones se mencionan a continuación:

• Edición de línea de comandos.

• Redireccionamiento de entradas y salidas para controlar y filtrar información.

• Control absoluto del entorno de los procesos.

• Ejecución de comandos desde el teclado o desde ficheros (Scripts).

• Lenguaje de programación con una amplia gama de variables, operadores, matrices, estructuras de control de flujo, funciones, definición de alias, etc.

• Control y ejecución de procesos en primer y segundo plano.

• Historial ilimitado de los comandos ejecutados.

El software está desarrollado en base a CentOS, una distribución de Linux que utiliza Bash.

3) WordPress

Es un CMS (Content Management System) o gestor de contenidos. Se trata de un software de código abierto que permite administrar de manera dinámica contenido escrito en lenguajes que pueden ser entendidos por un servidor, entre estos lenguajes figuran PHP y MySQL.
Este gestor permite crear fácilmente páginas web de todo tipo sin escribir código en html. Separa el contenido y el diseño de una página web, permitiendo cambiar el diseño sin afectar la información del sitio web.
Es una herramienta gratuita que funciona a partir de una base de datos en donde es almacenada la información del sitio web, y de un servidor en el cual se encuentra alojado.
El sistema de monitoreo utiliza WordPress para publicar los resultados de la ejecución automática de las Rutinas de Mantenimiento.

4) Base de Datos

Una base de datos es una entidad que puede almacenar gran cantidad de información de manera estructurada [8]. MariaDB y MySQL, son los dos softwares libres de gestión de bases de datos más ampliamente difundidos.

MariaDB al igual que MySQL, utiliza un lenguaje estructurado de consulta interactiva denominado SQL (Structured Query Language). Los comandos que utiliza este lenguaje de programación permiten la creación, almacenamiento, manipulación y consulta de información alojada en una base de datos. La información de una base de datos es organizada en tablas. En las tablas generadas por un SGDB, los datos se almacenan en filas y columnas, de manera de que no se presente redundancia en la información.

El servidor que se utilizará en el sistema cuenta con la base de datos ´ommpls´ dentro de la cual la tabla ´maestro´ es de característica estática. En esta tabla se almacena información de todos y cada uno de los equipos de la red IP-MPLS. Entre esta información se encuentran: nombre del dispositivo, dirección IP, marca, modelo del equipo, rol dentro de la red IP-MPLS, si el dispositivo está o no en proceso de mantenimiento, entre

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

otras. Varios de estos parámetros serán consultados por el sistema de monitoreo de manera frecuente.

Después de realizar el proceso de análisis, los resultados generados por el sistema se almacenarán en una tabla denominada ´reporte´. Este reporte será de característica dinámica debido a que el sistema actualizará dicha tabla semanalmente. Sin embargo, una vez que el reporte semanal se genere, se hará una copia del mismo en una tabla estática dentro de la base de datos ´reportes_rutinas´, esta copia será identificada con la fecha en la cual el sistema fue ejecutado con el fin de disponer de un historial de los resultados del análisis.

4.3 Estructura del sistema

En la sección Rutinas de Mantenimiento, se puede observar que los parámetros a ser analizados varían en base al rol que los equipos desempeñan dentro de la red, a su fabricante y en ciertas ocasiones a la serie del dispositivo. A partir de esta premisa se han clasificado los equipos de la red en siete grupos. La Tabla III, muestra esta clasificación.

TABLE III. AGRUPACIÓN DE EQUIPOS DE LA RED IP-MPLS

CAPA	GRUPO
ACCESO	CISCO
	HUAWEI-ALCATEL
AGREGACIÓN	CISCO Series 7600
	CISCO Series 3000
	CISCO Series 900
	Cisco IOS XR (ASR Series 9000)
CORE	Cisco IOS XR (ASR Series 9000)

Dentro de la estructura del sistema serán creados siete scripts independientes en función a la clasificación de la Tabla III. Cada script constará de cuatro partes principales que son: filtrado de equipos de acuerdo con las características de cada grupo, obtención de registros de operación, análisis de parámetros e inserción de resultados globales en la tabla 'reporte'.

En la Fig. 2 se puede apreciar un diagrama de flujo de la forma en cómo está estructurado el sistema de monitoreo

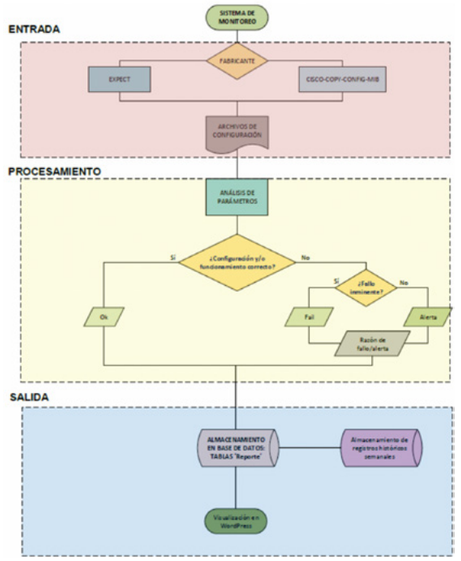


Fig. 2 Estructura del diseño del sistema de monitoreo

En un inicio se pueden observar las Entradas, éstas abarcan los registros operacionales y de eventos obtenidos de cada equipo. El procesamiento de la información consta en realizar el análisis de cada uno de los parámetros especificados dentro de las Rutinas de Mantenimiento. Este análisis se hará por medio de scripts de código escritos en BASH. Los posibles resultados del análisis de cada parámetro son los siguientes:

• "OK": En el caso de que el comportamiento del equipo sea correcto.
• "FAIL": Si fue detectada una falla que requiera soporte de un técnico.
• "NA" (No Aplica): En situaciones que el parámetro analizado no sea requerido en determinado equipo.
• "Warning": Cuando se considere que el resultado del análisis no requiera soporte inmediato, pero deban ser tomadas precauciones.
• "No Data": En circunstancias por las que no se obtuvo la información de entrada, de igual modo se detallará el motivo de este evento.

En el caso de encontrar fallas en la configuración, se presentará un breve detalle de la información relevante a considerar del equipo. Finalmente, la información obtenida del análisis realizado en cada uno de los scripts será almacenada dentro de la base de datos ommpls; a su vez

se realizará una copia del resultado final del análisis en una base de datos diferente con la finalidad de obtener registros históricos. Todo el contenido de los 'reportes' será visualizado a través de la interfaz de WordPress.

4.4 Scripts

Los scripts desarrollados se escribirán en BASH. Este lenguaje de programación ofrece una amplia gama de comandos con funciones específicas. Los siete scripts implementados son nombrados en la Tabla IV.

TABLE IV. SCRIPTS

CAPA	GRUPO	SCRIPT
ACCESO	CISCO	RTN_AcCisco.sh
	HUAWEI-ALCATEL	RTN_AcHuaAlc.sh
AGREGACIÓN	CISCO Series 7600	RTN_Ag7600.sh
	CISCO Series 3000	RTN_Ag3000.sh
	CISCO Series 900	RTN_Ag900.sh
	CISCO IOS XR (ASR Series 9000)	RTN_Agxr.sh
CORE	CISCO IOS XR (ASR Series 9000)	RTN_Core.sh

5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En esta sección se presenta, la estructura global de los siete scripts que realizan el análisis de los parámetros de configuración de los equipos de la red IP-MPLS. Cada uno de ellos consta de cuatro partes fundamentales que son: filtrado de equipos, obtención de información, análisis de parámetros e inserción de resultados globales en la tabla reporte.

En la Fig. 3, se presenta un diagrama de flujo del sistema.

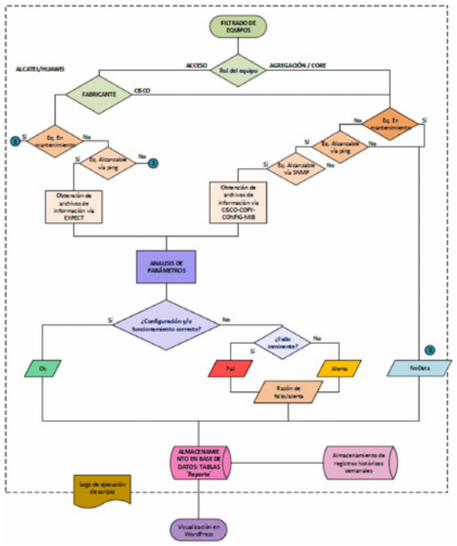


Fig. 3 Scripts: Estructura general

5.1 Filtrado de equipos

Desde la tabla 'maestro' se extraen los dispositivos que cumplen con las características del grupo respectivo. Como ejemplo, dentro del script RTN_Accisco.sh se extraerá la información básica de los equipos de capa acceso y marca CISCO. En la información básica se incluyen datos como: nemónico, dirección IP, modelo, comunidad SNMP, entre otras. Adicionalmente, serán definidas variables que harán referencia a la fecha actual del servidor.

5.2 Obtención de información

Se iniciará declarando variables que harán referencia a cada uno de los datos extraídos desde la tabla 'maestro', tales como: NOMBRE, IP, MODELO, COMUNIDADSNMP, entre otras. Se continuará verificando la comunicación servidor-equipo vías ping y/o SNMP. Posteriormente, se extraerán los archivos de configuración de cada equipo usando uno de los siguientes mecanismos o su combinación:

• CISCO-CONFIG-COPY-MIB (proceso vía SNMP, propietario CISCO)

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

• EXPECT (ejecución interactiva de comandos)
A continuación, se presenta una explicación global de la programación referente a la obtención de información mediante cada uno de estos métodos.

1) CISCO-CONFIG-COPY-MIB

Este proceso hace uso de OIDs, para obtener de forma exitosa los archivos de configuración de cada equipo. Mediante los OIDs se logra lo siguiente:

• Administrar la solicitud de copia de archivos.
• Definir el protocolo para la copia de archivos.
• Especificar que la información a copiar está en el archivo running-config.
• Definir el tipo de archivo a donde se va a realizar la copia.
• Especificar la dirección IP del servidor hacia el cual se va a transferir los archivos.
• El nombre del archivo que contiene la información que se desea copiar.
• Especificar el tiempo que deberá transcurrir desde la petición de copia hasta finalizar el proceso.

El archivo que especifica la información que se desea copiar contiene uno a uno los comandos a ser ejecutados en el equipo.

2) Obtención de archivos de configuración mediante EXPECT

Debido a que el sistema debe ser adaptable, se ha optado por dar una alternativa al uso de SNMP para la extracción de archivos de configuración. Este mecanismo ejecuta de manera interactiva un comando o conjunto de comandos simulando una comunicación técnico-servidor-equipo. La Fig. 4 muestra la programación necesaria. Inicialmente se necesita definir las variables usuario y clave (ln 1-2). En las líneas 3-6 se declaran las variables comando_[1-n], las mismas contendrán la sintaxis de los comandos que permitirán obtener la información de los registros de configuración de los equipos. La sintaxis de los comandos varía de un fabricante a otro.

```
1 usuario=USUARIO
2 clave=PASSWORD
3 comando_1=`echo -e "comado1"`
4 comando_2=`echo -e "comando2\n"`
5 comando_n_menos_uno=`echo -e "comando_n_menos_uno\n"`
6 comando_n=`echo -e "comandon"`
```

Fig. 4 Variables necesarias dentro de EXPECT

Como atributo adicional la marca CISCO permite redireccionar el resultado del comando ejecutado a un archivo específico, como lo muestra el ejemplo siguiente:

```
comando=`echo -e "show spanning-tree | file
tftp://dir_ip/tmp/accisco/stp.axt"`
```

Para los equipos ALCATEL Y HUAWEI, no es posible el redireccionamiento, por lo cual el resultado de la ejecución de los n-1 comandos se almacenará en un único archivo. Cabe mencionar que el comando_n tiene como función terminar la sesión del usuario autenticado. Y es dependiente de la marca del equipo.

5.3 Análisis de parámetros

Esta sección es considerada como el cuerpo del script, debido a que contiene el mayor número de líneas de todo el código. En ella se analizarán uno a uno los parámetros asociados a las Rutinas de Mantenimiento. Por ejemplo, para los equipos de capa acceso y marca CISCO son analizados 5 parámetros, entonces, en el script RTN_Accisco.sh existirán 5 subsecciones de programación.

El sistema consta de 7 scripts, los mismos realizan el análisis del estado operativo de los equipos. Los parámetros a ser analizados varían de acuerdo al modelo y rol que el equipo desempeñe dentro de la red IP-MPLS.

La sección Análisis de Parámetros consta de n subsecciones que hacen referencia a los n parámetros que se desea analizar. En la Fig. 5, se presenta el diagrama de flujo de la programación que constituirá cada subsección.

5.4 Inserción de resultados globales en la tabla reporte

Previamente una tabla llamada 'reporte' ha sido creada para cada script. Por ejemplo, para RTN_Accisco.sh la tabla es llamada reporte_accisco. En ésta, se insertará la información que identifica al equipo y los resultados del análisis de parámetros.g

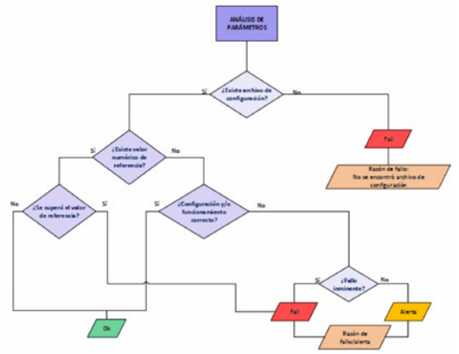


Fig. 3 Scripts: Estructura general

6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y SOPORTE

Durante el desarrollo de los códigos se realizaron pruebas individuales a cada uno de los scripts para verificar el correcto funcionamiento de los mismos.

6.1 Pruebas individuales realizadas de forma manual

Los siete scripts fueron desarrollados de forma independiente. Para la programación de cada uno de ellos se tomó como referencia los archivos de configuración de un equipo elegido al azar, perteneciente a cada grupo.

Tomando en cuenta esta premisa, las pruebas individuales constan de dos escenarios, el primero de ellos en donde el script es ejecutado solamente para el dispositivo referencial y el segundo en el cual el script se ejecuta para todos los equipos del grupo respectivo. Es necesario recalcar que dentro del primer escenario no se presentaron contratiempos relevantes, por lo cual los incisos siguientes harán referencia a las dificultades más significativas del escenario número dos.

1) Ajustes realizados en cuanto a fallas en la comunicación vía SNMP

Al momento de ejecutar un script para todos los elementos del grupo, se pudo constatar que varios de los equipos no eran mostrados en la salida del sistema. Al analizar los logs resultantes de la ejecución, se determinó que dichas ausencias se debían a la falta de configuración de la comunidad SNMP en el equipo. Este problema fue solucionado mediante el uso de un condicional al final de cada script.

La función del condicional es constatar el establecimiento de la comunicación vía SNMP, en el caso de que esta configuración no exista, se asignará como salida la frase 'Falta configurar comunidad SNMP'. Los valores de registro correspondiente al equipo analizado serán llenados con la palabra 'NoData'.

2) Inconsistencias en la existencia de los archivos a ser analizados

Al analizar de forma minuciosa la salida presentada por el sistema, se observó que, a pesar de no tener problemas de comunicación por el protocolo de gestión SNMP, en ciertas ocasiones se mostraban celdas en blanco. La causa fue la ausencia del archivo de configuración necesario para el análisis del parámetro respectivo. Dicha inexistencia se debe a acciones externas al sistema que influyen en el comportamiento del equipo. Situaciones propias de cada elemento, como: alto procesamiento, reinicio intempestivo y otras, pueden ocasionar este tipo de dificultades.

Para corregir esta clase de falencia, se agregó código al inicio de cada subrutina, para comprobar la existencia del archivo necesario para el análisis de cada parámetro. En el caso de la ausencia de este, en la salida del sistema se mostrará el mensaje "No se encontró el archivo de configuración"; caso contrario se continuará con el análisis normal.

3) Ajustes realizados debido a la variación del formato de la información de los archivos analizados

Los siete grupos en los que han sido clasificados los equipos de la red IP-MPLS, contienen en promedio un número elevado de dispositivos. Existiendo diversidad de modelos en cada uno de ellos.

Gran parte del análisis de parámetros se realiza mediante comparaciones a través de operadores numéricos, esta acción solo puede ser efectuada si los datos a ser evaluados están dentro de esta categoría. Uno de los obstáculos que se presentó de manera recurrente en el segundo escenario de pruebas en el cual se ejecutó el script para todos los equipos del grupo, fue que, la ejecución del script se veía detenida abruptamente debido a inconsistencias en el tipo de datos a ser comparados.

Una vez analizados dichos errores, se concluyó que el formato de la información de los archivos variaba de un modelo a otro. Con el objetivo de solventar esta problemática, se determinó la necesidad de agrupar los equipos por modelos en base al formato de la información obtenida de ellos.

En este punto cabe recalcar que, para cada uno de los parámetros analizados la distinción entre modelos no es necesariamente la misma. Para ciertos análisis la agrupación no es necesaria y en otros puede haber más o menos diferencias. Solventado este tipo de errores, y sin tener evidencia de fallas en los logs de ejecución, se obtuvo la salida esperada de cada uno de los siete scripts.

La forma en la que los técnicos pueden visualizar los resultados se ha diseñado de la forma más sencilla posible, la misma se basa en un código de colores que agiliza la lectura de los resultados. El detalle de colores es el siguiente:

Verde simboliza una configuración adecuada. No se requiere acción de soporte.
Rojo Equipo con fallas en la configuración. Necesidad de soporte inmediato.
Naranja Estado de alerta. El equipo funciona adecuadamente, pero podrían suscitarse fallas a posteriori. Necesidad de soporte en cuanto sea posible.
Azul El análisis del parámetro de configuración no se aplica al dispositivo
Celeste No se obtuvieron datos para ser analizados. Posibles causas: equipo en mantenimiento, inalcanzable vía ping o no se pudo establecer comunicación vía SNMP.

6.2 Prueba paralela de scripts realizada de forma automática

Para la ejecución de esta prueba se utilizó la función CRONTAB, mediante la cual se ejecuta de forma automática un script, que tiene como función ejecutar en segundo plano los siete scripts, correspondientes a las rutinas de mantenimiento. A este último script se lo conocerá como RTN_Todas.sh.

Para la ejecución automática se utiliza la función CRONTAB de Linux. Posterior a analizar los logs de ejecución generados durante esta prueba, se determina el éxito del funcionamiento del sistema. Concluyendo que el sistema es automático y cumple a cabalidad con todos los requerimientos para los cuales fue diseñado.

6.3 Soporte al sistema de monitoreo

El sistema desarrollado consta de tres elementos principales: Servidor, Base de Datos y el Gestor de Contenido WordPress. Al presentarse un desperfecto en el funcionamiento de cualquiera de sus componentes es necesario conocer los pasos para reactivar el sistema en el menor tiempo posible.

1) Recuperación del servidor

Para efectuar este proceso es primordial tener un respaldo de los datos almacenados en el servidor, así como también, es necesario conocer la estructura de directorios sobre la cual funciona el sistema. Al levantar un nuevo servidor se requiere que éste cuente con las mismas características del original o superiores. A continuación, se presentan las características mínimas con las que el servidor debe contar.

- Sistema Operativo: CENTOS 7.2.1611
- Procesamiento: 2.5 GHz
- Memoria RAM: 2 Gbytes
- Servidor web: Apache 2.5.6
- Gestor de Base de datos: MySQL o MariaDB
- Lenguaje de programación: PHP 5.5.16
- Protocolo de gestión SNMP: Habilitado y activo
- Función EXPECT: Habilitado y activo

2) Restauración de Bases de Datos

Como se mencionó en un inicio, es primordial tener respaldos de la información con la cual interactúan los scripts desarrollados, en este caso la base de datos a respaldar es ommpls; para ello se puede utilizar lel siguiente comando, que hace un dump de toda la información contenida en MySQL:

```
mysqldump -u root -p -A > /Ruta/archivo_dump.sql
```


ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Siempre y cuando se tenga este respaldo de forma previa, para la restauración de la información de bases de datos se empleará el siguiente comando:

```
mysql -u root -p nombre_BDD_a_restaurarse < /Ruta/archivo_dump.sql
```

3) Restauración del Gestor de Contenidos

Antes de iniciar una restauración es imprescindible tener un respaldo de la información original, esto se logra mediante el comando:

```
cp /usr/share/wordpress/Ruta_respaldo
```

Los pasos para restaurar el funcionamiento de Wordpress son:

• Verificar que el servidor web esté activo.
• Restaurar directorio WordPress.- Se ejecuta el comando:

```
cp /Ruta_respaldo/wordpress/usr/share/
```

• En el caso de ser necesario se modificará el archivo wp-config.php.

• Finalmente, se creará un enlace simbólico para el directorio wp, mediante el comando:

```
ln -s /usr/share/wordpress/var/www/html/ommpls
```

• donde ommpls es una etiqueta con la cual se apuntará al contenido de la carpeta wordpress.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

7 CONCLUSIONES

El proceso de rutinas de Mantenimiento que realiza el área O&M apalanca la disponibilidad y funcionamiento normal de los servicios que presta la red de un operador de gran escala como la CNT EP. No obstante, realizar el análisis de configuración de forma manual toma demasiado tiempo y genera retrasos en otras actividades asignadas a cada uno de los técnicos del área. Por otro lado, soluciones propietarias no pueden en muchas cosas gestionar un gran volumen de equipos. Por ello, hemos propuesto un sistema monitoreo sencillo y que utiliza herramientas gratuitas. El sistema toma ventaja de la distribución de los equipos en las capas de la red lo que determina los parámetros a ser monitoreados.

El sistema escala fácilmente en el número de equipos a monitorear y sólo requiere la apropiada adición del nuevo equipo en la tabla maestra y configuración del acceso a los equipos. Actualmente el sistema de monitoreo propuesto monitorea de forma satisfactoria alrededor de 2000 equipos en la red IP/MPLS de CNT. Trabajo futuro de nuestro sistema incluye el desarrollo de nuevas características como generación de respaldos y cambio de configuraciones.

En trabajos futuros, se plantea desarrollar módulos al software propuesto que permita automatizar las mismas tareas, pero de dispositivos de otras casas fabricantes. Además, se plantea añadir otras tareas a través de un perfil de Administrador y el acceso al sistema de monitoreo a través de un teléfono inteligente.

REFERENCIAS

[1] M. Romero, “Gestión de Redes,” [Online]. Available: http://www.dte.us.es/personal/mcromero/docs/gestionderedes.pdf. [Accessed: May. 2014]

[2] IBM, “Gestión de redes,” [Online]. Available: http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/ssw_aix_6. [Accessed: Jun. 2009]

[3] Cisco Systems, “Resumen de diseño de una red LAN,” [Online]. Available: http://www.cisco.com/c/dam/r/es/la/internet-of everythingioe/assets/pdfs /en05_campus-wireless_wp_cte_es-xl_42333.pdf. [Accessed: Jul. 2009]

[4] I. Minei and J. Lucek, “MPLS-Enabled Applications: Emerging Developments and New Technologies,” England, UK, 2011.

[5] Cisco System, “Identifying Catalyst 5000 EARL Version and Other Common EARL Questions,” [Online]. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/switches/catalyst-5000-series-switches/1059076.html [Accessed: Oct. 2005]

[6] D. Libes, “Expect: Scripts for controlling interactive proccesses,” [Online]. Available: https://www.usenix.org/legacy/publications/compsystems/1991/spr_libes.pdf [Accessed: May. 2020]

[7] S. Sudarshan, Fundamentos de Sistemas de Bases de Datos, Connecticut, Estados Unidos, McGrawHill, 2011.

[8] Circitor, “CISCO-CONFIG-COPY-MIB,” Cisco routers configuration, [Online]. Available: https://circitor.fr/Mibs/Html/C/CISCO-CONFIG-COPY-MIB.php [Accessed: Aug. 28, 2019]

AUTORES

VANESSA NAPA

Nació en Quito-Ecuador el 9 de Junio de 1991. Realizó sus estudios superiores la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones. Vanessa tiene la certificación CCNA y experiencia en el monitoreo de redes de grandes dimensiones.

LUIS URQUIZA AGUIAR

Ingeniero en Electrónica y Redes de Información por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Ecuador. Recibió los títulos de Máster y Doctor en Ingeniería Telemática y el de Máster en Estadística e Investigación Operativa por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) de España en 2012, 2016 y 2018, respectivamente. Tiene la acreditación de Investigador Agregado 2 de la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Actualmente se desempeña como profesor auxiliar en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la EPN y Coordinador del grupo de investigación en Redes Inalámbricas. Sus intereses de investigación se enfocan en la redes vehiculares, redes de 5G y optimización.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

XAVIER CALDERÓN HINOJOSA

Trabaja en la Escuela Politécnica Nacional (EPN), donde es profesor principal a tiempo completo, ha sido miembro del Consejo del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI), Jefe del Laboratorio de Computación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Director de Proyectos de Investigación: Semilla y Junior en la EPN; Director y Codirector de Proyectos de Investigación CEPRA de CEDIA (Consorcio Nacional para el Desarrollo de Internet Avanzado) y de Proyectos Internos de la EPN, además, fue Jefe del DETRI. Últimamente ha dirigido el proyecto de investigación relacionado al área Sistemas Inteligentes de Transporte y ha colaborado en un proyecto de investigación relacionado con la accesibilidad a internet en el Ecuador.

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING (LAJC) — Vol VII, Issue 1, June 2020

El Internet de las cosas en el cuidado de la salud

The Internet of Things in Healthcare. An Overview

ARTICLE HISTORY

Received 14 May 2020
Accepted 06 June 2020

Alex Cazañas-Gordón
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-4597-6328

Esther Parra-Mora
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-9008-031X

El Internet de las cosas en el cuidado de la salud

The Internet of Things in Healthcare. An Overview

Alex Cazañas-Gordón
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-4597-6328

Esther Parra-Mora
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
https://orcid.org/0000-0002-9008-031X

Resumen — La prestación de servicios de salud está experimentando enormes cambios alrededor del mundo. El envejecimiento de la población, la creciente incidencia de enfermedades crónicas, y la escasez de recursos se están convirtiendo en una carga pesada para los actuales sistemas de salud y podrían comprometer la prestación de servicios de salud en las próximas décadas. Por otro lado, la creciente popularidad de dispositivos para el cuidado de la salud y el bienestar, junto con avances en comunicaciones inalámbricas y en sensores abren la puerta a nuevos modelos para la prestación de servicios de salud respaldados por el Internet de las cosas (IoT). Este artículo presenta una revisión general de las tendencias que están impulsando el desarrollo de aplicaciones para el cuidado de la salud basadas en IoT, y las describe brevemente a nivel de sistema.

Palabras clave — IoT, cuidado salud, monitoreo remoto, ambientes asistidos, hospitales inteligentes, dispositivos monitoreo.

Abstract *— The provision of healthcare is experimenting enormous changes worldwide. Population ageing, rising incidence of chronic diseases, and shortages of resources are placing a heavy burden in current healthcare systems and have the potential to risk the delivery of healthcare in the next few decades. On the other hand, the growing popularity of smart devices for healthcare and wellness, along with advances in wireless communications and sensors are opening the door to novel models of health care delivery supported by the Internet of things (IoT). This paper presents a review of the trends that are driving the development of IoT-based applications for healthcare and briefly describe them at a system level.*

Keywords — IoT, healthcare, remote monitoring, ambient assisted living, smart hospitals, wearables.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCTION

The unrelenting phenomenon of population ageing is rising serious concerns about the financial pressures that health systems around the world are likely to face in the next few decades. Compared to 2017, the number of persons aged 60 or above is expected to grow more than twofold by 2050, rising from 962 million in 2017 to 2.1 billion in 2050 [1]. Furthermore, population ageing is estimated to affect globally the support ratio, defined as the number of workers per retiree. In 2017, only a handful of countries in Europe, Japan and the United States Virgin Islands had a support ratio below 3. By 2050, seven countries in Asia, 24 in Europe, and five in Latin.

America are projected to have a ratio support bellow 2 [1]. Although, there is no definition on the minimum support ratio, it is logical to infer that low scores lessen the ability of public health systems in the care of the elderly. Closely related to population ageing is the increasing incidence of non-communicable diseases (NCD) such as diabetes, coronary artery disease, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, among others. According to projections, NCD prevalence is expected to increase in 57% by 2020 and be the cause for 75% of all deaths worldwide [2]. Furthermore, the prevalence of multiple chronic conditions per patient also raises concerns. In 2012, 24% of non-institutionalized patients in the United States suffered one chronic condition, whereas over 25% of patients presented two or more chronic conditions [3]. Ordinarily, chronic diseases require long-term treatment, continuous monitoring, and hospitalization. Because of increasing chronic-disease rates, long-term hospitalizations rise, overburdening healthcare facilities and incrementing operational costs. Furthermore, shortages in the supply of healthcare professionals add to the problem. As of 2013, the shortage of healthcare workers was of 7.2 million and projections place the same figure at 12.9 million by 2035 [4]. Increasing tendency for medical student to seek careers in better-paid specializations, such as surgery and other medical sub-specialties has led to a decline in the number of general practitioners. In addition, the consolidation of a global labor market in health care is causing rich countries to raid less affluent nations for staff to meet shortfalls in their healthcare workforce [5]. As healthcare parties struggles to meet the needs of a growing aging population, there is an increasing in the popularity of healthcare devices for monitoring exercise, sleep, heart rate, blood pressure, among other biological signals [6]. This evidences a shift in consumer behavior towards the appropriation of the management of their own health. This trend is getting a lot of attention by public and private sectors. For instance, governments are actively promoting the development of self-managed, and self-monitoring systems in initiatives like Individualized Medicine in the United Kingdom and Precision Medicine in the United States [7]. On the other hand, popular commercial wearables such as Fitbit health monitor, Pebble smartwatch, and Google Glass, are becoming instrumental in allowing self-management, and self-monitoring. Moreover, they are increasingly incorporated to electronic health records and office systems [8]. Healthcare industry is changing at a rapid pace both in the demand of services and in the way these services are expected to be delivered. Some effects of these changes are already at sight and others are soon to arise. One exciting development in healthcare is the increasing application of the concepts of the Internet of things (IoT) to the medical domain.

The potential incursion of IoT solutions in healthcare has motivated a great deal of research. On one hand, a significant portion of works has focused in examining the prospective role of connected devices in enhancing the delivery of care to patients with chronic diseases, and patients that require continuous monitoring [9-11]. On the other hand, extensive research has been conducted on technological aspects related to IoT. Surveyed topics range from commercially available products [12], sensor technology [13], related technologies and, infrastructure [14, 15]. Although previous works present in-depth discussions of relevant aspects to the application of IoT in healthcare, every topic is discussed in isolation which makes difficult to understand how different technologies add to a complete system. This paper does not discount previous work but build on it to examine key components in the context of an overarching IoT-based system for healthcare.

The remainder of this paper is organized as follows, Section II introduces IoT, and the motivations driving its application in healthcare. Section III presents an overview of common use cases, discussing major components at system level. Section IV discusses latest related enabling technologies highlighting their potential to enhance IoT-based applications for healthcare. Section V discusses ethical and privacy concerns related to personal data in IoT systems. Lastly, section VI presents the conclusions and recommendations for future work.

2 BACKGROUND

2.1 The Internet of Things

The Internet of things is a broad concept defining the convergence of a wide variety of technologies, and systems that leverages the increasing trend of physical devices (things) connected to the Internet. IoT is projected to consolidate an ecosystem like that of personal communications through the Internet but connecting real-world objects with each other and using well-known web technologies. In that context, IoT is expanding the existing Internet beyond human interaction to a new scenario where everyday things exchange information with people, systems, and other real-world assets to support decision making and to create knowledge. Ambitious initiatives such as Health 4.0 [16], SENSEI 2013 [17] and CityPulse 2013 [18] envision IoT as a mean to enrich business processes and services. IoT is expected to consolidate a technological platform that not only provides sensor data, but also contextual data sourced from geographic information systems and social media. A prime example of IoT application is personal wellbeing, specifically stress-monitoring. Thanks to the increasingly availability of commercial fitness wearables like bands and smart watches, measuring bio-signals has been suggested as a readily opportunity to reduce health risks in the workforce. Several studies note stress as main contributor to health issues including high cholesterol, overweight, and high alcohol consumption [19], [20]. Common approaches to quantify stress rely on measuring the heart rate and the galvanic skin response (GSR). Commercially available products on the market can measure these bio-signals, however the information collected via such devices is limited in that ordinarily sensor can only provide the intensity of the signals but they do not inform about the context, e.g. high readings of GSR or heart rate can be caused by stress but also by increased physical activity (e.g. exercise). This ambiguity renders devices prone to false alarms. By contrast, an IoT application can approach the same situation with a broader data coverage providing information sourced from the subject environment, e.g. family, workplace, and other activities that a single sensor would not capture by itself.

Added information from several sources is instrumental in obtaining insight into the person's environment, and their contextual situation. Such a scenario is illustrated in Fig. 1, the illustration depicts an IoT application with various data sources and the available information for collection, aggregation, and analysis. Environmental factors like noise level, air quality, and temperature, as well as work activities such as meetings, phone calls, and e-mail reading, all can impact people well-being and hence increase their stress. On the other hand, recreational activities including exercise, meditation, and leisure time may have a positive impact on people performance and health. Having the ability to record and catalog positive and negative factors, can lead to proactively propose changes to control stress, e.g. increase physical activity, or adjusting bedroom temperature.

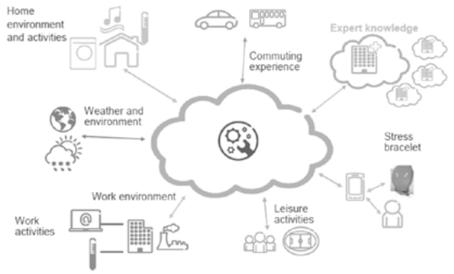


Fig. 1. IoT-based stress monitoring application [20].

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

3 IOT IN HEALTHCARE

The emerging paradigm of the Internet of things brings a wide range of capabilities supported by pervasive connectivity. This approach provides everyday objects with connectivity and computing capabilities to communicate between each other, virtually with no human involvement. IoT connects devices such as consumer objects, sensors, and equipment to the network to manage the physical world through ubiquitous computing, advanced networks, machine-to-machine methods, and other approaches. IoT allows for a variety of connections scenarios including connected cities, connected homes, wearables, industrial Internet, among others. All these scenarios have in common a user-oriented development where personal computer, tablets, and smartphones have a central role. Moreover, this user-centered philosophy is helping to develop a more personalized way of care via the interconnection of sensors, medical equipment, and consumer devices. IoT applications for healthcare are rapidly emerging addressing the equally rising demand for provision of care outside of the established hospital-based model. Projections of the market growth health care estimates that it will reach 348.5 USD billion by 2025 with an important participation of IoT applications and services. The following sections present an overview of trending use cases of IoT in the medical domain described at system level.

3.1 Remote Monitoring

An increasing need in healthcare is moving the delivery of care from hospitals to private environments such as the patient's home. In many countries, especially in the less affluent, budget cuts result in health workers shortages and overburdening of healthcare centers. This is particularly evident during and after seasonal-disease strikes where the influx of people to points of care spikes. One way to overcome this is to acquire patient's vitals at their side and then transmit those signals to the interested parties (physicians, parents, nurses, and others). As a result, physician reduce their workload, hospitals cut their costs, and patients receive timely care. Remote monitoring can also support the care of chronic conditions and patients who live in distant areas.

The basic blocks of a remote monitoring system comprise sensors for acquisition of bio-signals, user interfaces including smartphones, tablets, workstations, and a communication infrastructure. Fig. 2 illustrates a monitoring system consisting of a body area network (BAN), a personal digital assistant as one of the user interfaces, and the medical tier at the healthcare provider end. In addition, the system includes two segments of communication: Short-range for communication between sensors within the BAN, and long-range communications to connect the BAN to the health-provider's facilities. There exists a wide variety of short-range communications standards, however Bluetooth Low Energy (BLE) and ZigBee dominate IoT market. Table I summarizes the main features of these two standards.

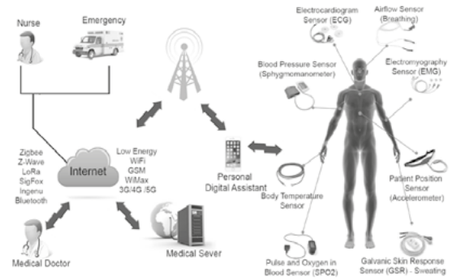


Fig. 2. Remote healthcare monitoring system [21].

3.2 Ambient Assisted Living

Ambient assisted living (AAL) is an IoT-based service designed to provide continuous care for the elderly, patients with chronic diseases, and patients with special needs. One key benefit of AAL is that it allows continuous monitoring with less human involvement. In addition, AAL improves patient's quality of life by allowing them to dwell autonomously in their desired environment. Applications of AAL include remote monitoring, drug management, behavior modification, hand hygiene compliance, chronic disease management, and others. The overall architecture of AAL comprises smart objects such as wearables, bio-medical sensors, motion sensors, among others. Fig. 3 illustrates an AAL system for mobility support

comprising a smartphone application, for processing the bio-signals from the chest band sensor, ambient assisted living message queue (AALMQ) for managing the communication between the devices, and sensor, ambient assisted living message queue (AALMQ) for managing the communication between the devices, and wearables (smartshoes, and kshirt). The AALMQ communicates with web services and the database through a service bus (mobile gateway) and with the smartphone via Wi-Fi or mobile network [22].

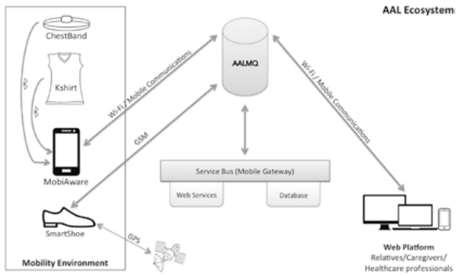


Fig. 2. Remote healthcare monitoring system [21].

3.3 Connected and Smart Hospitals

Smart and connected hospitals involve a broad range of scenarios such as predictive maintenance, connected healthcare devise, and tracking of people and devices. These use cases are cross-industry, and include applications like smart buildings, facility management, and real-time analytics from the data generated by device and patients. A recent survey on the current use of IoT in healthcare found that 70% of respondents are using IoT for monitoring and maintenance, and 50% for remote operation and control. In addition, 67% of interviewees plan to connect their devices using wireless connections [23]. Fig. 4 illustrates a smart-hospital architecture based on IoT.

TABLE I. DOMINANT STANDARDS FOR SHORT-RANGE COMMUNICATIONS [24]

	Bluetooth	**ZigBee**
Operation band	2.4 GHz	2.4 GHz
Range	150 m	30 m
Topology	Star	Mesh
Data rate	1 Mbps	250 kbps
Security	128 AES encryption Secure pairing prior to key exchange Network key shared within network	128 AES encryption (optional) Two keys for authentication Optional link key to secure application layer
Suitability for healthcare	High	Moderate

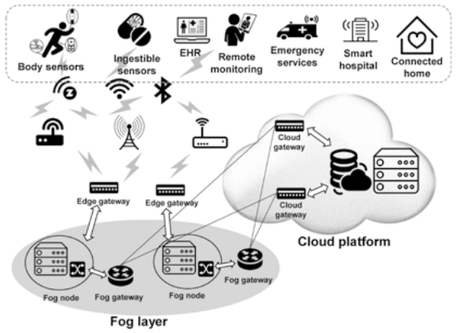


Fig. 4. Smart hospital architecture based on IoT [26].

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

The architecture comprises four layers where the sensing layer collects and sends data to the base station (BS) layer. Next, the edge serving (ES) layer provides an interface between the BS and the cloud computing (CC) layer, to meet requirements of low latency, and real-time processing. Lastly, CC layer handles data analysis and the control of the system. Use cases of this system include:

- Intelligent parking, booking of parking spaces through mobile devices.
- Access control to restricted areas through wearable-based authentication.
- Ward care real-time collection of physiological signals via wearables or sensors, and transmission to monitoring center through wireless communication.
- Telemedicine and remote monitoring.

4 ENABLING TECHNOLOGIES

4.1 Cloud Computing

IoT-enabled devices typically possess limited capabilities of storage and processing which prevent them to provide real-time analytics, particularly in the context of a data-intensive domain like healthcare. Cloud computing emerge as a convenient solution to bridge the gap between data collection and data exploitation by providing high processing, and scalability. The integration of cloud computing to IoT for healthcare applications would provide ubiquitous access to medical data for collaboration, and decision-making support.

An example of such an application is The Collaborative Cancer Cloud, a cloud-computing-based platform designed to aggregates patient data from several distributed parties. The platform allows participant organizations to share large volumes of data sourced from all over the world to support Cancer research in the discovery of potential life-saving breakthroughs [25].

4.2 Machine learning

Machine learning and artificial intelligence can help practitioners to extract knowledge from vast, complex databases. Medical records comprise not only bio-signals such as blood pressure, and heat rate, but also unstructured text that can be analyzed via machine learning techniques like natural language processing. The field of machine learning applied to medical diagnosis is very active, specifically with regards to the applications of deep learning to medical image processing including CT, MRI, or X-ray scans.

The integration of sensor data to existing data processing frameworks might enrich significantly the field of computer aided diagnosis by means of providing contextual data to supplement medical records. Deep learning algorithm's performance depends on volume but also variety of data, the opportunity to increase both dimensions will grow as the pervasiveness of IoT-enabled devices increases.

4.3 Edge Computing

Patient data collected at hospital bedside or captured by wearable devices are commonly processed in on-premises facilities or in the cloud. While this approach is a mainstay in applications where latency and bandwidth congestion are not a concern, it is not a good fit for time-sensitive scenarios such as those in medical practice.

Edge computing emerges as a suitable alternative to bring analytics close to where data are generated or to the sub-system located in between the connected devices and the cloud (fog layer). Thanks to continued sensor miniaturization and increased processing power, connected devices enable health providers to respond faster to emergencies, and automate repetitive tasks, e.g. data collection for regulatory compliance and reporting [27].

In addition, distributed processing may support continuous real-time patient monitoring [28], shifting care delivery from reactive to proactive [29]. Use cases include but are not limited to:

- Chronic disease management, the combination of IoT and edge computing will greatly impact the delivery of at-home care allowing uninterrupted monitoring of patients suffering from chronic conditions such as diabetes or respiratory diseases.

- Closed-loop systems, intensive care units employ sensor systems to maintain physiological homeostasis, by continuously monitoring insulin levels, neurological activity, cardiac rhythms, and others. Edge computing can analyze these data instantaneously enabling prompt action.

- Safety and recovery monitoring, cameras and sensors that oversee patient safety and treatment compliance to decrease readmissions. For instance, connected pill bottles to ensure discharge instructions are followed, and motion sensors to reduce fall risk.

4.4 5th Generation networks

Standardized 5G technology is expected to arrive by 2020, and provide improved connectivity, with speeds of over 100 megabits per second, fewer delays, and cloud-based storage [30]. 5g networks are foreseen to be the backbone of a mobile IoT, which will bring together billions of devices and sensors and open the door for innovative applications and services in healthcare, education, agriculture, transportation, among others. The application of IoT principles to healthcare systems is shifting the delivery of care towards patient-centered scenarios where network requirements are more stringent such as high definition video streaming and transmission of high-resolution medical images. These network requirements fall into two broad categories:

1) Requirements related to quality attributes of the communication such as:

- Data rate and latency
- Fault tolerance
- Continuous mobility
- Context awareness

2) Requirements related to the network operation like:

- Scalability
- Capacity
- Energy efficiency
- Security
- Coverage

5G technology promises to fulfill these requirements through network advancements including radio communications in high-frequency bands, software-defined networks (SDN) and network function virtualization (NFV). In addition, 5G enhanced connectivity, and data capabilities have the potential to enable advances in healthcare in areas like imaging, diagnostics, data analytics and treatment [26].

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

5 SECURITY AND ETHICAL ISSUES

The protection and care of sensitive data in IoT-based applications for healthcare rise serious concerns. Ethical considerations regarding personal data in health records have a long tradition of privacy protection. Several guidelines have been issued worldwide in this regard, including the World Health Organization "Handbook for good clinical research practice (GCP)", Helsinki Declaration of 1964 for conduct of clinical research, and the UNESCO Universal Declaration on Bioethics and Human Rights among others.

Lack of security standards for IoT devices poses a risk for the security of user's data which are ordinarily transmitted over insecure connections. A recent study found that 84% of IoT deployments have security flaws which ended into some level of security breach. More of 50% of the respondents in the same study regarded external attacks as a barrier to further adoption of IoT [31].

Another source of concern is the exposure of information systems handling patient's records on the Internet. A search on Shodan search engine reveals over a thousand DICOM devices accessible through the Internet Fig. 5. Should these devices be poorly managed, malicious actors could gain access to hundreds of thousands of personal health records.

Healthcare systems are exposed to the same type of threats as information systems in general. System management must be aware of malicious parties constantly looking for system vulnerabilities to compromise the security of patient's data. A secure healthcare system should ensure at least the safeguarding of the CIA triad:

- Confidentiality, access to health records is granted only to authorized users. In addition, the system must protect confidential data from eavesdropping.

- Integrity, store records must not be altered, corrupted, or lost. The system must put controls in place to ensure the integrity of data during transmission as well.

- Availability, management must ensure that the system and the health records contained in it are always available to authorized users.

Fig. 5. Statistics of DICOM devices connected to the Internet worldwide. Top countries: United States 768, India 262, Brazil 248, China 171, Iran, Islamic Republic of 153. Source: shodan.io/search?query=dicom

Ordinarily IoT devices have limited memory, computational power, and power autonomy. Such constraints impose design choices that privilege power savings for data collection, and communications rather than performing costly security protocols. Security updates are also affected by power policies that refrain IoT devices from being on during idle states. Another weak spot has to do with the wireless nature of the communication channel, which is typically more susceptible to eavesdropping than its wired counterpart. Attacks to IoTbased healthcare systems may appear at different user levels and exploit hardware and software vulnerabilities within the network, communication channels, and devices. Common attacks include but are not limited to the following:

- Denial-of-service (DoS), this attack compromises availability of the information system, disrupting the communication infrastructure, e.g. by flooding communication links with spurious requests to prevent genuine requests from being fulfilled.
- Replay, an attacker intercepts and replays messages within the network aiming to gain access to secret keys or forwarding messages to other communication nodes.
- Interception, this attack compromises the confidentiality of the information by eavesdropping poorly protected channels such as wireless hot spots located on zones accessible to the public.
- Software exploits, this attack leverage vulnerabilities in outdated software including operating system, firmware, or applications in hosts and clients. This type of attack can compromise confidentiality, integrity, and availability of the healthcare system.

6 CONCLUSIONS

Rapid changes in demographics and consumer behavior are shifting the focus of healthcare from hospital-based models to user-centered approaches. The extension of the principles of the internet of things to healthcare is supporting the realization of novel forms of healthcare delivery that break the barriers of distance such as telemedicine, self-management, and self-monitoring.

IoT is expected to alleviate the impact of population ageing and shortages of healthcare workers that healthcare systems are facing in the next few decades. Applications like remote monitoring, and ambient assistive living can be instrumental in expanding the provision of care to the elderly and to patients with special needs.

Enabling technologies including machine learning, edge computing, and 5th-generation networks push the expansion of IoT in healthcare even deeper, which will allow care providers to deliver high-quality care in real time and at affordable prices.

On the other hand, confidentiality and privacy are aspects that are not well protected in current state of IoT development and need to be swiftly addressed to assure the protection of sensitive information.

Future work should focus on testing the application in conjunction with the latest enabling technologies to existing IoT-based systems, e.g. real-time computer aided diagnosis supported by deep learning, edge computing and 5th-generation networks. Another avenue to future work is in enhancing information security across all components of the system, at present adding robust encryption to connected is challenging due to storage and processing constraints.

REFERENCIAS

[1] United Nations, "World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. ESA/P/WP /248.," pp. 19, 2017.

[2] World Health Organization, "Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of the joint WHO/FAO expert consultation," pp. 160, 2003.

[3] B. W. Ward, J. S. Schiller, and R. A. Goodman, "Multiple chronic conditions among US adults: A 2012 update," Preventing chronic disease, vol. 11, 2014.

[4] World Health Organization, "A Universal Truth: No Health Without a Workforce," pp. 104, 2013.

[5] A. Darzi and T. Evans, "The global shortage of health workers-an opportunity to transform care," The Lancet, vol. 388, no. 10060, pp. 2576-2577, 2016, doi: 10.1016/S0140-6736(16)32235-8.

[6] K. R. Evenson, M. M. Goto, and R. D. Furberg, "Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers," International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, vol. 12, no. 1, pp. 1-22, December 18 2015, doi: 10.1186/s12966-015-0314-1.

[7] F. S. Collins and H. Varmus, "A new initiative on precision medicine," New England Journal of Medicine, vol. 372, no. 9, pp. 793-795, 2015.

[8] D. Metcalf, S. T. J. Milliard, M. Gomez, and M. Schwartz, "Wearables and the internet of things for health: wearable, interconnected devices promise more efficient and comprehensive health care," IEEE pulse, vol. 7, no. 5, pp. 35-39, 2016.

[9] S. Chang, R. Chiang, S. Wu, and W. Chang, "A Context-Aware, Interactive M-Health System for Diabetics," IT Professional, vol. 18, no. 3, pp. 14-22, 2016, doi: 10.1109/MITP.2016.48.

[10] C. F. Pasluosta, H. Gassner, J. Winkler, J. Klucken, and B. M. Eskofier, "An Emerging Era in the Management of Parkinson's Disease: Wearable Technologies and the Internet of Things," IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 19, no. 6, pp. 1873-1881, 2015, doi: 10.1109/JBHI.2015.2461555.

[11] Y. J. Fan, Y. H. Yin, L. D. Xu, Y. Zeng, and F. Wu, "IoT-Based Smart Rehabilitation System," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 2, pp. 1568-1577, 2014, doi: 10.1109/TII.2014.2302583.

[12] S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain, and K. Kwak, "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey," IEEE Access, vol. 3, pp. 678-708, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.

[13] C. C. Y. Poon, B. P. L. Lo, M. R. Yuce, A. Alomainy, and Y. Hao, "Body Sensor Networks: In the Era of Big Data and Beyond," IEEE Reviews in Biomedical Engineering, vol. 8, pp. 4-16, 2015, doi: 10.1109/RBME.2015.2427254.

[14] Y. Yuehong, Y. Zeng, X. Chen, and Y. Fan, "The internet of things in healthcare: An overview," Journal of Industrial Information Integration, vol. 1, pp. 3-13, 2016.

[15] D. V. Dimitrov, "Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare," (in eng), Healthc Inform Res, vol. 22, no. 3, pp. 156-163, 2016, doi: 10.4258/hir.2016.22.3.156.

[16] C. Thuemmler and C. Bai, Health 4.0: How virtualization and big data are revolutionizing healthcare. Springer, 2017.

[17] S. Ziegler et al., "Iot6–moving to an ipv6-based future iot," in The Future Internet Assembly, 2013: Springer, pp. 161-172.

[18] M. Giatsoglou, D. Chatzakou, V. Gkatziaki, A. Vakali, and L. Anthopoulos, "CityPulse: A platform prototype for smart city social data mining," Journal of the Knowledge Economy, vol. 7, no. 2, pp. 344-372, 2016.

[19] M. G. Kang, S. B. Koh, B. S. Cha, J. K. Park, S. K. Baik, and S. J. Chang, "Job stress and cardiovascular risk factors in male workers," Preventive medicine, vol. 40, no. 5, pp. 583-588, 2005.

[20] J. Höller, V. Tsiatsis, C. Mulligan, S. Karnouskos, S. Avesand, and D. Boyle, "Chapter 2 - M2M to IoT – The Vision," in From Machine-To-Machine to the Internet of Things, J. Höller, V. Tsiatsis, C. Mulligan, S. Karnouskos, S. Avesand, and D. Boyle Eds. Oxford: Academic Press, pp. 9-37, 2014.

[21] J. J. P. C. Rodrigues et al., "Enabling Technologies for the Internet of Health Things," Ieee Access, vol. 6, pp. 13129-13141, 2018.

[22] S. E. P. Costa, J. J. P. C. Rodrigues, B. M. C. Silva, J. N. Isento, and J. M. Corchado, "Integration of Wearable Solutions in AAL Environments with Mobility Support," Journal of Medical Systems, vol. 39, no. 12, pp. 1-8, October 21 2015, doi: 10.1007/s10916-015-0342-z.

[23] Hewlett Packard Enterprise, "Das Internet der Dinge: Heute und Morgen," [Online]. Available: https://www.arubanetworks.com/assets/_de/eo/HPE_Aruba_IoT_Research_Report.pdf. [Accessed: May. 25, 2020].

[24] S. B. Baker, W. Xiang, and I. Atkinson, "Internet of Things for Smart Healthcare: Technologies, Challenges, and Opportunities," IEEE Access, vol. 5, pp. 26521-26544, 2017.

[25] D. M. West, "How 5 G technology enables the health internet of things," Brookings Center for Technology Innovation, 2016. [Online]. Available: https://www.brookings.edu/research/how-5g-technology-enables-the-health-internet-of-things/ [Accessed: May. 25, 2020].

[26] H. Zhang, J. Li, B. Wen, Y. Xun, and J. Liu, "Connecting Intelligent Things in Smart Hospitals Using NB-IoT," IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 3, pp. 1550-1560, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2792423.

[27] M. G. R. Alam, M. S. Munir, M. Z. Uddin, M. S. Alam, T. N. Dang, and C. S. Hong, "Edge-of-things computing framework for cost-effective provisioning of healthcare data," Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 123, pp. 54-60, 2019/01/01/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.08.011.

[28] P. P. Ray, D. Dash, and D. De, "Edge computing for Internet of Things: A survey, e-healthcare case study and future direction," Journal of Network and Computer Applications, vol. 140, pp. 1-22, 2019/08/15/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.05.005.

[29] S. Wan, Z. Gu, and Q. Ni, "Cognitive computing and wireless communications on the edge for healthcare service robots," Computer Communications, vol. 149, pp. 99-106, 2020/01/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.10.012.

[30] D. Breskovic, M. Sikirica, and D. Begusic, "Next Generation Access Network Deployment in Croatia: Optical Access Networks and Current IoT/5G Status," Fiber and Integrated Optics, vol. 37, no. 3, pp. 123-139, 2018.

[31] S. Kim, S. Woo, H. Lee, and H. Oh, "IoT cube: An Automated Analysis Platform for Finding Security Vulnerabilities," IITP, Seoul, Korea, 2011.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

AUTORES

Alex Cazañas Gordón

PhD student with the Multimedia Signal Processing Lab at the Department of Electrical & Computer Engineering of the University of Coimbra. His research deals with developing computational methods for automatic detection of retinal pathology on medical images. His interests include signal processing, deep learning, optical coherence tomography, scanning laser ophthalmoscopy, and fundus photography. Alex Cazañas received the B.E. degree in electrical engineering from the National Polytechnic School in 2003, and the MSc in Information Technology from the University of Queensland in 2015.

Esther María Parra-Mora

Received her bachelor's degree in Electronics and Information Networks from the National Polytechnic School, Ecuador in 2007, and her master's degree in Computer Science from The University of Queensland, Australia in 2015. Since October 2017 is a Ph.D. Candidate and researcher in The University of Coimbra, Portugal. Her research is focused in automatic diagnosis of retinal diseases using machine learning techniques and optical coherence tomography retinal images.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

A. Cazañas-Gordón and E. Parra-Mora, "El Internet de las cosas en el cuidado de la salud", Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 7, no. 1, 2020.

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING (LAJC) — Vol VII, Issue 1, June 2020

Análisis de la Calidad de Objetos de Aprendizaje en Contextos Universitarios

Quality Analysis of Learning Objects in Academic Contexts

ARTICLE HISTORY

Received 15 May 2020
Accepted 06 June 2020

Valeria Iliana Bertossi
CIDISI
Universidad Tecnologica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
vbertossi@frsf.utn.edu.ar

Karina Viviana Martinez
CIDISI
Universidad Tecnologica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
kvmartin@frsf.utn.edu.ar

Maria de los Milagros Gutiérrez
CIDISI
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
mmgutier@frsf.utn.edu.ar

Lucila Romero
GIDIS
Universidad Nacional del Litoral – Facultad de Ingenería y Ciencias Hídricas
Santa Fe, Argentina
lucila.lb@gmail.com

Análisis de la Calidad de Objetos de Aprendizaje en Contextos Universitarios

Quality Analysis of Learning Objects in Academic Contexts

Valeria Iliana Bertossi
CIDISI
Universidad Tecnologica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
vbertossi@frsf.utn.edu.ar

Karina Viviana Martinez
CIDISI
Universidad Tecnologica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
kvmartin@frsf.utn.edu.ar

Maria de los Milagros Gutiérrez
CIDISI
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
Santa Fe, Argentina
mmgutier@frsf.utn.edu.ar

Lucila Romero
GIDIS
Universidad Nacional del Litoral – Facultad de Ingenería y Ciencias Hídricas
Santa Fe, Argentina
lucila.lb@gmail.com

Resumen — La calidad de los objetos de aprendizaje influye en los niveles de calidad de las instituciones educativas que los utilizan en sus procesos de enseñanza. Dado que para la definición, diseño y desarrollo de estos objetos intervienen dos disciplinas, las Ciencias de la Computación por un lado, y las Ciencias de la Educación por otro, analizar la calidad de un objeto de aprendizaje debe tener en cuenta ambas realidades. Si bien existen recomendaciones y estándares que proponen modelos para evaluar la calidad del software, fueron pensados y desarrollados con el objetivo de adaptarse a distintos artefactos en sus diferentes etapas (diseño, proceso de desarrollo, uso, etc.). Por lo tanto, es necesario revisar estas propuestas y adaptarlas al caso particular de los objetos de aprendizaje insertos en un contexto académico; lo que implica considerar sus aspectos pedagógicos y no sólo los técnicos. En este trabajo se realiza una revisión de las distintas propuestas existentes, tanto las referidas al software como aquéllas relacionadas a objetos de aprendizaje. Como resultado, se presenta un conjunto de criterios generales especialmente seleccionados para evaluar la calidad de los objetos de aprendizaje gestionados por sistemas de administración del aprendizaje en contextos académicos. Éste es el primer paso hacia la construcción de un modelo de análisis de la calidad para objetos de aprendizaje.

Palabras clave —Objeto de aprendizaje, e-learning, Sistema de administración del aprendizaje, Calidad de software, ISO 9000:2015, ISO 9241, ISO/IEC 24751, ISO/IEC 25000.

Abstract *— The quality levels of educational institutions are influenced by the quality of learning objects used in their teaching processes. Considering that there are two disciplines involved in the definition, design and development of these objects, Computer Sciences on the one hand, and Educational Sciences in the other, both realities must be taken into account when analysing the quality of a learning object. Although there are recommendations and standards that propose models to evaluate the quality of software, they were thought and developed with the aim of being adapted to different artifacts at their different stages (design, development process, use, etc.). Therefore, it is necessary to review the proposals and to adapt them specifically to the learning objects inserted in an academic context. This implies considering not only technical but also its pedagogical aspects as well. In this work, a review is made of different existing proposals, both those related to software and those related to learning objects. As a result, a set of general criteria specially selected to evaluate the quality of learning objects managed by learning management systems in academic contexts, is presented. This is the first step to the development of a quality analysis model of learning objects.*

Keywords — Learning object, e-learning, Learning management system, Software quality, ISO 9000:2015, ISO 9241, ISO/IEC 24751, ISO/IEC 25000.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

En su mayoría, la literatura se refiere a los recursos educativos digitales con el término Objeto de Aprendizaje (OA). Éste es el más utilizado frente a otros términos: objeto virtual de aprendizaje, objeto digital educativo, objeto instruccional, que también aluden al mismo concepto.

Si bien aún hoy no existe una definición única y acabada, una de las más recientes y completas es la siguiente: un OA es "una unidad didáctica digital independiente, cuya estructura está formada por un objetivo de aprendizaje específico, un contenido, actividades y una autoevaluación, y que puede ser reutilizada en diferentes contextos tecnológicos (Repositorios, Entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje) y educativos. Además, cuenta con unos metadatos que propicien su localización dentro de los repositorios y permitan abordar su contextualización" [1].

Es posible identificar diferentes aspectos de los OA tales como: aspectos tecnológicos, económicos, pedagógicos y cuestiones relacionadas con el hecho de ser recursos educativos abiertos. Esto último es, sin dudas, uno de sus rasgos más relevantes ya que permite: (i) que los autores otorguen al público en general el permiso jurídico para utilizar sus trabajos, adaptarlos y distribuirlos mediante el uso de licencias abiertas, redundando en beneficios tales como la reducción de costos y la posibilidad de adecuar los OA a una propuesta formativa concreta, a contextos educativos particulares y a características específicas del alumnado, al tiempo que se respetan los derechos de los titulares de derechos de autor; (ii) dar soporte a la educación basada en recursos, que promueve una educación de mejor calidad para un mayor número de estudiantes; (iii) compartir los OA a través de Internet, propiciando su disponibilidad a una mayor cantidad de educadores y educandos; (iv) dar soporte al aprendizaje abierto, enfoque educativo que pretende eliminar las barreras para el aprendizaje; (v) adoptar normas abiertas adecuadas para facilitar el uso, recuperación e intercambio de OA, propiciando su interoperabilidad en formatos diversos. Si bien hay pocos autores que explícitamente aluden a los OA como recursos abiertos [2], es una propiedad que puede inferirse cuando destacan otras características intrínsecas como la accesibilidad, adaptabilidad y reutilización.

El análisis de la literatura evidencia que en el desarrollo de OA intervienen dos disciplinas: las Ciencias de la Computación, por un lado, perteneciente al campo de ciencias exactas, y, por otro, las Ciencias de la Educación, vinculada a las ciencias sociales [1]. Por tal motivo, analizar la calidad de un OA debe tener en cuenta ambas disciplinas. Desde el punto de vista pedagógico, debe procurarse la calidad de los OA previo a su incorporación en la práctica educativa para garantizar el logro de aprendizajes [3]. Como producto de software, podrían someterse a los estándares existentes para la evaluación de calidad del software como la familia ISO/IEC 25000. Por lo tanto, dado que la calidad implica medir características distintivas, es necesario identificar el cumplimiento de objetivos pedagógicos y aseguramiento del aprendizaje [4] por un lado, y la usabilidad, interoperabilidad, adaptabilidad, entre otras, como producto de software por otro.

En este trabajo se presenta un conjunto de criterios de alto nivel de abstracción que configuran el punto de partida para evaluar la calidad de OA en contextos de educación superior y como parte de un sistema de administración del aprendizaje (LMS, por su sigla del inglés de Learning Management System), principalmente considerando que el cambio y la necesidad de rápida adaptación es una constante en la realidad Universitaria, tal cual ha quedado demostrado con la situación que se está viviendo a partir del surgimiento de la pandemia.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se presenta el marco teórico; en la sección III se realiza una revisión de la literatura; en la sección IV se proponen los criterios generales de calidad a tener en cuenta para un OA y las diferentes perspectivas de las partes interesadas; finalmente, en la sección V se aportan las conclusiones.

2 MARCO TEÓRICO

Pocos temas en la práctica educativa afectan tan medularmente a estudiantes, docentes e instituciones como el concepto de calidad. Pensada como filosofía de trabajo, se manifiesta a través de la mejora continua de los productos, procesos y servicios en los que intervienen las personas que integran la institución. Así, pues, la calidad se expresa en exactitud, orden, organización de ideas, veracidad, claridad integridad y uso de tecnologías apropiadas.

2.1 Calidad en Educación Superior

En el ámbito de la educación superior, los LMS son una tecnología ampliamente utilizada en la que es posible aplicar el concepto de calidad. Son útiles para administrar usuarios, cursos, canales de comunicación y contenidos. Dentro de éstos, los OA constituyen el foco de esta comunicación.

Algunos autores asocian la calidad al logro de objetivos [5], otros, a la experiencia del usuario y si el producto/servicio es adecuado para él [6], o si el cliente/usuario se siente satisfecho [7]. En este trabajo se adopta la definición dada por la norma ISO 9000:2015: "Calidad: grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos" [8].

Si bien no existen estándares internacionales de calidad específicos para OA, si se los piensa como productos de software, sería factible la aplicación de normas, guías y recomendaciones de organizaciones que trabajan en pos de la calidad del software. Disponer de OA con atributos técnicos y pedagógicos satisfactorios antes de incorporarlos al proceso de enseñanza-aprendizaje es fundamental para la producción eficiente de cursos en línea de manera modular; más aún en momentos de distanciamiento social obligatorio como el que se vive en 2020 a causa de la pandemia. En este sentido, [9] destaca la evaluación de OA como un proceso facilitador para el reconocimiento de su valor utilitario.

Se dispone, además, de modelos para analizar la calidad de procesos, técnicas e instrumentos para la creación de OA [10] que contemplan su dimensión tecnológica y pedagógica. Realizar estos desarrollos invita a los docentes a reflexionar acerca de sus prácticas y revelan nuevos recorridos en sus currículums. Por otro lado, la participación y aportes de los alumnos posibilitan evaluaciones de calidad de OA desde diferentes perspectivas: la del pedagogo y la del educando.

Otra cuestión relevante en la práctica educativa mediada por TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) es contar con OA reutilizables que puedan alojarse en un único sitio y sean accedidos por todo tipo de usuarios. De este modo, la calidad de OA insertos en un LMS puede analizarse desde una multiplicidad de puntos de vista.

2.1 LMS

Un LMS es una plataforma de software que se emplea para administrar, distribuir y controlar las actividades de formación presencial y no presencial (e-learning o aprendizaje electrónico) de una organización. Las instituciones educativas los utilizan para brindar a sus alumnos otra forma de acceso al conocimiento, reforzando la enseñanza realizada en el aula. Para soporte de la educación a distancia y una eficiente gestión del aprendizaje, cuentan con un conjunto de herramientas entre las que pueden citarse actividades configurables por el docente, posibilidad de seguimiento y evaluación de los alumnos e instrumentos para el aprendizaje colaborativo.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

También se distinguen diferentes roles de usuarios: (i) Estudiantes: reciben la capacitación y desarrollan su aprendizaje en forma individual y/o colaborativa; (ii) Profesores: crean y gestionan actividades dispuestas para los trayectos educativos dentro del aula virtual; (iii) Diseñadores: crean y diseñan el formato general de los cursos y (iv) Administradores: gestionan y mantienen actualizadas las funcionalidades de la plataforma.

Puede decirse que un LMS hace de intermediario entre estudiantes y docentes. Además de brindar la posibilidad de publicar materiales didácticos, ofrece herramientas de comunicación como foros, chats y mensajería interna; de iniciativa, creatividad y trabajo colaborativo como las wikis; y de evaluación y autoevalución del aprendizaje como los cuestionarios. Todo ello permite a estudiantes y docentes seguir los trayectos propuestos originalmente o adaptarlos a una nueva situación pedagógica.

Estos sistemas fueron pensados para ser instalados en el servidor a través de la compra de licencias. Actualmente, algunos son de software libre y código abierto; entre ellos se encuentra Moodle, que es uno de las más usadas en el mundo. De esta forma, las instituciones educativas acceden a un sistema que es posible personalizar, por el que no deben preocuparse por pagar licencia y que cuenta con la ventaja de ser una tecnología en constante evolución y actualización.

En [11] se propone un nuevo paradigma para la evaluación de calidad de LMS, donde se consideran los aspectos pedagógicos y todos los actores intervinientes. Algunos de los puntos que marcan la diferencia con el paradigma clásico se detallan en la tabla I. Para el caso particular de los OA, la posibilidad de contar, según el nuevo paradigma, con el usuario final (estudiante), el producto de software (OA) y el autor/diseñador/programador del OA (docente/desarrollador de contenidos) en el mismo espacio (aula virtual) compone la mejor configuración para la retroalimentación y la mejora de la calidad del producto.

La metodología que propone [12] para incorporar y evaluar la calidad de OA dentro de un LMS es una manera flexible y colaborativa de satisfacer las necesidades de educadores y educandos. Disponer de OA que puedan compartirse entre docentes optimiza la gestión de recursos; el tiempo que le insume a los profesores la elaboración de contenidos podría invertirse en otras actividades, por ejemplo. Además, la reutilización de OA en distintas materias de una carrera posibilita al alumno el acceso a contenido familiar. En este orden de cosas, el repositorio de OA del LMS favorece la reutilización, minimiza la posibilidad de fuga de materiales de la institución y optimiza la gestión del aula virtual.

TABLA 1. COMPARACIÓN DE PARADIGMAS EMPLEADOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LMS

Paradigma clásico	Paradigma nuevo [11]
Los trayectos formativos recorridos por un estudiante son estáticos.	Se incorporan abordajes intuitivos y experimentales, otorgando equilibrio y amplitud de disciplinas para los caminos a recorrer.
Es fragmentado, cada área está dividida en un proceso único.	Es unificador, todos los procesos están conectados, los subsistemas conforman un gran sistema. Un OA puede emplearse en cursos de diferentes niveles dentro de una misma área de conocimiento o en cursos de diferentes áreas de conocimiento dentro de un mismo nivel. Esto posibilita que los docentes contribuyan cooperativamente en la formación de cada estudiante.
El estudiante es un mero observador, un usuario que simplemente realiza un trabajo con el software.	El estudiante es partícipe activo y determina las nuevas necesidades a satisfacer por el producto de software. La retroalimentación indica el rumbo a seguir en el desarrollo de la nueva versión del software.

El desarrollo de metodologías de ensamblaje como la que proponen [13] posibilita la selección y secuenciamiento de OA. La evaluación por categorías de selección como automatización, ensamblaje, pedagógico y otros, aporta criterios de análisis y auxilia a docentes y estudiantes en la creación de trayectos educativos de calidad dentro de los LMS. Además, los sistemas como Moodle incorporan algoritmos de analítica del aprendizaje transparente, que predicen o detectan aspectos desconocidos en el proceso de aprendizaje. La analítica del aprendizaje puede clasificarse en cuatro categorías: descriptiva (¿qué pasó?), predictiva (¿qué pasará después?), diagnóstica (¿por qué pasó?) y prescriptiva (haga esto para mejorar).

3 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Como se expresó anteriormente, los OA, en tanto producto de software, podrían someterse a los estándares de calidad existentes. Pero es su estatus pedagógico junto a sus propiedades inherentes lo que obliga a tener unas consideraciones particulares. Al respecto, [4] afirma que la calidad de un OA se refiere a medir el cumplimiento de los objetivos pedagógicos y del aseguramiento del aprendizaje.

El autor [14] menciona que hay tres filtros de calidad de un OA: el primero está ligado al proceso de desarrollo de software, que cuenta con estándares que postulan que la calidad del proceso garantiza la calidad del producto final; el segundo tiene que ver con una concepción multidisciplinar de la calidad, donde los OA son valorados de manera independiente y no simultánea por expertos en contenido, pedagogos, diseñadores gráficos e ingenieros de sistemas; y el último se produce mediante la valoración por parte de los usuarios finales.

En [15] se propone un instrumento de evaluación, HEODAR (Herramienta para la Evaluación de Objetos Didácticos de Aprendizaje Reutilizables), que clasifica en cuatro categorías los criterios de valoración (psicopedagógica, didáctico/curricular, técnico/estética, funcional, cada uno con su ponderación para determinar la calificación final del OA), los cuales fueron adoptados por [16] en el primer concurso nacional de OA, iniciativa que buscó consolidar por primera vez un conjunto de OA dirigidos a la educación superior y publicados en el portal educativo Colombia Aprende.

En [17] se propone un instrumento de evaluación similar a HEODAR denominado LORI (Learning Object Review Instrument), que consiste en una rúbrica que considera nueve ítems de calidad: contenido, alineación del OA, retroalimentación y adaptación a las características del alumno, motivación, diseño de presentación, usabilidad de interacción, accesibilidad, reusabilidad y conformidad con estándares de metadatos.

En [18] se destaca la importancia de la consideración del contexto en la evaluación de la calidad del OA y se especifican cuatro criterios a ser analizados: tecnológicos, pedagógicos, de contenido y estéticos.

En [19, 20] se propone considerar la reusabilidad del OA dentro de los criterios para medir su calidad. Sin embargo, el autor aclara que hay pocos estudios sobre reusabilidad práctica e indicadores de reusabilidad de OA. Por ello, propone un método iterativo y colaborativo de evaluación de la reusabilidad de los OA que inicia en etapa de diseño y continúa durante todo su ciclo de la vida. El método consta de cuatro pasos: pre-evaluación, evaluación general, evaluación de contextos eventuales y recopilación de datos de evaluación continua.

4 PROPUESTA DE CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE OA

En los trabajos de investigación que aportan al análisis de calidad de OA existen recomendaciones valiosas tanto en su dimensión pedagógica como tecnológica. Sin embargo, es de gran importancia tener en cuenta los distintos actores o interesados que intervienen en este proceso. De esta manera, y considerando los nuevos paradigmas presentados en [11], se identifican los interesados a considerar y luego se proponen los criterios de calidad para OA.

4.1 Definición de Interesados

La identificación de los grupos de interés representa la primera actividad a realizar en el proceso de definición de los requisitos de un proyecto de software. Conduce a determinar fehacientemente las necesidades y a asignar responsabilidades para el desarrollo, impactando a largo plazo en la utilización exitosa del software.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Estos mismos interesados intervienen luego en el análisis de calidad del producto. La definición de los interesados es imprescindible para llegar a una correspondencia de responsabilidades entre las partes interesadas y las partes involucradas en el proceso de enseñanza-aprendizaje con el fin de maximizar las posibilidades de éxito del uso de las TIC en las instituciones académicas. La tabla II muestra el resultado de la identificación de interesados en el contexto de e-learning en educación superior propuesto por [21].

Particularmente, en cuanto al diseño de OA se identifican nuevos roles e interesados. Es decir, considerando que son recursos completos y autocontenidos, en su diseño intervienen nuevos actores que posteriormente participarán en la evaluación de su calidad.

En este sentido, se puede diferenciar el análisis de la calidad de OA desde la perspectiva de proceso, por un lado, y desde la perspectiva de producto, por otro. Siguiendo esta línea de razonamiento, es posible distinguir interesados más relacionados con una perspectiva que con la otra.

Los actores que se vinculan con el OA desde el punto de vista del proceso son aquéllos que están relacionados con el diseño del mismo. El diseño hace referencia a la estructura del objeto y a la sistematización de su conformación. Por ello, es necesario que participe un actor con el rol de diseñador de OA, sea cual fuere la modalidad de enseñanza prevista: presencial, semipresencial o a distancia. El objetivo principal es que los OA a incorporar en un LMS o a almacenar en un repositorio institucional abierto a la comunidad respeten un mismo formato, sigan una misma lógica y cumplan requerimientos mínimos tanto de índole técnica como pedagógica. Por este motivo, el diseño debe ser el resultado del trabajo mancomunado de docentes, expertos en educación, expertos informáticos, y en consonancia con la secretaría académica. También pueden participar docentes investigadores, que aportarán nuevos componentes deseables en la estructura o modelo de OA.

Considerando la perspectiva del OA como producto, los principales grupos de usuarios interesados son los docentes y los alumnos, quienes darán cuenta principalmente de cuestiones que hacen a la usabilidad y calidad de uso. Los primeros llevarán adelante el proceso de enseñanza, determinarán el avance de cada uno de sus alumnos y tomarán decisiones en consecuencia. También reutilizarán objetos diseñados por sus pares que estén disponibles en repositorios de acceso abierto. Los alumnos, por su parte, aprenderán con el OA, seguirán las actividades prácticas propuestas y pondrán a prueba sus conocimientos mediante las evaluaciones incluidas.

TABLA 2. DEFINICIÓN DE INTERESADOS [21]

Interesado	Descripción
Docente universitario	Responsable del proceso de enseñanza aprendizaje de una asignatura correspondiente a una carrera de las universidades involucradas.
Secretario Académico	Responsable de la Secretaría Académica de la Facultad. Regulador.
Director de Carrera	Director de carrera en una Facultad. Beneficiario del producto, Regulador.
Director de Proyecto de investigación	Director de Proyecto de Investigación. Desarrollador.
Integrante de Proyecto de Investigación	Integrante de Proyecto de Investigación. Desarrollador.
Docente Investigador	Responsable del proceso de enseñanza aprendizaje de una asignatura que, a su vez, participa de un proyecto de investigación. Beneficiario del producto, Usuario.
Coordinador general sistema de carrera a distancia	Responsable del área de Educación a Distancia, de la coordinación de las carreras que se dictan con esta modalidad, los profesores involucrados, tutores, diseñadores de contenido, etc. Beneficiario del producto, Experto, Regulador
Alumno Grado	Usuario, Beneficiario del producto.
Alumno Posgrado	Usuario, Beneficiario del producto.
Alumno de grado que se encuentra realizando un PFC	Desarrollador del producto. Alumno de grado que se encuentra realizando un Proyecto Final de Carrera relacionado con el producto de software.
Asesor pedagógico	Asesor pedagógico perteneciente o no a las instituciones de referencia. Experto, Consultor
Consultor de TIC	Consultor de TIC aplicadas a la educación.
Responsable proyecto	Docente Investigador responsable del proyecto. Responsable, Decisor.
Asesor Técnico	Asesor Técnico sobre conectividad y cuestiones relacionadas con los entornos en donde se instalará el producto de software. Consultor.
Diseñador de contenido	Diseñador de contenido de material para educación a distancia. Usuario. Beneficiario funcional.
Técnicos	Operador de plataforma de elearning. Usuario, Consultor.
Profesor tutor de carrera	Tutor de carrera de educación a distancia.
Corrector de estilo	Correctores del material para una adecuada comunicación con el alumno. Consultor.
Tesista	Tesista de maestría, doctoral.
Director de tesis	Director y codirector de tesis de posgrado.

Los interesados mencionados en ambas perspectivas, sin duda, serán protagonistas en la tarea de analizar la calidad de los OA.

4.2 Criterios de Calidad Propuestos

Cada una de las fases del ciclo de vida de un OA (producción, publicación y presentación) incorpora una actividad de aseguramiento de la calidad que es llevada a cabo por diferentes interesados que han sido identificados en el apartado anterior. Dicha actividad está alineada con los filtros de calidad mencionados por [14]: la aplicación de estándares de proceso y de producto es transversal a las tres fases del ciclo de vida, el uso de estándares de etiquetado ocurre en la fase de publicación, la valoración multidisciplinar se ejecuta a lo largo de todas las fases, mientras que la valoración por parte de estudiantes y docentes con respecto a la calidad en uso tiene lugar en la fase de presentación.

Los criterios de calidad de índole tecnológica involucran aspectos vinculados a la conformidad con estándares (tanto de calidad de software como de metadatos para recursos de e-learning) y al cumplimiento de las propiedades que debe reunir todo OA que se precie de tal (reusabilidad, interoperabilidad, accesibilidad y adaptabilidad). En tanto que los criterios de corte pedagógica cubren aspectos relacionados con el logro de los aprendizajes en el marco de un contexto educativo formal. El grupo de criterios que se proponen en este trabajo tiene un alto nivel de abstracción debido a que constituye el sustento teórico para la generación de un modelo de evaluación de calidad de OA. Como continuación de la presente investigación, en las posteriores iteraciones se prevé su refinamiento en un conjunto de atributos concretos y medibles cuantitativamente, los cuales serán considerados en la elaboración de un instrumento destinado a calificar el OA.

En la tabla III se presentan los criterios agrupados en diez subcategorías, cinco son subsumidas por la categoría tecnológica y las restantes por la pedagógica. En la columna Criterios de calidad y partes interesadas se describen los aspectos a tener en cuenta dentro de cada subcategoría y se enumeran las partes interesadas involucradas en la realización de la actividad de valoración y aseguramiento de la calidad.

TABLA 3. CRITERIOS GENERALES PARA EVALUAR LA CALIDAD DE OA

	Subcategoría	Criterios de calidad y partes interesadas
Categoría Tecnológica	Conformidad con estándares de metadatos.	Los metadatos constituyen un componente de los OA que conforman su estructura externa. Esta subcategoría evalúa (i) completitud y (ii) correctitud de los metadatos, según el esquema de metadatos elegido por el repositorio en el que se publicará el OA, prestando especial atención a los de carácter educativo, de modo que esta información le permita a otros evaluar su relevancia. *Partes interesadas:* quienes evalúan este aspecto son: diseñador de OA, diseñador de contenido, asesor pedagógico, consultor de TIC, responsable de proyecto, director de proyecto de investigación, integrante de proyecto de investigación, docente investigador, docente universitario, profesor tutor de carrera, tesista.
	Conformidad con estándares de empaquetamiento.	Se evalúa si el OA está empaquetado (o es empaquetable) según SCORM [22] o IMS Content Packaging [23]. Esta característica garantiza la interoperabilidad entre el OA y el LMS. *Partes interesadas:* esta subcategoría es evaluada por diseñador de OA, consultor de TIC, asesor técnico, técnico.
	Conformidad con las series ISO 9241 [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32] e ISO/IEC 24751 [33, 34, 35, 36].	Se evalúa si son aplicadas las recomendaciones promovidas por estas normas sobre la usabilidad de sistemas interactivos y la accesibilidad de los mismos por parte de personas con la más amplia gama de necesidades, características y capacidades: (i) diseño centrado en las personas (enfoque de diseño y desarrollo que se centra en las necesidades y requisitos del usuario aplicando conocimientos y técnicas de factores humanos, ergonomía y usabilidad); (ii) principios de diálogo, los cuales se refieren al desarrollo de interfaces de usuario que resulten más fáciles de utilizar, sean consistentes, permitan una mayor productividad y no entorpezcan el aprendizaje del alumno con información confusa, insuficiente o irrelevante, pasos innecesarios, limitaciones de navegación, respuestas inesperadas del OA, etc., de manera tal que cualquier error que pueda cometer un alumno esté vinculado al cumplimiento de objetivos de aprendizaje pero no con la navegación; (iii) principios de presentación de la información visual, auditiva y háptica, que tienen en cuenta la percepción humana y las capacidades de memoria, de modo que el usuario perciba mejoras en la velocidad, precisión, esfuerzo mental y satisfacción en la interacción con el OA, y no experimente problemas de usabilidad con la información presentada (distraerse de la información central, no discriminar entre piezas de información, no detectar información aunque esté presente, malinterpretar la información, tiempo innecesario para comprenderla debido a que es infundadamente larga o porque se utilizan convenciones desconocidas); (iv) uso del enfoque aFa (access for all), en el que los contenidos y su método de entrega coinciden con las necesidades y preferencias del usuario, por ejemplo, la utilización de varios medios para presentar la misma información (texto escrito, hablado o presentado en forma táctil, imágenes visuales o táctiles, sonidos, películas, etc.) o el uso de texto alternativo en las imágenes (el cual mejora la accesibilidad de personas ciegas al desplegarse la explicación en ventanas emergentes cuando se pasa el cursor sobre ellas); (v) utilización de tecnologías que permitan ser interpretadas por lectores de pantalla usados por personas ciegas. *Partes interesadas:* evalúan este aspecto diseñador de OA, corrector de estilo, consultor de TIC, responsable de proyecto, director de proyecto de investigación, integrante de proyecto de investigación, docente investigador, profesor tutor de carrera, docente universitario, alumno de grado que se encuentra realizando un PFC, alumno de grado, alumno de posgrado, tesista.
	Estructura interna.	Se evalúa si todos los componentes que conforman la estructura interna del OA están presentes: (i) objetivo; (ii) contenido; (iii) actividades; (iv) evaluación. *Partes interesadas:*diseñador de OA, responsable de proyecto, integrante de proyecto de investigación, docente investigador, profesor tutor de carrera, docente universitario, alumno de grado que se encuentra realizando un PFC.
	Contextos eventuales.	Se evalúa (i) granularidad, es decir, la atomicidad del contenido, el cual debe contar con un objetivo claro y tema único (o, a lo sumo, pocos temas relacionados); (ii) descontextualización del contenido, es decir, no debe hacer referencia a su ubicación en la asignatura ni en la titulación ni en el tiempo, evitando frases del tipo "en la unidad I de Inteligencia Artificial desarrollaremos…" o "estimados alumnos de ingeniería…" o "esta semana veremos…" y (iii) posibilidad de uso en otros contextos de aprendizaje no definidos explícitamente en los metadatos (en caso de encontrarlos, los metadatos deben ser rectificados). *Partes interesadas:* estos criterios deben ser testeados de manera heurística por expertos en contenido tales como diseñador de OA, asesor pedagógico, diseñador de contenido, profesor tutor de carrera, docente universitario, docente investigador.
C	Significatividad psicológica.	Considera aspectos relacionados con la estructura psicológica del contenido, esto es, (i) si motiva al alumno; (ii) si facilita el aprendizaje autónomo; (iii) si estimula procesos que conducen a un conocimiento conceptual rico y profundo; (iv) si fomenta la metacognición; (v) si promueve la participación activa y (vi) si es posible que el nuevo contenido abordado por el OA se ensamble en la estructura cognitiva previa del estudiante. *Partes interesadas:* diseñador de OA, asesor pedagógico, diseñador de contenido, docente universitario, docente investigador, profesor tutor de carrera.
	Significatividad lógica.	Estos criterios atañen a la estructura lógica del contenido, es decir, a la coherencia de la propuesta didáctica: (i) adecuada alineación del OA con los objetivos del currículo; (ii) consonancia objetivo–actividad–evaluación (las actividades de aprendizaje deben estar relacionadas con los objetivos estipulados en el OA y ser suficientes para que el conocimiento y las habilidades que promueven en el alumno le permitan tener éxito en las evaluaciones, y éstas, a su vez, deben medir el logro de los objetivos de aprendizaje por parte del alumno); (iii) actualidad del contenido; (iv) redacción clara y sin errores ortográficos de los textos; (v) utilidad disciplinar del contenido; (vi) presentación equilibrada de ideas; (vii) cantidad suficiente de ejemplos; (viii) uso de diferentes instrumentos de evaluación y autoevaluación; (ix) información no discriminatoria. *Partes interesadas:* secretario académico, director de carrera, coordinador general sistema de carrera a distancia, diseñador de OA, diseñador de contenido, director de proyecto de investigación, docente investigador, docente universitario, profesor tutor de carrera.
	Conformidad con los principios de diseño para el aprendizaje multimedia.	Se refiere a la aplicación de los principios de [37] en el diseño del contenido para el aprendizaje virtual: (i) de coherencia (eliminar todo aquello que no resulte relevante ni apoye el aprendizaje); (ii) de señalización (si se resalta el material esencial para indicar dónde poner atención); (iii) de redundancia (si se utiliza imagen más narración, o bien, imagen más texto, pero no los tres juntos); (iv) de contigüidad espacial (si se despliegan los gráficos junto a su respectivo texto explicativo); (v) de contigüidad temporal (si se presentan las imágenes y sus narraciones correspondientes al mismo tiempo); (vi) de segmentación (si se despliega el contenido en secciones cortas, a ritmo del alumno); (vii) de pre-entrenamiento (si antes de mostrar el contenido se introducen los conceptos clave); (viii) de modalidad (si se utiliza imagen más narración es mejor que imagen más texto); (ix) de personalización (si se utiliza un lenguaje coloquial en lugar de formal en las narraciones); (x) de voz (se prefiere una voz humana antes que pasar texto a audio en forma automática); (xi) de realización (si el agente en pantalla usa movimientos y gestos de apariencia humana); (xii) de imagen (evitar imágenes del agente que oficia de orador en las narraciones de animaciones ya que causa distracción). *Partes interesadas:* diseñador de OA, asesor pedagógico, diseñador de contenido, docente universitario, docente investigador, profesor tutor de carrera.
	Elementos de contextualización.	Dado que el contenido de un OA publicado en un repositorio debe estar descontextualizado, cuando el docente lo selecciona para reutilizar en su propia propuesta formativa debe adecuarlo a la misma. Una vez hecho ello, se debe verificar que haya incorporado elementos auxiliares que permitan al alumno ubicarse dentro del OA en el contexto particular de uso y que el mismo le resulte más relevante y personalizado. Entre los elementos de contextualización que resultan de utilidad se destacan: (i) logo de la institución, (ii) créditos y derechos de autor, (iii) presentación o introducción, (iv) explicitación de objetivos, (v) explicitación de aspectos metodológicos, (vi) explicitación de requisitos de conocimientos previos, (vii) preguntas generadoras, (viii) resumen, (ix) mapas conceptuales y/o hipervínculos que permitan relacionar el contenido con otros conocimientos del área de interés. *Partes interesadas:* diseñador de OA, asesor pedagógico, diseñador de contenido, docente universitario, integrante de proyecto de investigación, docente investigador, docente universitario, profesor tutor de carrera, alumno de grado, alumno de posgrado, alumno de grado que se encuentra realizando un PFC, tesista.
	Interacción de contenido.	Identifica la medida en la que un estudiante interactúa con el contenido del OA, de manera tal que permita seguir caminos de aprendizaje diferentes y posibilite que el OA se adapte a cómo el alumno aprende, pudiendo llevar cada uno su ritmo. Los resultados de estas interacciones pueden requerir la puesta en marcha por parte del alumno de diversas acciones que han de ser tenidas en cuenta al momento de valorar de la calidad del OA: (i) encontrar la solución de problemas, (ii) llevar a cabo tareas de aprendizaje complejas, (iii) desarrollar la habilidad de búsqueda de información, (iv) desarrollar el pensamiento crítico: análisis, síntesis, evaluación y emisión de juicios, (v) indagar conocimientos previos, (vi) desarrollar el pensamiento creativo. *Partes interesadas:* diseñador de OA, asesor pedagógico, diseñador de contenido, docente universitario, integrante de proyecto de investigación, docente investigador, docente universitario, profesor tutor de carrera.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

5 CONCLUSIONES

La posibilidad de mixturar el paradigma de OA con el proceso de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la educación superior, en todas las modalidades de enseñanza (presencial, semipresencial, a distancia), requiere que los docentes tengan certeza de la calidad de los materiales que podrán utilizar en sus propuestas formativas.

En este trabajo se han identificado una serie de criterios generales para evaluar la calidad de un OA desde sus dos dimensiones, la tecnológica y la pedagógica. Dichos criterios están agrupados en diez subcategorías: conformidad con estándares de metadatos, conformidad con estándares de empaquetamiento, conformidad con las series ISO 9241 e ISO/IEC 24751, estructura interna, contextos eventuales, significatividad psicológica, significatividad lógica, conformidad con los principios de diseño del aprendizaje multimedia, elementos de contextualización, interacción de contenido. Las primeras cinco corresponden a la perspectiva de evaluación tecnológica y las restantes, a la pedagógica.

El trabajo de investigación continuará con la formulación de un instrumento de evaluación que dará origen a diferentes rúbricas que deban considerar los interesados evaluadores de cada subcategoría. Se prevé, con ello, obtener una puntuación del OA que le permita al docente contar con información objetiva sobre su calidad y que sirva como información de retroalimentación de las fases del ciclo de vida del OA con el objetivo de mejorarlo y crear nuevas versiones.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a las Universidades públicas argentinas UTN y UNL por su financiamiento y apoyo a la investigación.

REFERENCIAS

[1] J. Maldonado, "Desarrollo de un Marco de Análisis para la Selección de Metodologías de Diseño de Objetos de Aprendizaje (OA) basado en criterios de calidad para contextos educativos específicos," Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, 2015.

[2] N. Butcher, A. Kanwar and S. Uvalić-Trumbić, "A basic guide to open educational resources (OER)," Vancouver, Paris: Commonwealth of Learning; UNESCO. Section for Higher Education, 2011.

[3] A. Juárez, J. De la Vega, O. Espinosa and A, Hidalgo, "Análisis de criterios de evaluación para la calidad de los materiales didácticos digitales," 2014, en Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, vol. 9, nro. 25, pp. 73-89.

[4] R. E. Ruiz González, J. Muñoz Arteaga and F. J. Álvarez Rodríguez, "Evaluación de Objetos de Aprendizaje a través del Aseguramiento de Competencias Educativas," VIII Encuentro Internacional Virtual Educa Brasil 2007.

[5] P. B. Crosby, "La calidad no cuesta: el arte de cerciorarse de la calidad," 17a reimpr. Edición, México: CECSA, 2006, p. 21.

[6] J. M. Juran, "Juran's quality control handbook," 5ta edición, New York [u.a.]: McGraw-Hill, 1998, p. 2.1.

[7] W. E. Deming, "Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis," Díaz de Santos S.A., 1989.

[8] ISO – International Organization for Standardization. "ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary," 2015.

[9] C. L. Vidal, A. A. Segura and M. E. Prieto, "Calidad en objetos de aprendizaje," Memorias V Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño y Evaluación de Contenidos Educativos Reutilizables, SPEDECE08, Salamanca (España), 2008.

[10] S. M. Massa, "Objetos de aprendizaje: Metodología de desarrollo y Evaluación de la calidad," 2012.

[11] K. V. Martinez, L. Romero and M. M. Gutiérrez, "Estado del Arte de la Evaluación de la Calidad del Software para los Sistema de Gestión de Aprendizaje en Contextos Universitarios," VII Congreso Nacional de Ingeniería Informática – Sistemas de Información CoNAIISI, 2019, Universidad Nacional de La Matanza, Buenos Aires.

[12] T. Mauri, J. Onrubia, C. Coll and R. Colomina, "La calidad de los contenidos educativos reutilizables: diseño, usabilidad y prácticas de uso," en Revista de Educación a Distancia, nro. 50, 2016, doi: 10.6018/red/50/8

[13] G. J. Astudillo, C. V. Sanz and L. P. Santacruz-Valencia, "Criterios para evaluar metodologías de ensamblaje de objetos de aprendizaje," en F. J. García-Peñalvo, y J. A. Mendes (Eds.), XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa, Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca, 2016, pp. 339-344.

[14] D. E. Leal Fonseca, "Objetos de aprendizaje: cuatro años después," en C. T. Valencia Molina y A. T. Jiménez Heredia (Eds.), Objetos de Aprendizaje: Prácticas y perspectivas educativas, Cali, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2009, pp 167-184.

[15] E. Morales Morgado, D. A. Gómez Aguilar and F. J. García Peñalvo, "HEODAR: Herramienta para la evaluación de objetos didácticos de aprendizaje reutilizables," en X Simposio Internacional de Informática Educativa SIIE, Ediciones Universidad de Salamanca, 2008, pp. 181-186.

[16] Ministerio de Educación Nacional - Colombia. 2012. Recursos Educativos Digitales Abiertos – Colombia.

[17] T. L. Leacock and J. C. Nesbit, "A Framework for Evaluating the Quality of Multimedia Learning Resources," en Educational Technology & Society, vol.10, nro. 2, pp. 44-59, 2007.

[18] C. E. Velázquez, J. Muñoz, F. Álvarez and L. Garza, "La Determinación de la Calidad de Objetos de Aprendizaje," VII Encuentro Internacional de Ciencias de la Computación ENC 2006, (940), 346-351.

[19] M. A. Sicilia, "Reusabilidad y reutilización de objetos didácticos: mitos, realidades y posibilidades,"en Revista de Educación a distancia, 2005.

[20] M. A. Sicilia and E. García, " On the concepts of usability and reusability of learning objects," en The International Review of Research in Open and Distributed Learning, vol. 4, nro. 2, 2003.

[21] L. Romero, L. Ballejos, M. Gutiérrez and L. Caliusco, "Stakeholder's analysis in e-learning software process development," en European alliance for innovation, vol. 2, nro. 5, 2015, doi: 10.4108/el.2.5.e4

[22] ADL - Advanced Distributed Learing Initiative, "Sharable Content Object Reference Model (SCORM) version 1.2: The SCORM Overview," 2001.

[23] IMS – Instructional Managemet System Global Learning Consortium, "IMS Content Packaging Information Model Version 1.2. Public Draft 2," 2007.

[24] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-210:2018 Ergonomics of human–system interaction — Part 210: Human-centered design for interactive systems," 2019a.

[25] ISO – International Organization for Standardization, ISO 9241-220:2019 Ergonomics of human–system interaction — Part 220: Processes for enabling, executing and assessing human-centered design within organizations," 2019b.

[26] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-11:2018: Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: definitions and concepts," 2018.

[27] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241–112:2017 Ergonomics of human-system interaction — Part 112: Principles for the presentation of information," 2017a.

[28] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-125: 2017 Ergonomics of human-system interaction — Part 125: Guidance on visual presentation of information," 2017b.

[29] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-161:2016 Ergonomics of human-system interaction — Part 161: Guidance on visual user-interface elements," 2016.

[30] ISO – International Organization for Standardization, (2008a). "ISO 9241-20:2008 Ergonomics of human-system interaction — Part 20: Accessibility guidelines for information/communication technology (ICT) equipment and services," 2008a.

[31] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-171:2008 Ergonomics of human-system interaction — Part 171: Guidance on software accessibility," 2008b.

[32] ISO – International Organization for Standardization, "ISO 9241-110:2006 Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Dialogue principles," 2006.

[33] ISO/IEC – International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 24751-1:2008 Information technology — Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training — Part 1: Framework and reference model," 2008a.

[34] ISO/IEC – International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 24751-2:2008 Information technology — Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training — Part 2: 'Access for all' personal needs and preferences for digital delivery," 2008b.

[35] ISO/IEC – International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 24751-3:2008 Information technology — Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training — Part 3: 'Access for all' digital resource description," 2008c.

[36] ISO/IEC – International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC TS 24751-4:2019 Information technology for learning, education and training — AccessForAll framework for individualized accessibility — Part 4: Registry server API," 2019.

[37] R. E. Mayer, "Research-based principles for designing multimedia instruction," 2014, en Acknowledgments and Dedication, nro. 59.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

AUTORAS

VALERIA ILIANA BERTOSSI

Ingeniera en Sistemas de Información y becaria de posgrado del Doctorado en Ingeniería Mención Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe (UTN – FRSF) de la República Argentina. Actualmente es profesora en las carreras de Ingeniería y miembro del centro de investigación CIDISI de dicha facultad, donde lleva a cabo su beca doctoral. Su área de interés son los objetos de aprendizaje para la enseñanza de la Ingeniería. Participa activamente en proyectos de investigación en el área de Inteligencia artificial y de Accesibilidad académica. Es autora de diversos objetos de aprendizaje que se emplean en las cátedras donde se desempeña y de varios artículos publicados en revistas y actas de congresos.

KARINA MARTINEZ

Ingeniera en Sistemas de Información y alumna de la Maestría en Ingeniería en Calidad de la UTN – FRSF de la República Argentina. Actualmente es docente en la carrera Ingeniería en Sistemas de Información y se desempeña como responsable del Campus Virtual de dicha facultad. Además, es miembro del centro de investigación CIDISI, donde desarrolla sus estudios de posgrado. Está dando sus primeros pasos en investigación y su área de interés es la calidad de los sistemas LMS. Participa de proyectos de investigación.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

LUCILA ROMERO

Ingeniera en Sistemas de Información y Doctora en Ingeniería Mención Sistemas de Información de la UTN – FRSF, tiene categoría III en el Programa de Incentivos para docentes investigadores de la República Argentina. Actualmente es directora del grupo de investigación de Ingeniería de Software GIDIS y profesora en la carrera de grado Ingeniería en Informática de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Dirige proyectos de investigación en el área de Ingeniería de Software. Tiene a su cargo becarios doctorales, de maestría y de grado. Es autora de numerosos artículos publicados en revistas y actas de congresos. Ha participado en proyectos de transferencia de conocimiento y extensión al medio socio-productivo.

MARÍA DE LOS MILAGROS GUTIÉRREZ

Ingeniera en Sistemas de Información y Doctora en Ingeniería Mención Sistemas de Información de la UTN – FRSF, tiene categoría II en el Programa de Incentivos para docentes investigadores de la República Argentina. Actualmente es directora del departamento de Ingeniería en Sistemas de Información y profesora de grado y posgrado de dicha facultad. Dirige proyectos de investigación en el área de Inteligencia artificial y es autora de numerosos artículos publicados en revistas y actas de congresos. Tiene a su cargo becarios doctorales, de maestría y de grado. Es miembro del comité ejecutivo del centro de investigación CIDISI, forma parte de comités científicos de congresos nacionales e internacionales y revistas científicas de publicación periódica. Se desempeñó como consejera en el consejo directivo por el claustro docente en la UTN – FRSF. Ha participado en diversos proyectos de transferencias de conocimiento y extensión al medio socio-productivo.

Diseño de un software de gestión de Portfolios para la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios

Design of a portfolio management software to personalize learning in university environments

ARTICLE HISTORY

Received 15 May 2020
Accepted 06 June 2020

Nicolas Eckell
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Argentina
niceckell@gmail.com

Viviana Santucci
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Argentina
santucci.viviana@gmail.com

Lucila Romero
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Argentina
lucila.rb@gmail.com

Diseño de un software de gestión de Portfolios para la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios

Design of a portfolio management software to personalize learning in university environments

Nicolás Eckell
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Santa Fe, Argentina
niceckell@gmail.com

Viviana Santucci
GIDIS, Research group
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Santa Fe, Argentina
santucci.viviana@gmail.com

Lucila Romero
GIDIS, Research group
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Santa Fe, Argentina
lucila.rb@gmail.com

Resumen — En este artículo se presenta el proceso de desarrollo de un software de administración de portafolios electrónicos (eportfolios) y los resultados obtenidos mediante su uso en una asignatura. El software se centra, principalmente, en la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios. Para ello, el sistema tiene en cuenta tanto los diferentes niveles de asimilación de conocimiento que puede alcanzar un estudiante como indicadores que le dan la pauta al profesor del avance en el proceso de aprendizaje. Con el trabajo, se busca brindar soporte a docentes en el proceso de enseñanza aprendizaje, mediante el planteo de un recorrido de enseñanza que busca lograr los mayores niveles de aprendizaje posibles para un estudiante particular mediante el uso de materiales de estudio adaptados para cada situación.

Palabras clave — aprendizaje electrónico, portafolios electrónicos, personalización de la enseñanza, caminos de aprendizaje.

Abstract *— This article presents the process of developing eportfolios management software and the results obtained through its use in a subject. The software focuses mainly on personalizing learning in university context. For this, the system takes into account both the different levels of assimilation of knowledge that a student can achieve and indicators that give the teacher a guideline of progress in the learning process. With the work, authors wants to provide support to teachers in the learning process, through the proposal of a learning path to achieve the highest possible levels of learning for a particular student through the use of learning materials adapted to each situation.*

Keywords — elearning, eportfolios, personalizated learning, learning paths.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la educación superior se ha visto fuertemente influenciada por el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), tanto informales como formales. Si bien Internet y las TIC no se idearon pensando en la mejora de los procesos educativos hoy en día es considerable la cantidad de sistemas que se desarrollan con tal fin. La adaptación a estos cambios impartidos por los avances tecnológicos, debe atenderse desde una mirada crítica por parte de quienes educan y de quienes gestionan la educación, ya que supone un cambio radical en los métodos tradicionales de la enseñanza [1].

Uno de los instrumentos digitales que más se ha expandido en la educación superior son los sistemas de administración del aprendizaje (LMS, acrónimo en inglés), también conocidos como entornos virtuales o plataformas e-learning. Por lo general, estos sistemas se los utiliza para almacenar y distribuir contenidos referidos al cursado de materias, enviar anuncios masivos sobre diferentes cuestiones a tener en cuenta o para discutir temáticas en los foros. En definitiva, ofrecen una gran cantidad de funciones de administración de cursos que permiten mantener comunicados a los interesados sobre aspectos del cursado.

En este contexto pedagógico-tecnológico, la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje se convierte en un factor clave. Gracias a utilización de las TIC el aprendizaje puede enriquecerse a través de la enseñanza personalizada, convirtiendo a este proceso en una experiencia altamente interactiva. En este sentido, se hacen imprescindibles estrategias tendientes a mejorar el control y seguimiento del proceso de enseñanza en contextos de elearning. Los objetivos de aprendizaje que son definidos por un profesor deben evaluarse en uno de estos dos sentidos: para la calificación de los alumnos y para mejorar la calidad del curso en futuros dictados [2].

Como parte de las herramientas disponibles para evaluar el aprendizaje, se encuentran los eportfolios. Si bien originalmente se utilizaron como parte del entrenamiento del personal en lugares de trabajo, es evidente el protagonismo que adquieren, día a día, en contextos educativos particularmente en ambientes universitarios. Los mismos tienen diferentes propósitos, entre los que se pueden mencionar: presentación del alumno o del profesor, herramienta para la planificación del desarrollo personal y para el aprendizaje continuo. Para este último, los alumnos recogen y seleccionan materiales de sus carreras universitarias y crean un cuerpo de conocimientos que representa sus logros a lo largo del proceso de formación.

Para optimizar el uso de eportfolios, el software que los gestione debe favorecer la integración de los componentes que lo integran a la vez que permita determinar el nivel de conocimiento del estudiante a través de su eportfolio. Como parte de sus componentes, a los que se denomina artefactos, se encuentran los trabajos realizados, las evaluaciones y los resultados o logros correspondientes. Estos artefactos representan medios para facilitar la personalización de la enseñanza y la continuidad educativa entre los programas dentro de una institución. Los cuales se conforman en evidencias que se pueden compartir e integrar entre instituciones y organizaciones a lo largo de su desempeño académico y laboral.

En este artículo se presenta el desarrollo de un software para la gestión de eportfolios que permite administrar los trabajos realizados por los alumnos en el cursado de una materia de manera de posibilitar al docente el seguimiento de su recorrido de aprendizaje y la personalización de la enseñanza.

Para la elaboración del escrito se empleó una metodología de investigación teórica/documental y descriptiva. Una investigación teórico/documental “es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códices, constituciones, reglamentaciones, etc.)” [3]. La investigación descriptiva es la que busca desarrollar una imagen o fiel representación (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se presenta la conceptualización de los contenidos principales, en la sección III se detalla el proceso de desarrollo del software, en la sección IV se muestran los resultados obtenidos y en la sección V se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2 CONCEPTUALIZACIÓN

2.1 Enseñanza y evaluación

En función de lo expuesto anteriormente, ante este escenario se sugiere rediseñar la forma en que se adquiere y distribuye el conocimiento académico. La enseñanza, desde su aspecto más primitivo, se desarrollaba sobre el hecho de que un docente imparte las clases y el alumno adquiere los conocimientos a partir de lo que interpreta y recibe durante el cursado. Gracias al uso masivo de internet y las TIC, los discentes tienen acceso a información fuera del ámbito académico y con ello se abre un abanico de posibilidades que aumenta la incertidumbre sobre qué es lo que realmente aprenden los alumnos. Frente a este problema, cabe preguntarse ¿Cómo las TIC pueden facilitar la implementación de nuevos modos de enseñanza?

Es por ello, que la personalización de la enseñanza como paradigma de enseñanza y evaluación cobra importancia. El objetivo del mismo se centra en adaptar el aprendizaje a los rasgos de cada individuo, y no a las características que se le presuponen como miembro de un grupo [4]. En este sentido, el docente debe darle al alumno la posibilidad de ser partícipe activo de su propio aprendizaje, ya que, desde la perspectiva pedagógica, si se define que el aprendizaje es una construcción del conocimiento en lugar de transmisión, entonces el aprendizaje se convierte en una actividad que principalmente proporciona significados y en la que el estudiante busca construir una representación mental coherente a partir del material presentado [5].

La enseñanza personalizada no es una concepción pedagógica novedosa y autores de distintas nacionalidades han aportado sus teorías en torno a ella. Entre las aportaciones argentinas, se destacan las de Vázquez, Nuttin y Daura citadas en [6]. Por su parte, Vázquez integra el concepto de alumno como persona y resalta la importancia que tiene el proceso de integración de la personalidad en el sujeto donde lo primero que se requiere es la aceptación íntima de sí mismo, del conjunto de las capacidades propias, así como las carencias y limitaciones; a partir de ello el sujeto puede iniciar un camino de desarrollo normal. Para Nuttin se desarrolla construyendo "la socialización de la personalidad", en la que el estudiante proyecta sus posibilidades en la sociedad y en la cultura donde se integra. Finalmente, Daura basa su pedagogía en la necesidad de que los docentes universitarios utilicen estrategias didácticas personalizadas y que los estudiantes tienen que desarrollar un aprendizaje autorregulado.

La personalización de la enseñanza exige que el profesor conozca lo que un estudiante está aprendiendo, los errores que está cometiendo y que actúe de inmediato. Además, es importante que conozca su formación previa y sus circunstancias sociales, que ofrezca posibles recorridos educativos acordes a su estilo de aprendizaje e incluso que conozca las emociones con las que cada estudiante aborda el aprendizaje. Sin embargo, el problema se encuentra en la viabilidad de esta idea: a medida que el número de alumnos crece, la tarea del profesor de organizar el aprendizaje se complejiza considerablemente. Entonces, surge la necesidad de algún sistema de gestión de la información y la comunicación que soporte este paradigma.

Concretamente, se implementa la anterior idea de la personalización, en base a los niveles de asimilación. Los niveles de asimilación de un contenido son diferentes estados cualitativos del aprendizaje. A modo orientativo, se pueden definir los siguientes niveles: (i) Primer nivel de asimilación: conocer, dar sentido, saber que algo existe. Los alumnos retienen el conocimiento y pueden reproducirlo, pero no saben razonarlo, ni aplicarlo con propiedad. (ii) Segundo nivel de asimilación: comprensión cognitiva, entender a fondo, profundizar en el manejo de la información. En este nivel existe un verdadero aprendizaje, aunque es un saber improductivo, porque el alumno presenta dificultades para aplicarlo en la solución de problemas y situaciones de la vida real. (iii) Tercer nivel de asimilación: aprendizaje profundo, manejo y aplicación de la información, comprensión autónoma. Los alumnos comprenden perfectamente los conocimientos que les han sido expuestos, saben usarlos con seguridad y aplicarlos a la solución de problemas y situaciones de la vida real [7].

Para el presente trabajo, se propone como estrategia de solución a la problemática definida, tomando como base el modelo idealizado de la personalización de la enseñanza descripto anteriormente, el diseño de un sistema que permita construir caminos de aprendizajes personalizados. El objetivo principal de este sistema es el de adecuar el aprendizaje de cada alumno según el nivel de asimilación que posea sobre cada contenido específico del curso.

Desde un punto de vista más pragmático, el sistema debe permitirle al docente confeccionar el diseño instruccional del curso mediante la creación de múltiples caminos de aprendizaje que contemple todas las posibilidades que puedan presentarse dependiendo del nivel de conocimiento alcanzado por los alumnos. Además, deberán siempre cumplir con los objetivos generales y específicos definidos para el curso. Por otro lado, los alumnos deberán realizar las actividades propuestas por el profesor, previamente cargadas en el sistema.

Por lo expuesto, es esperable que dichas actividades en la realidad sean diferentes para cada alumno, porque cada uno de ellos alcanzará distintos niveles de asimilación del conocimiento con respecto a cada contenido del curso. La manera de gestionar esta situación, es a través de actividades de evaluación propuestas por el docente. Esto significa que, el docente -de acuerdo con su experiencia- configure en el sistema cómo deberá asignarse el nivel de asimilación en que se encuentra el alumno a partir de los resultados obtenidos en las evaluaciones. Y, por lo tanto, dicho nivel establecerá consecuentemente qué materiales y actividades habrá que brindarle para que continúe con su aprendizaje.

A modo ilustrativo, para entender la dinámica subyacente del sistema, frente a la suposición que se tiene una cierta evaluación de contenidos, el alumno realiza una evaluación online y, una vez que el profesor la corrige, le asigna una calificación. Posteriormente el sistema automáticamente, en función de calificación y de la configuración previa realizada por el docente, le asignará el nivel de asimilación correspondiente para ese contenido. Por ejemplo, aquellos que obtengan una nota superior al 85%, continuarán su aprendizaje con materiales de un nivel de dificultad superior, quienes estén entre el 60% y el 85%, continuarán con actividades del mismo nivel, y quienes no superen la marca mínima continuarán por un camino con actividades de menor dificultad para que recuperen el nivel medio que se requiere para esta instancia.

En resumen, este sistema tiene como característica principal la adaptación a la formación de cada estudiante de acuerdo al nivel de aprendizaje que hayan alcanzado en el momento. Así, la toma de decisiones sobre qué camino debe tomar un alumno será en base al aprendizaje que se conoce sobre el mismo. Por lo que, de esta manera, permite llevar adelante un curso con personas de cualquier diversidad cultural y técnica. La ventaja que ofrece este aspecto, es que disminuye la deserción y aumenta el compromiso de los involucrados para con el curso, tanto para los que aprenden más rápido como para los que necesitan un tiempo más para asimilar los conocimientos.

2.2 Eportfolios

Con el objeto de materializar la propuesta descripta en la sección anterior, dentro de la disponibilidad de herramientas tecnológicas presentes, se encuentran los portfolios. Un eportfolio es un sistema de evaluación que consiste en una selección de evidencias que permiten determinar el proceso de aprendizaje seguido por un estudiante en un tiempo determinado dado un objetivo concreto [8]. El fin de este tipo de instrumentos es el de evaluar a un alumno según sea su progreso de aprendizaje, y no solo por los resultados obtenidos en una instancia parcial o total de evaluación.

Debido a la expansión que han tenido últimamente, existen varios tipos de eportfolios, de los cuales se pueden distinguir algunos de ellos [9]: a) Eportfolio de trabajo: permite coleccionar tareas planificadas o terminadas siguiendo objetivos de aprendizaje para luego diagnosticar las necesidades de los estudiantes, observando tanto sus debilidades como sus fortalezas; b) Eportfolio de presentación: consiste en una selección de los mejores trabajos realizados por un alumno; c) Eportfolio de evaluación: permiten documentar el proceso de aprendizaje de un alumno a lo largo de un curso y evaluarlo según los criterios de evaluación específicos.

A pesar de que existe una amplia variedad de eportfolios, algunos con mayor o menor complejidad técnica, orientados al procesamiento o a la presentación de experiencias de aprendizaje medibles y cuantificables, todos comparten la cualidad de representar dichas experiencias como artefactos. Un artefacto es el elemento básico y arbitrario de cualquier eportfolio. En este caso, dado que se trata de un eportfolio de evaluaciones, un artefacto es un recurso educacional capaz de evidenciar el aprendizaje de un alumno. A su vez, los mentados artefactos pueden ser calificables, de realización opcional u obligatoria o bien cualquier tipo de actividad o evaluación definida por un docente.

De acuerdo con lo expresado hasta aquí, los eportfolios de evaluaciones, son herramientas que permiten documentar

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

el recorrido de aprendizaje transitado por el alumno para construir su conocimiento. Posee dos características fundamentales que lo distinguen: la evaluación y la reflexión. Se necesita, por un lado, de un sistema de evaluación que asista al docente a evaluar el aprendizaje de cada estudiante y, por el otro, de un espacio de reflexión para que el alumnado, junto con los resultados obtenidos en las evaluaciones, desarrolle una autocrítica de su aprendizaje. Por otro lado, un e-portfolio de evaluaciones induce a desarrollar actividades de auto-organización. Esto significa que es el estudiante es el que debe gestionar los componentes de su portfolio. Al mismo tiempo, el papel del docente para este tipo de actividad es fundamental, ya que es el que debe guiar y motivar a los alumnos durante el cursado.

En cuanto al uso de eportfolios en el proceso de aprendizaje Encalada, Santiesteban, Portela, Cruz y Arboleda [10] implementan un eportfolio en la plataforma Mahara que facilita el trabajo colaborativo de estudiantes en carreras de ciencias de la educación en sus prácticas preprofesionales. Weber y Myrick [11] analizan las experiencias de estudiantes universitarios en una investigación de un programa de verano y el desarrollo de eportfolios a través de páginas web gratuitas como Wix y WordPress. Chittum [12] sugiere, en un curso introductorio de educación de psicología para docente, el uso de aprendizaje profundo y la motivación por medio de la implementación de eportfolios basados en la plataforma web Digication. Collins y O'Brien [13] utiliza el eportfolio implementado en la plataforma Pathbrite para un programa de una licenciatura de la Escuela de Enfermería, en el Politécnico de Otago. Por su parte, Alexiou y Paraskeva [14] mencionan que el uso de eportfolios implica llevar a cabo procesos de reflexión, planificación, síntesis, presentación, discusión y comentarios, que son parte del aprendizaje autorregulado.

2.3 Caminos de aprendizaje

Los caminos de aprendizaje, tal como se ha mencionado anteriormente, son un mecanismo que permite la personalización de la enseñanza. Tal como se ha mencionado, a través del diseño de los caminos de aprendizaje y de su configuración con los niveles de asimilación, es que se pretende destacar este sistema de eportfolios por sobre otros proyectos de similares características.

Los niveles de asimilación son diferentes estados cualitativos del aprendizaje de un contenido. Para la primera versión de la taxonomía de Bloom [15], esto significa que cuanto más alto sea el nivel, mayor es el grado de conocimiento, de experiencia, del manejo de habilidades y de desarrollo de actitudes y valores por parte del alumno. Es decir, que es necesario tener un adecuado desempeño en un nivel para poder avanzar al siguiente. En la revisión de este trabajo se descubrió que dicha condición no siempre es así, ya que es posible que el alumno sepa aplicar un concepto sin conocer su significado. Esta discusión está fuera del alcance del presente trabajo, pero es importante notar que la evidencia empírica puede diferir conceptualmente, por lo que la tecnología en este sentido debe ser flexible. En definitiva, sea cual fuese la definición de niveles de asimilación que se tome, el sistema debe admitir la cantidad de niveles y las condiciones que se necesiten implementar según la conceptualización que se utilice.

Por medio del uso de los eportfolios, se puede despertar el interés de los alumnos por la auto-regulación de su propio aprendizaje. A medida que avanzan en el cursado, es importante saber qué recursos educativos agregar para que los alumnos prosigan con su aprendizaje de acuerdo a sus posibilidades. Esto es, que quienes presenten mayores dificultades para aprender determinados temas, se les propicien materiales con mayor accesibilidad, mientras que alumnos con mayor capacidad de razonamiento puedan avanzar realizando actividades más difíciles para que se mantengan interesados en el cursado de la materia.

Un camino de aprendizaje, según lo consultado en la bibliografía existente [15], es construido por cada alumno a partir de un conjunto de objetivos de aprendizaje definidos previamente, los cuales intentan definir lo que deberían aprender los alumnos. También, estos objetivos de aprendizaje definen un conjunto de competencias que deben adquirir los alumnos tras finalizar el proceso de aprendizaje. En este sentido, declara que el diseño de los objetivos de aprendizaje es elemental. A partir de ellos, se define el modelo pedagógico y la herramienta web que se quiera utilizar, en este caso, los eportfolios. Para este sistema, se toma de la anterior definición, pero se agregan algunas cosas más.

En primer lugar, se incluyen los niveles de asimilación. Un nivel de asimilación es lo que determina el recorrido de un camino u otro (tomado por un alumno). Por lo tanto, siguiendo la teoría de grafos, existen dos conceptos más a detallar: los nodos y las aristas. Cada nodo representa un conjunto de contenidos a ser resueltos. Cada arista representa un camino posible a ser tomado. En consecuencia, los caminos de aprendizaje toman la forma de un árbol, es decir, un grafo sin ciclos y conexo (sin nodos aislados). Además, se presenta como un grafo ponderado, ya que entre dos nodos puede haber más de una arista y, con lo cual, cada arista posee un número o valor. Dicho valor se asocia a algún nivel de asimilación.

Ahora bien, un alumno al realizar las actividades propuestas por la cátedra, lo hará de manera auto regulada y a través de la creación de su propio eportfolio tal como se ha mencionado. Entonces, en algún momento se encontrará que ha finalizado con todas las actividades propuestas (y pertenecientes a un nodo en particular). Por lo que en ese momento debe ser evaluado por la cátedra del curso. Por consiguiente, cuando se lo evalúa, se hace para saber qué nivel de asimilación ha obtenido con respecto a los contenidos evaluados. De acuerdo al nivel que obtenga, tomará un camino u otro, y esto estará indicado por las conexiones (aristas) que presente un nodo con respecto a otros. El resultado de la evaluación, determinará por cuál otro nodo debe continuar el aprendizaje el alumno. En ese momento, se considera que un alumno obtiene un nivel de asimilación con respecto a la evaluación realizada. Por lo tanto, dependiendo del resultado de la evaluación que se realice sobre el alumno con respecto a los contenidos brindados en un nodo en particular, es que obtendrá un nivel de asimilación determinado.
El método de evaluación de un nodo -en principio- debe ser manual, es decir que el sistema no puede automatizar la tarea de evaluación ni de generación de caminos de aprendizaje de manera autónoma con los recursos tecnológicos que el sistema predispone. Esta mayor jerarquía de características es posible y están bajo desarrollo de investigación por parte del grupo de investigación que requiere del uso del presente producto de software.

Otro de los aspectos a tener en cuenta, es que de cada actividad que un alumno resuelva, los indicadores de cada actividad disponible serán puntajes tanto cualitativos como cuantitativos. Estos indicadores, según se explica en [16], son indicadores débiles. Es decir, no son buenas métricas para la evaluación de un alumno, por lo que en este sentido se limita solo al desarrollo de estas características, pero teniendo en cuenta que posiblemente en un futuro se necesite expandir generando nuevos indicadores.

3 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Si bien se encuentran disponibles diferentes softwares para la gestión de eportfolios [17] [18] [19], no se han identificado alguno que implemente el uso de caminos de aprendizaje para la personalización de le enseñanza. Seguidamente se detalla el proceso de desarrollo de un software para la gestión de eportfolios que permite la diferenciación del recorrido de un alumno para favorecer el aprendizaje personalizado.
El ciclo de vida de desarrollo del software elegido es cascada. La razón de la elección se basa en que es la metodología que mejor se adapta al proyecto puesto que es poco probable que los requerimientos cambien radicalmente durante el desarrollo del software [20] [21].

3.1 Ingeniería de requerimientos

Como primer paso del ciclo de vida en cascada, se lleva adelante la etapa de análisis y recolección de los requerimientos de sistema, técnica propia de la ingeniería en requerimientos. Los requerimientos encontrados pueden ser distinguidos en dos grupos: funcionales y no funcionales.

Para la recolección de los requerimientos se llevaró adelante una etapa de anñalisis bibliográfico [3] luego de la cual se procedió a la formulación de los conceptos mencionados en la sección anterior. También se realizaron reuniones con expertos: docentes de carreras universitarias, expertos en educación, informáticos, integrantes de gestión académica, entre otros interesados.

A continuación, se enumeran los requerimientos no funcionales:

- Usabilidad: el sistema debe poseer una interfaz gráfica simple, intuitiva y fácil de aprender.
- Recuperabilidad: el sistema debe ser capaz de recuperarse automáticamente ante caídas del servidor.
- Rendimiento: el sistema no debe superar los 2 segundos para

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

renderizar cualquier pantalla.
- Seguridad: el sistema debe asegurar los datos personales de los usuarios y protegerse frente a accesos no autorizados.
- Robustez: el sistema debe ser capaz de detectar errores en las entradas sistema e informarlos apropiadamente.
- Interoperabilidad: el sistema debe permitir la integración a un entorno virtual (Moodle) para adquirir los recursos que este último le provee.
- Portabilidad: el sistema debe funcionar para cualquiera de los navegadores webs disponibles.
- Escalabilidad: el sistema debe permitir la agregación de nuevas funciones con un esfuerzo mínimo y que no implique cambios generales en la arquitectura de software.

Por otro lado, con respecto a los requerimientos funcionales, una de las técnicas utilizadas para su análisis fue la de casos de uso. En primer lugar, lo que se hizo fue recolección de requerimientos funcionales clasificados según el tipo de usuario que interaccionaba con el sistema. Es por ello que, a continuación, en la Fig. 1, se muestra una imagen de la jerarquía de usuarios identificados para el sistema. Este paso fue muy importante en las etapas de diseño y desarrollo del sistema, ya que muchas otras definiciones y decisiones se tomaron teniendo en cuenta esta primera definición.
A modo de resumir la información presente en dicha figura, se puede decir que Usuario General es un usuario abstracto del sistema; Invitado es todo aquel usuario que aún no posee acceso concedido; Administrador es un usuario capaz de administrar y controlar el funcionamiento del sistema, como también habilitar las funciones especiales para los otros usuarios del sistema que así lo requieran; Miembro es un usuario habilitado en el sistema, pero que no posee ninguna función extra habilitada para interactuar en el sistema (ya sea profesor o como alumno), solamente puede realizar operaciones básicas dentro del mismo;

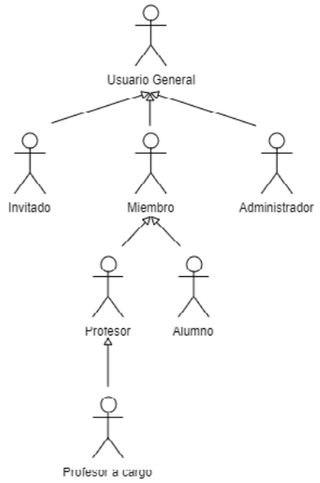


Fig. 1. Diagrama de jerarquía de actores del sistema.

Profesor es un usuario que posee funcionalidades de gestión de un curso en particular; Alumno es un usuario que posee habilidades de gestión de eportfolios y otros recursos más para la gestión de su aprendizaje; Profesor a cargo refiere a un profesor de un curso que es designado como el máximo responsable del mismo.

Continuando con la descripción de los requerimientos, lo primero que se hizo fue un diagrama general de casos de uso. Estos casos de uso lo que intentan describir son funcionalidades globales que tiene cada uno de los usuarios del sistema. A partir de dichos casos de uso, se desplegaron otros que dan información más específica de las interacciones entre el sistema y el usuario en cuestión.

Luego, una vez definida las funcionalidades generales para cada tipo de usuario del sistema, la siguiente estrategia tomada fue la de definición de los módulos del sistema. Los módulos del sistema son un conjunto de componentes que, al integrarlos, comprenden al sistema completo y conexo con su definición de requerimientos. Es por ello, que los módulos quedaron inicialmente definidos de la siguiente manera:

- Módulo de sesión.
- Módulo de administración.
- Módulo principal.
- Módulo de planificación.
- Módulo de evaluación.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Cada módulo puede tener presente a uno o varios actores interactuando en el mismo. A modo de ejemplo, en la Fig. 2 se puede observar el diagrama de casos de uso referido al módulo de evaluación del sistema, en el que participan tanto el usuario Alumno como el Profesor. La estrategia de la definición por módulos cobra sentido en estos casos, ya que las funcionalidades a implementar dependen tanto de la interacción de un usuario como del otro. Si se hubiera optado por la estrategia de definición de componentes únicamente según el tipo de usuario, hubiera generado complicaciones innecesarias al momento de la implementación de los mismos.

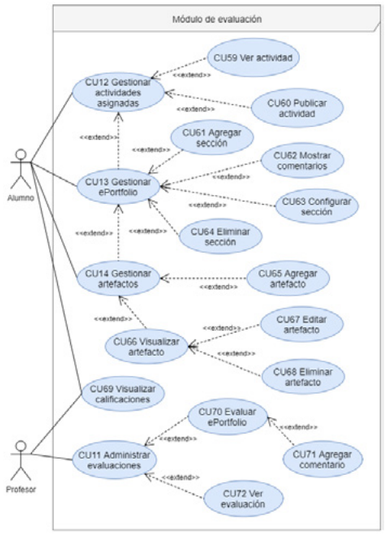


Fig. 2. Diagrama de casos de uso, módulo de evaluación.

3.2 Diseño del software

El siguiente paso del ciclo de vida en cascada es el diseño del software. Como primer punto de partida, lo que se hizo fue realizar el diseño arquitectónico para definir el tipo de interacción entre los distintos componentes del sistema. En este caso, como se trata de un sistema web, se utiliza la relación cliente-servidor, la cual se realiza a través de servicios de Internet. En este sentido, toda la lógica de datos y procesamiento de solicitudes se hará en el servidor y se llamará backend, mientras que todo lo que se visualice como resultado final de un proceso de operaciones se hará en el cliente y se llamará frontend.

Luego, se definió la arquitectura de software del sistema web, que se puede observar en la Fig. 3. De dicha figura, se desprende que la arquitectura sigue el patrón de diseño Modelo Vista Controlador (MVC, según su acrónimo), pero que además presenta las siguientes características particulares:

- El controlador es el componente encargado de recibir y procesar las peticiones externas. Como resultado de su operación, actualiza la vista que luego recibirá el usuario en respuesta al evento de entrada solicitado.
- La vista, primero es generada en el servidor con los datos obtenidos y procesados por el controlador. Luego, es enviada hacia el usuario para que pueda ser interpretada y renderizada en la pantalla del navegador web que se utilice.
- El modelo, es el encargado de representar la estructura de datos almacenados en el sistema. Para que el modelo obtenga los datos físicamente, debe realizar una solicitud a la capa de almacenamiento.
- La capa de almacenamiento es una sección agregada al modelo original MVC, y es la encargada de acceder a los datos crudos alojados en la base de datos. La función principal de esta capa, es abstraer las solicitudes de datos de la interacción real con la base de datos, puesto que realiza una traducción de las solicitudes entrantes, las cuales están especificadas en lenguaje natural, a un lenguaje que pueda entender la base de datos. Además, esto también independiza al sistema con el tipo de base de datos que se elija.
- Por último, la capa de servicios es la responsable de la manipulación de datos complejos y de implementar la lógica específica del dominio. Es decir, cuando un controlador solicita un recurso o realiza una petición, entonces se comunica con un servicio determinado el cuál posee la implementación de la lógica de datos. Esto permite, principalmente, ahorrar tiempo de trabajo, reutilizar código y abstraer conceptos, como así también una mayor mantenibilidad y escalabilidad del código fuente.

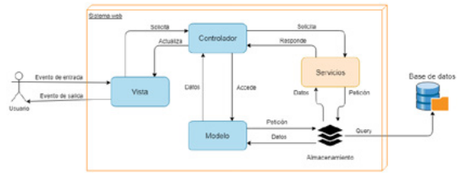


Fig. 3. Arquitectura de software del sistema web.

También se realizó el modelado estático del sistema representado en un diagrama de clases. Para la confección del mismo, se utilizaron las técnicas de modelado y patrones de diseño orientado a objetos [22], que se describen bajo el Lenguaje Unificado de Modelado (UML).

Otro aspecto que se consideró durante esta etapa es el diseño de la interfaz de usuario. Para ello, lo que se hizo fue un proceso de prototipado que consistió en la realización de mockups y de depuración de los mismos. En la Fig. 4 se puede observar un ejemplo de un mockup, particularmente referido a la pantalla principal de gestión para el profesor de un curso determinado.

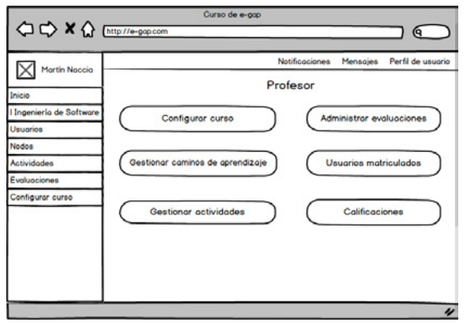


Fig. 4. Mockup de la pantalla principal de gestión para el profesor.

Como parte de la bibliografía consultada, se tuvieron en cuenta los principios de diseño de interfaces de usuario propuestos por Sommerville [23], los cuales son: familiaridad del usuario, uniformidad, mínima sorpresa, recuperabilidad, guía de usuario y diversidad de usuarios.

Además de los principios enunciados se tuvieron en cuenta algunas características más:

- Balance de las características visuales: identificación de las necesidades del usuario en cuanto al tiempo de uso, al nivel de asimilación sobre los elementos visuales utilizados.
- Equilibrio entre la presentación de la información y la interacción del usuario.
- Definición del estilo de presentación de la información: textual o gráfica; una imagen ocupa más espacio, pero se lee rápidamente, mientras que el texto es más lento para ser interpretado, aunque ocupa considerablemente menor espacio.
- Distinción entre información dinámica y estática, utilizando diferentes estilos de presentación, ya sea textual, gráfico o una combinación entre ambos.
- Gestión del color: limitación de la cantidad, uniformidad en cuanto al uso, interacción a base de cambios de color, entre otros.

Como último detalle a destacar sobre esta sección, se tuvo especial consideración en el uso del color a lo largo del sistema. En la Fig. 5, como ejemplo, se puede observar un recuadro con las diferentes cualidades que puede poseer una actividad asignada para un alumno: disponible, presentada, incompleta, completa y expirada, se refieren al estado de la actividad; fácil, media y difícil, se refieren a la dificultad que representa la resolución de dicha actividad; Sí y No, informan si la actividad es obligatoria o no de resolver.

Fig. 5. Uso del color sobre las características de una actividad.

3.3 Desarrollo del software

Para esta sección, se hará mención de las tecnologías aplicadas para el desarrollo del sistema web de eportfolios. En lo que se refiere al backend de la aplicación, se utilizó PHP como lenguaje de programación del lado del servidor. El framework utilizado para el desarrollo fue Laravel, puesto que es uno de los frameworks más populares de PHP, de acuerdo con datos relevados por Google Trends [24]. Esto lo hace muy efectivo debido a la abundante documentación oficial que presenta, a las numerosas librerías de acceso a datos, ruteo y seguridad que ofrece de base, y por sobre todo al gran aporte de la comunidad respecto a las dudas, problemas, anomalías y funcionalidades extras que van surgiendo a lo largo del desarrollo del código fuente.

En lo que respecta a la base de datos, se eligió a MariaDB como base de datos relacional. MariaDB es una versión más eficiente y reciente que su predecesora MySQL. Además, la principal diferencia entre estas dos radica en que la elegida posee una licencia gratuita de uso mientras que la segunda, si bien también lo es, pertenece a un grupo corporativo por lo que corre el riesgo de pasar a tener licencia privativa.

Por el lado del frontend, se manejaron las tecnologías tradicionales para sistemas basados en navegadores webs, los cuales son: HTML, CSS y JS. Además, para este proyecto se utilizaron librerías como jQuery para el manejo más eficiente de los recursos provistos por JS y para mejorar la integración con llamadas tipo AJAX. Adicionalmente, para lograr una mejor experiencia de usuario y calidad gráfica de la aplicación, se utilizó una plantilla gratuita basada en Bootstrap 4 como base para el desarrollo de los componentes gráficos, sumado a algunas mejoras particulares que requería el proyecto.

En referencia con lo anterior, algunas otras librerías de JS también fueron integradas al sistema web para tener mejor manejo de la información visual. Por ejemplo, en páginas donde se requería graficar y administrar una tabla de datos, se utilizó la librería DataTables . También, en lugares donde se requería graficar grafos con nodos y aristas, se utilizó la librería SigmaJs . Estas herramientas, significaron un importante ahorro de esfuerzo para el desarrollo de los requerimientos especificados para el proyecto.

3.4 Pruebas del sistema

Para esta última etapa del proyecto, lo que se realizó para llevar a cabo el proceso de verificación y validación del software, fue implementar la técnica de derivación de casos de prueba a partir de casos de uso. Para este caso, se utilizó la metodología propuesta por Heumann [25]. La razón por la cual se utilizó este método, es porque durante la etapa de elicitación de requerimientos se hizo hincapié en el desarrollo de los casos de uso del sistema, por lo que ello resultó en una oportunidad inmejorable para utilizar esta técnica. En la Fig. 6 se puede observar un ejemplo del resultado final de aplicación de la técnica, la cual consiste en la obtención de una matriz de casos de prueba a partir de un caso de uso en particular (CU01 Iniciar sesión). El paso final de la técnica, es ejecutar los diferentes casos de prueba provistos en la matriz y compararlos con los resultados esperados.

ID	E	Nombre CP	Datos de entrada	Resultado esperado
CP1	E1	Registro exitoso	Dni: 14560789. Contraseña: 123123. Datos válidos y existentes en el sistema.	El usuario inicia sesión correctamente en el sistema. El sistema lo redirige hacia la página de inicio, con las funciones disponibles de acuerdo a su rol de usuario.
CP2	E2	Registro cancelado	Dni: N/A. Contraseña: N/A. Click en 'Recuperar contraseña'.	El sistema cierra la pantalla de inicio de sesión y carga la vista necesaria para recuperar una contraseña.
CP3	E3	Registro sin datos obligatorios	Dni: [ ]. Contraseña: [ ] Botón 'Ingresar'	El sistema muestra un mensaje de error indicando que los campos dni y contraseña son obligatorios. Retorna al paso 3 del flujo normal.
CP4	E3	Usuario inexistente	Dni: 14560789. Contraseña: 321321 Botón 'Ingresar'. La contraseña no es válida pero el usuario existe.	El sistema muestra un mensaje de error indicando que el dni y/o la contraseña son incorrectos. Retorna al paso 3 del flujo normal.

Fig. 6. Matriz de casos de prueba para el caso de uso CU01 Iniciar sesión.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

En esta última sección, se hace una revisión general de las características del producto final obtenido. El producto de software logrado quedó conformado por cinco módulos bien diferenciados, los cuales se detallan a continuación:

1. Módulo de sesión: gestiona los accesos al sistema web, por lo que sus funciones son:
   - Autenticar el inicio y cierre de sesión de parte de los usuarios del sistema.
   - Brindar seguridad al resto de los módulos, verificando que los accesos a los mismos sean legítimos de acuerdo al rol de usuario que solicita el recurso web.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

- Monitorizar las sesiones abiertas y administrar el historial de sesiones de cada usuario para poder controlar la actividad.

2. Módulo de administración: permite llevar a cabo las funciones de administración, a las que solo posee acceso todo usuario con privilegios de administrador. Inicialmente, existe un solo administrador del sistema. Las tareas que puede realizar son:

   - Gestión de usuarios: sólo un administrador puede dar de alta un usuario (miembro) en el sistema. Permite, además, crear administradores adicionales.
   - Gestión de períodos lectivos: permite la diferenciación de ciclos educativos, de manera que se pueda identificar a un curso con respecto al año académico en el cual transita.
   - Gestión de cursos: un curso debe pertenecer a un período lectivo y debe ser asignado un profesor a cargo del mismo, es el administrador el encargado de posibilitar la existencia de los cursos en el sistema.

3. Módulo de comunicación: centraliza las funcionalidades secundarias ligadas a la gestión de las comunicaciones:

   - Gestión del perfil de usuario: cada usuario se identifica a sí mismo con datos significativos que permiten reconocerlo en una institución educativa o en un entorno virtual (Moodle, por ejemplo).
   - Gestión de notificaciones: permite comunicar al usuario de acciones realizadas por otros usuarios que tengan relación con el primero.
   - Gestión de mensajería personal: permite establecer conversaciones personales con otros usuarios del sistema.

4. Módulo de planificación: agrupa las tareas relacionadas con la configuración y gestión de un curso determinado. Para la planificación de un curso, los profesores son encargados de realizar:

   - Gestión de niveles de asimilación (profesor a cargo).
   - Gestión de unidades temáticas (profesor a cargo).
   - Modificación de variables del curso (profesor a cargo).
   - Gestión de caminos de aprendizaje.
   - Gestión de actividades y recursos educativos.

5. Módulo de evaluación: dentro de esta sección del sistema, se llevan a cabo las funcionalidades relacionadas con la gestión del aprendizaje de un alumno y la evaluación de los contenidos que éste publica:

   - Gestión de evaluaciones, a cargo de la cátedra asignada al curso.
   - Gestión de ePortfolio y artefactos, por parte del alumno.

A continuación, se presenta un caso de estudio particular de uso del sistema.

4.1 Recursos iniciales: LMS

Para comenzar, se cuenta con los recursos iniciales de una plataforma LMS, es decir, con una base de materiales para la enseñanza empleados en el dictado de una materia. Para este caso particular se toma la asignatura de Ingeniería de Software II, que dicta en una carrera de Ingeniería Informática. Algunos de estos recursos son guías de actividades, presentaciones de clases de teoría, distintos tipos de foros de discusión, trabajos prácticos, autoevaluaciones, evaluaciones, cuestionarios y otros.

El sistema de eportfolios requiere una configuración preliminar antes de comenzar a funcionar apropiadamente. Por un lado, se necesitan cargar las unidades temáticas del programa del curso. Para el curso de Ingeniería de Software II, sus unidades principales son: Ingeniería de Requerimientos, Diseño del Software, Verificación y validación del Software y Mantenimiento del Software, tal como se puede observar en la Fig. 7. Ahora bien, como se precisan evaluar contenidos, se añade una unidad más llamada TPI (Trabajo Final Integrador). La cantidad de unidades no necesariamente debe coincidir con el programa original, puesto que el término unidad para el sistema se refiere a un elemento estructural que permite evaluar un cierto conjunto de contenidos y, los contenidos a evaluar pueden no coincidir necesariamente con los que se dictan. Este es un caso en el que se cumple dicha condición, ya que en el cursado de la materia no hay un espacio dedicado al TPI, más bien es una actividad integradora que deben realizar los alumnos para alcanzar mínimamente la condición de regularidad. Además, dentro de cada una de esas unidades están presentes otras subunidades. Por ejemplo, para la Unidad 1: Ingeniería de Requerimientos, las subsiguientes unidades son: Historias de Usuarios, Casos de Uso y Diagramas de Actividad.

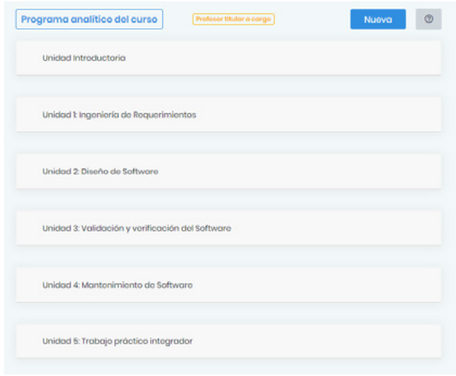


Fig. 7. Unidades configuradas en el sistema, para el curso de Ingeniería de Software II.

Por otro lado, en el sistema deben cargarse los niveles de asimilación. La cantidad de niveles es a elección del docente. En este caso se implementan 4 niveles (orden ascendente): 1. Nivel de contenido; 2. Nivel de resolución de problemas; 3. Nivel epistémico; 4. Nivel de investigación. Por lo tanto, conceptualmente para el sistema representan un método para identificar y predeterminar cuál es el siguiente paso en el camino de aprendizaje por el que el alumno debe tomar, para seguir aprendiendo acorde a sus posibilidades.

Todas estas tareas deben ser realizadas por el profesor a cargo del curso, por lo tanto, solo un profesor tiene acceso a la configuración de un curso.

4.2 Gestionar caminos de aprendizaje: nodo inicial

Una vez configurado el curso, se prosigue a gestionar los caminos de aprendizaje. Cada curso cuando es dado de alta por un administrador, se le genera un nodo etiquetado como 'Inicial', el cual no puede ser borrado ni modificado. Este nodo es el nodo por el que todos los alumnos comenzarán su recorrido cuando se matriculen en el curso. De este nodo, se definirán conexiones hacia otros nodos, definiendo diferentes recorridos. Creando un nuevo nodo, que evalúe el tema de Casos de Uso, por ejemplo, se obtendrá un resultado como el que aparece en la Fig. 8.

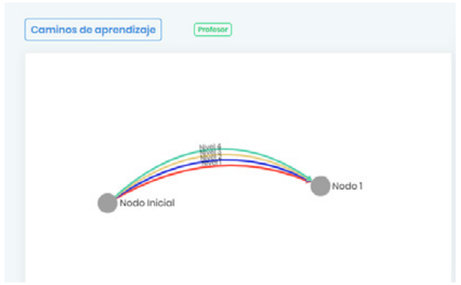


Fig. 8. Caminos de aprendizaje, nodo inicial y nodo 1.

Puede notarse que, se ha configurado el nodo inicial para que todos los niveles de asimilación se conecten con el nodo 1, y además se ha cargado una actividad de introducción al curso, que contiene a los archivos de introducción y presentación de la asignatura. Puede notarse que cada conexión, se diferencia gráficamente de otra ya que cada nivel de asimilación utiliza un color en particular para ser identificado fácilmente.

Hasta aquí, ninguno de los alumnos que completen este nodo inicial tomará un camino diferente por el momento, ya que todos los niveles apuntan a un mismo nodo, al nodo 1: 'Casos de Uso - Normal'.

Continuando con el proceso de configuración de caminos de aprendizaje, en la Fig.9 se muestra un listado de actividades asignadas al nodo 1, ya cargadas por un profesor. Se puede notar que contiene dos actividades: 'Ejercicios de la guía práctica N2' y 'Evaluación de la guía práctica N2'. Las mismas poseen cargado el mismo archivo, llamado '2019-U1-PracticaCU', que contiene la guía práctica de casos de uso. En la primera actividad, se indica que se realicen los ejercicios del 1 al 7 de la guía, mientras que en la segunda se indica que se resuelvan los dos ejercicios complementarios de evaluación, también presentes al final de la guía práctica. Además, se puede observar del listado que cada actividad posee algunas características particulares:

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

- El nombre de la actividad.
- El nombre de la unidad a la que pertenece, que evalúa.
- Si es obligatoria o no de realizarse.
- La fecha de finalización en formato 'dd/mm/yy' seguido de la cantidad de días, horas o minutos (según sea necesario) en que se encontrará disponible para poder ser realizada.
- El nivel de dificultad especificado. Cada nivel tiene asignado un color diferente.
- La cantidad de archivos asociados a la actividad.
- Las acciones disponibles (de izquierda a derecha): ver actividad en detalle (gris), editar actividad (azul) o desvincular actividad con el nodo (rojo).

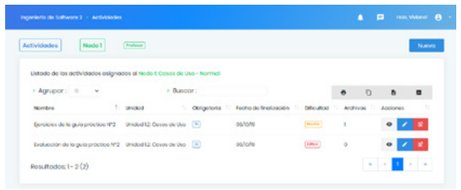


Fig. 9. Listado de actividades asignadas al nodo 1.

4.3 Asociaciones entre nodos de una unidad

Luego, para la configuración del nodo 1, se muestra cómo se generan las conexiones entre los nodos. Para esto, se deben conocer, previamente, bajo qué nivel de asimilación se realizará la conexión. En la Fig. 10, se puede observar la creación de una nueva conexión (cuando se hace clic en el botón del recuadro en rojo). El nodo raíz representa el comienzo de la conexión, el nodo destino es el nodo que se selecciona del desplegable para establecer la conexión con el primero, y el nivel de asimilación es otro desplegable que describe el tipo de conexión que existirá entre ambos nodos.

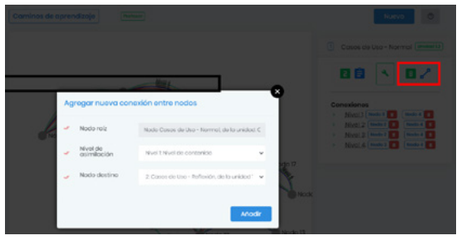


Fig. 10. Generación de una nueva conexión entre nodos.

En cuanto a las conexiones del nodo 1, se han especificado dos variantes. En caso de que el alumno logre calificaciones o evidencias de aprendizaje igual o superior al segundo nivel de asimilación, entonces continuará con el nodo 2. De lo contrario, avanzará hacia el nodo 3. Esto significa que, si el alumno no alcanzó los conocimientos mínimos, tomará el camino que lleva al nodo 3, el cual contiene una actividad con actividades complementarias y similares a los de la guía práctica, pero con la utilización de nuevos recursos pedagógicos, materiales más asistidos, conteniendo más cantidad de ejemplos y utilizando los recursos que el docente considere oportunos. En caso de que no necesite este paso intermedio, avanza directamente hacia el nodo 2. Este nodo, contiene actividades de reflexión acerca de la unidad de Casos de Uso. Por ejemplo, se le pueden cargar preguntas de reflexión acerca de su aprendizaje logrado sobre estos contenidos, o se le puede sugerir que participe en foros de discusión del entorno virtual, para que adquieran conocimientos de índole colaborativo con otros alumnos. Además, el nodo 2 no conduce a ningún otro nodo porque allí finaliza el aprendizaje relacionado con la unidad de Casos de Uso. El resultado de estas interacciones puede observarse en la Fig. 11, donde se detalla la confección del árbol de nodos.

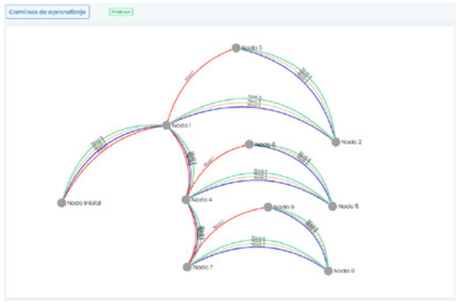


Fig. 11. Árbol de nodos de unidad Ingeniería de Requerimientos.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

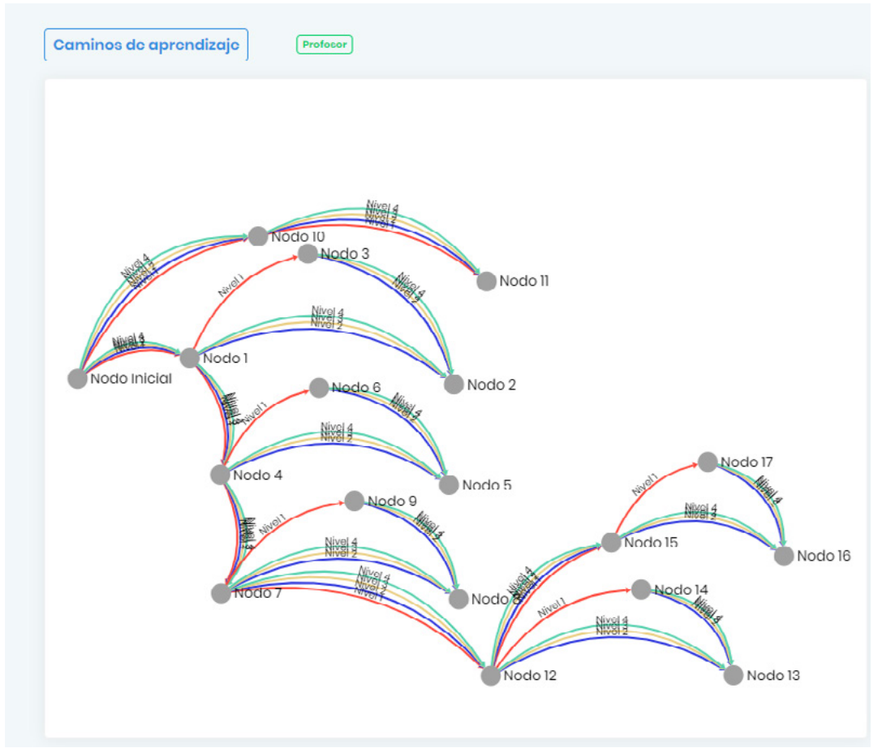


Fig.12. Árbol de nodos generado con las unidades 1 y 2 del programa.

En la figura se pueden observar los diferentes colores que corresponden a cada nivel de asimilación de contenido. Cabe aclarar que el software posibilita la asignación de nombres específicos para cada nodo, es decir, posibilita la asignación de un nombre asociado con el contenido curricular del programa de la materia. El grafo resultante de las conexiones permitidas entre los diferentes componentes de la materia y sus evaluaciones asociadas representa para el profesor una vista concreta de las alternativas de recorrido brindadas a los alumnos.

Por otra parte, siguiendo con la conformación de los caminos de aprendizaje, el nodo 1 apuntará bajo todos los niveles al siguiente nodo (nodo 4) perteneciente a la siguiente unidad del programa: la unidad Historias de Usuario. Esto significa que, independientemente de los resultados que se obtengan de evaluar algún alumno en el nodo 1, dicho alumno podrá continuar igualmente con las actividades disponibles de la siguiente unidad. Cabe destacar que esto es una mera cuestión de diseño del programa y de los caminos de aprendizaje para este curso en particular. Sin embargo, si existieran unidades o subunidades que sean correlativas entre sí, la configuración entre los nodos de cada unidad no debería presentar conexiones en todos los niveles disponibles, porque de esa manera cualquier resultado que obtenga el alumno al ser evaluado en su eportfolio, lo habilitará a realizar las actividades de la siguiente unidad correlativa sin tener en cuenta ninguna diferenciación de su nivel de asimilación alcanzado en los contenidos correlativos.

Como se mencionó en el párrafo anterior, con el nodo 4 se procedió de la misma manera que con el nodo 1. Si se detecta en este paso que el alumno no alcanzó las competencias requeridas para esta unidad, la unidad de Historias de Usuarios, esto es alcanzó un nivel 1 de asimilación de dichos contenidos, entonces se lo derivará a un nodo intermedio, al nodo 6. El nodo 5 cumple la misma función que el nodo 2, evalúa contenidos de aprendizaje reflexivo, pero en este caso para otra unidad.

4.4 Proyección de las asociaciones

Ahora bien, siguiendo con el razonamiento anterior se puede aplicar la misma lógica a la próxima unidad del programa: Diseño del software. Dicha unidad contiene dos temas (Diagramas de Clases y Diagramas de Estado). Esto se puede observar en la Fig. 12. Si además se agrega un Trabajo Práctico Integrador, se obtiene un nuevo escenario con varios nodos y conexiones tal como se ilustra en la Fig. 13. En ésta, los nodos 10 y 11 se relacionan con la unidad del TPI, mientras que los nodos del 12 al 17 se vinculan con actividades de la unidad 2: Diseño del Software. Puede observarse que la complejidad del sistema, debido a la gran cantidad de nodos, se incrementa notablemente. No obstante, esto genera mejores oportunidades de aprendizaje en cada uno de los temas que se desarrollen en un curso.

Al nodo 12; por ejemplo, se le puede especificar una variante extra: en caso de que algún alumno alcance conocimientos del último nivel de asimilación (nivel de investigación), entonces se considera que está habilitado, además de las actividades de reflexión del nodo 13, a realizar actividades de investigación y de creación de contenidos relacionados con la unidad de Diagramas de Clases. En el diagrama visto de la Fig. 13, se agregaría un nuevo nodo que conecta con el nodo 12 mediante una conexión de nivel 4.

Como se puede apreciar, el sistema permite diferenciar alumnos que se encuentran en un estado con respecto al aprendizaje que posibilita presentarle actividades más exigentes, y por lo tanto que requieran de un camino de aprendizaje alternativo para que puedan continuar con su aprendizaje. Esta lógica puede ser extendida a otros nodos, a otras unidades del programa, de manera que se puedan brindar otros materiales y recursos a alumnos que se encuentren en un alto nivel de desempeño con respecto a determinados temas del cursado. Un caso muy particular y común de este tipo de alumnos, podrían ser alumnos recursantes. Dichos alumnos normalmente ya han pasado por la mayoría de los temas, y puede que volver a resolver las mismas actividades les resulte una tarea monótona. Detectar este tipo de alumnos de forma temprana, puede mejorar la calidad de cursado del alumno y que pueda obtener mejores oportunidades de aprendizaje.

La generación del ejemplo podría continuarse para el resto de las unidades que faltan especificar. Sin embargo, es de esperar que el ejemplo hasta aquí denote la idea central de los caminos de aprendizaje y su importancia al definir los niveles de asimilación en el sistema.

4.5 Visualización de avances de los alumnos

Las anteriores secciones mostraron cómo es posible configurar un curso y las diferentes variantes que pueden generarse con los caminos de aprendizaje. Este proceso es de esperarse que se realice por parte de la cátedra antes del inicio de cursado de la asignatura. Lo que sigue a continuación, son todos los procesos que se realizan una vez que inicia el cursado.

Para comenzar, se mostrará la visualización de los avances de los alumnos en el curso. En la Fig. 14, se puede observar una simulación del recorrido realizado por un alumno en particular. Esta sección del sistema, se puede observar la similitud con la página de gestión de caminos de aprendizaje. Sin embargo, cuando se hace clic sobre un nodo, se obtiene información acerca del avance de los alumnos con respecto al nodo seleccionado. En el desplegable que aparece arriba a la derecha, es posible seleccionar un alumno de interés para visualizar sus avances. Cuando se selecciona un alumno, en el nodo se visualizará el estado de avance del alumno en dicho nodo. En la Fig. 13, puede notarse que el alumno en cuestión ya ha completado el nodo seleccionado y, además, se muestra el puntaje final obtenido (77,50%), el nivel de asimilación alcanzado (nivel 3) y el evaluador que determinó dicho nivel. En la misma tarjeta, debajo de la primera línea horizontal, aparece el listado de alumnos activos en dicho nodo. Si se presiona sobre el ícono que se encuentra a la derecha del alumno de la lista, entonces se carga de manera instantánea el progreso y los avances del alumno seleccionado. Por el contrario, si se presiona sobre el ícono en color gris de arriba a la derecha, entonces se visualizarán los avances del cursado en general y no en particular de los alumnos.

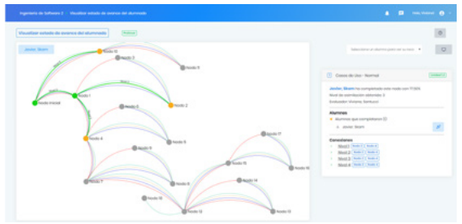


Fig.13. Visualización de avances de aprendizaje para un alumno en particular

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Como se puede detallar, el sistema ofrece varias opciones de navegabilidad para observar la información disponible. Este detalle no es menor, porque el hecho de que el software posea funcionalidades que permitan visualizar y gestionar fácilmente el estado de avance del cursado en general, mejora

Volviendo al gráfico anterior, el alumno que se visualiza se puede notar que completó el nodo inicial del curso. Cuando esto suceda, el nodo en cuestión se visualizará en color verde. Caso contrario, si aún está pendiente de ser resuelto, se visualizará de color naranja. Para completar el nodo, el alumno tuvo que:

- Primero, completar todas las actividades solicitadas, que se encuentran disponibles para el nodo inicial.
- Luego, ser evaluado en las actividades que publica y envía para su evaluación.
- Obtener calificaciones aceptables para las actividades que publica, que de lo contrario deberá volver a enviar para su evaluación hasta obtener una calificación mínima.
- Una vez que termina con las actividades propuestas, se prosigue a evaluar su eportfolio con todos los aciertos y errores, comentarios, y dudas que hayan surgido a lo largo del proceso de aprendizaje. Esta tarea de evaluación es realizada por un docente de la cátedra.
- El docente, al evaluar su eportfolio, determinará el nivel de asimilación que haya alcanzado con respecto a dichos contenidos.
- Para ese momento, el nodo para el alumno se considera que lo ha completado y avanza con los contenidos siguientes propuestos.
- Los contenidos siguientes, dependerán de la conexión que haya con el nodo actual y los nodos siguientes, es decir, dependerán del nivel de asimilación que haya alcanzado, como se ha visto en la sección anterior.

Debido a que el alumno presentado completó el nodo inicial con un nivel 3 de asimilación, entonces avanzará en su aprendizaje con los contenidos que se ofrecen en los nodos 2 y 4, tal como se describe en configuración de los caminos de aprendizaje de la Fig.12, como así también se detalla en un color verde resaltado en la Fig. 13.

4.6 Gestión de avances de los alumnos

Por otra parte, uno de los aspectos más importantes del sistema de gestión de eportfolios, es que no toma decisiones propias ni automáticas sobre qué camino deben tomar los alumnos, ni tampoco lo hacen los propios alumnos. Como se anticipaba en la sección anterior, estas decisiones son instancias evaluadoras propias de la cátedra del curso. Como así la cátedra corrige las actividades publicadas por los alumnos en sus eportfolios, también debe tomar las decisiones del camino que debe tomar cada alumno en cada una de las instancias. Es decir, el sistema solamente genera y calcula recomendaciones a partir de los resultados obtenidos.

Estos datos, sirven como ayuda técnica para el docente que evalúa el aprendizaje logrado por el alumno. En definitiva, la intención de esta funcionalidad es que el docente pueda evaluar todo el recorrido del alumno, observando detenidamente su eportfolio y las actividades que haya resuelto. Si bien una computadora en principio podría tomar estas decisiones, es decir, si se le subministraran los datos y parámetros adecuados, pero la realidad es que este tipo de decisiones necesitan de otro tipo de tecnologías más avanzadas que presten este servicio al sistema, por lo que quedan fuera de discusión para el alcance de este trabajo. Aun así, el sistema es capaz de generar recomendaciones y permitir la toma decisiones, la automatización o semi-automatización de este tipo de decisiones será un paso posterior de implementación del cual el sistema es capaz de soportar.

Concretamente, el sistema entonces genera recomendaciones. En la Fig. 14, se puede observar una recomendación generada por el sistema. Esta solicitud, se genera cuando el alumno completa todas las actividades de un nodo en particular, entonces pasa a esta instancia de evaluación de qué camino tomar. Se puede observar, que es el momento en el cual al alumno se lo evalúa con respecto al aprendizaje logrado en el nodo 1, es decir, en la unidad de Casos de Uso. Además, se ve que el puntaje que obtuvo fue de 77,50% y que el nivel recomendado es el 2 (Nivel de resolución de problemas). En esta instancia, el docente debe hacer dos tareas. La primera, es revisar el cálculo realizado por el sistema, por lo que acciona el botón de color verde de la fila. La segunda, es definir el nivel de asimilación final, accionando el botón azul. Es decir, el nivel de asimilación puede ser diferente al calculado por el sistema, eso es parte de la decisión final del profesor que actúa en consecuencia.

Si presiona el primero, se podrá observar lo que se muestra en la Fig. 15, y allí se visualiza el cálculo realizado por el sistema. Los íconos que se parecen a un portafolio de color verde, son botones que abren una nueva pestaña en el navegador para que el docente pueda visualizar en detalle cómo fue evaluado el alumno en la actividad seleccionada. Esto sirve para confirmar o rectificar la evaluación realizada sobre los contenidos publicados por el alumno.

Fig. 14. Página de gestión de estado de avance del alumnado.

Por otro lado, si se presiona el segundo botón, se observará lo detallado en la Fig. 16. En la misma, se denota el puntaje final obtenido, el nivel de asimilación sugerido en color verde, mientras que los otros niveles aparecen en color rojo. En esta instancia, el docente debe el elegir el nivel de asimilación final, que se recuerda que puede coincidir o no con el pre-calculado. Esta acción no puede revocarse, por lo que el sistema muestra la advertencia correspondiente en color anaranjado, tal como se visualiza en la imagen. Una vez que el docente elije y presiona sobre el botón 'Asignar nivel', el alumno entonces avanza efectivamente en su camino de aprendizaje bajo el nivel de asimilación decidido finalmente por el docente. Este ensayo de la dinámica funcional del sistema, debe replicarse para cada alumno del curso y para cada nodo del cual se completan sus actividades asignadas.

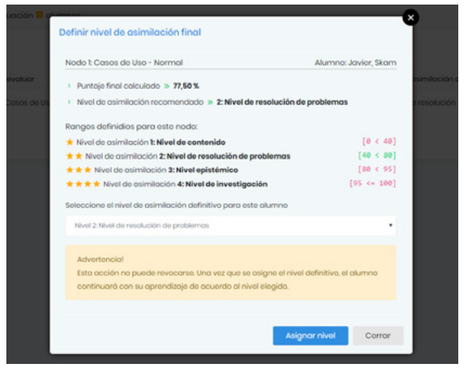


Fig. 15. Cálculo realizado por el sistema para la evaluación del progreso de un alumno.

4.7 Gestión de eportfolio

Por otro lado, al mismo tiempo que se ve cómo se gestiona el aprendizaje de los alumnos y cómo se visualizan sus avances en el cursado, los mismos tendrán que ir resolviendo actividades disponibles para avanzar en su aprendizaje. Dicho lo anterior, en esta sección se incluye un apartado que muestra cómo es la página de gestión de los contenidos para los alumnos, es decir, cómo es la gestión de los eportfolios y su relación con las actividades asignadas al mismo. En la Fig. 17, se puede ver el ejemplo de un eportfolio compuesto por dos secciones.

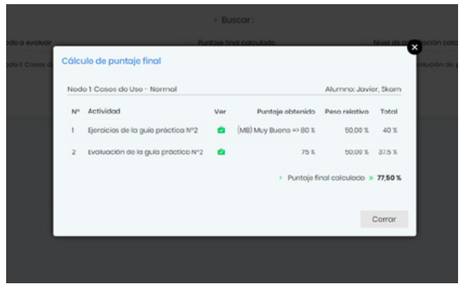


Fig. 16. Definición del nivel de asimilación final.

La primera, llamada Introductoria, fue generada automáticamente por el sistema, mientras que la segunda, llamada Archivos del cursado anterior, corresponde a una subsección creada por el alumno. Se observa que, esta sección de introducción del eportfolio se relaciona con la unidad introductoria fijada para el curso, la cual se genera inmediatamente después de que el alumno se matricula en el curso. Esto se implementó de esta manera, debido a que ofrece la ventaja al profesor de definir un índice general y no modificable para todos los alumnos, lo cual facilita la corrección de los eportfolios ya que se espera que esta tarea se realice de manera reiterada. El alumno es capaz de ampliar dicho índice, agregando secciones denominadas personales. Siguiendo con la captura de pantalla, al observar la subsección 0.1 que es hija de la sección 0, puede notarse el 'efecto carpeta' que se genera al desplegarse las subsecciones. Esto se consiguió tras la definición de bordes con diferentes tonos de grises.º

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

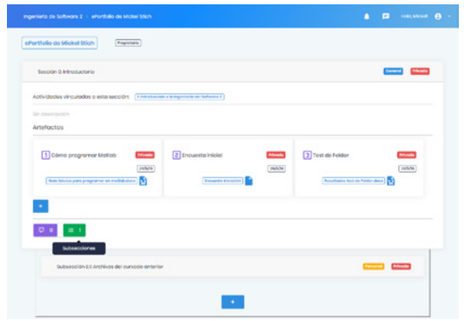


Fig. 17. Gestión de un eportfolio de un alumno.

Por último, a destacar sobre el eportfolio, los artefactos presentes en una determinada sección pueden detallarse con los siguientes datos: el orden en el que se encuentran, el título asignado, la fecha de creación, si fue publicado o no para su evaluación y el tipo de contenido -ya sea un archivo o un link externo-. Si se hace clic sobre alguno de ellos, se desplegará un modal para su gestión.

Adicionalmente, los alumnos pueden habilitar los comentarios en sus eportfolios, en casos donde el docente haga alguna observación o en casos donde otros compañeros le marquen algún error o le den alguna sugerencia. Los comentarios pueden ser visualizados al activar el botón en color violeta, en la parte inferior de alguna sección del eportfolio.

El software de gestión de eportfolios se utilizó en la materia Administración de proyectos de software que se dicta en la carrera Ingeniería Informática.

En las Fig. 18 y 19 se muestran el menú principal del software según sean las vistas del alumno o del docente. El menú difiere en las opciones presentadas a cada tipo de usuario. El menú del alumno le permite acceder a sus calificaciones, gestionar su portfolio, entre otras opciones. El menú del docente tiene la posibilidad de configurar un curso y gestionar caminos de aprendizaje.

Fig. 18. Menú principal de un eportfolio de un alumno.

Fig. 19. Menú principal de un eportfolio de un alumno.

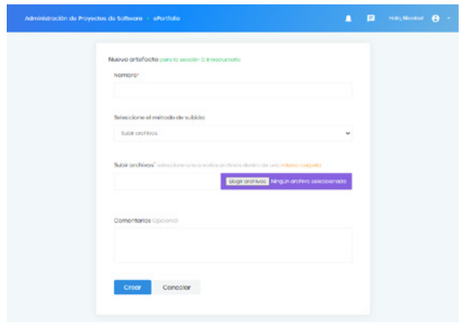


Fig. 20. Incorporación de artefactos en el portfolio.

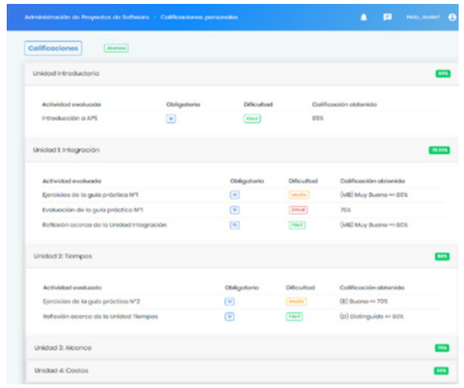


Fig. 21. Calificaciones de un alumno.

El docente tiene la posibilidad de incorporar artefactos en el portfolio fácilmente: actividades, evaluaciones, como puede apreciarse en la Fig. 20. En la Fig. 21 se muestra la vista de las calificaciones de un alumno. En la misma se muestran las actividades evaluadas, las unidades a la que corresponden, si era una actividad obligatoria, la calificación obtenida por el alumno.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el trabajo, se presentó el proceso de desarrollo de un software para la gestión de eportfolios. Este software contempla la definición de caminos de aprendizaje para facilitar la enseñanza personalizada en entornos de educación superior. El camino de aprendizaje, a partir del programa de asignatura, plantea un recorrido que le permite al profesor tomar decisiones sobre el avance en la enseñanza, seleccionar los materiales a para sus alumnos. El avance en el recorrido depende del nivel de asimilación del contenido por parte de los estudiantes. El nivel de asimilación es un dato que se deriva de indicadores basados en la información de sus eportfolios.

En las diferentes secciones del documento se mostraron las técnicas y herramientas de la Ingeniería de Software utilizadas en el proceso de desarrollo. Como parte de este proceso se realizó una intensa actividad de análisis bibliográfico para comprender en profundidad el dominio a abordar. El resultado de esta actividad es la conceptualización y tuvo como objetivo ampliar el campo de conocimientos teóricos relacionados a los requerimientos que el sistema precisaba para ser desarrollado.

En el documento se incluye la validación del software de eportfolio mediante su uso en las materias Ingeniería de Software y Administración de proyectos de Software de la carrera Ingeniería Informática. Por un lado, el software posibilitó la gestión de alumnos, docentes, unidades y conceptos correspondientes al programa de la asignatura; la administración de diferentes recursos educativos asociados a cada una de las etapas planificadas: trabajos prácticos, evaluaciones, etc. Por otro lado, el software facilitó el registro e identificación del avance en el proceso de aprendizaje de cada alumno mediante la visualización de los nodos que componen la estructura del programa de la materia y el estado particular de cada uno, brindando la posibilidad de plantear un recorrido personalizado.

En este sentido, el trabajo permite a los docentes que tienen a su cargo la enseñanza de una asignatura, contar con un software que posibilite la gestión de los trabajos que dan cuenta de los avances del alumno en el cursado de manera de encaminar las actividades de aprendizaje, seleccionar materiales educativos acordes a las posibilidades de cada alumno y, de esta manera, favorecer la personalización de la enseñanza.

Como trabajo a futuro, se plantea la próxima integración del sistema web con el entorno virtual Moodle. Así mismo, se evidencia la necesidad de integrar el software con repositorios para utilizar los diferentes recursos educativos ya implementados, de manera de aprovechar más eficientemente esos instrumentos disponibles. Paralelamente se van a realizar encuestas a docentes y alumnos para relevar y analizar la experiencia de uso del software.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

REFERENCIAS

[1] J. Salinas, “La investigación ante los desafíos de los escenarios de aprendizaje futuros,” Revista de Educación a Distancia, vol. 32, pp. 2, 2012.

[2] F. Mödritscher, S. Spiel and V. Garcia-Barrios, “Assessment in E-Learning Environments: A Comparison of three Methods. In C. Crawford et al. (Eds.),” Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference, Chesapeake, VA: AACE, 2006.

[3] S. Zorrilla Arena, Introducción a la metodología de la investigación, México: Melo S.A, 1993.

[4] D. Lerís and M. L. Sein-Echaluce, “La personalización del aprendizaje: un objetivo del paradigma educativo centrado en el aprendizaje,” ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura, 2011.

[5] J. Salinas, "La investigación ante los desafíos de los escenarios de aprendizaje futuros," Revista de Educación a Distancia, vol. 32, pp. 11-12, 2012.

[6] J. F. Calderero Hernández, A. M. Aguirre Ocaña, A. Castellanos Sánchez, R. Peris Sirvent y P. Perochena González, “Una nueva aproximación al concepto de educación,” Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, vol. 15, no. 2, pp. 131-151, 2014.

[7] L. Romero, M. Gutierrez and L. Caliusco, “Tecnologías semánticas para la utilización de portfolios como guía de la enseñanza en entornos de educación “ 2018.

[8] E. Barberà, G. Bautista, A. Espasa and T. Guasch, “Portfolio electrónico: desarrollo de competencias profesionales en la Red,” Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC), vol. 3, no. 2, 2006.

[9] C. Danielson and L. Abrutyn, Introduction to Using Portfolios in the Classroom, Association for Supervision and Curriculum Development, 1997.

[10] J. Encalada, K. Santiesteban, Y. Portela, S. Cruz and M. Arboleda, “The development of e-Portfolio for Lesson Study” International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), Quito, 2017.

[11] K. Weber and K. Myrick, “Reflecting on Reflecting: Summer Undergraduate Research Students’ Experiences,” International Journal of ePortfolio, vol. 8, no. 1, pp. 13-25, 2018.

[12] J. R. Chittum, “The Theory-to-Practice ePortfolio: An Assignment to Facilitate Motivation and Higher Order Thinking,” International Journal of ePortfolio, vol. 8, no. 1, pp. 27-42, 2018.

[13] E. Collins and R. O'Brien, “Highly Structured ePortfolio Platform for Bachelor of Nursing Students: Lessons Learned in Implementation,” International Journal of ePortfolio, vol. 8, no. 1, pp. 43-55, 2018.

[14] A. Alexiou and F. Paraskeva, “Enhancing self-regulated learning skills through the implementation of an e-portfolio tool,” Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 2, no. 2, pp. 3048-3054, 2010.

[15] P. Peres, L. Oliveira, A. Jesus and A. Silva, “Designing learning paths: Contributions to the organization of b-learning initiatives,” 2th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Lisbon, 2017, pp. 1-6.

[16] L. Romero, M. Gutierrez and L. Caliusco, “Modelado conceptual de caminos de aprendizaje basados en portfolios: Estrategias de selección de recursos educativos,” 2018, pp. 1-6.

[17] W. Meeus, F. Questier and T. Derks, “Open source eportfolio: development and implementation of an institution-wide electronic portfolio platform for students,” Educational Media International, vol. 43, no. 2, pp. 133-145, 2006.

[18] R. Grangel, C. Campos, C. Rebollo, I. Remolar and S. Palomero, “Metodología para seleccionar tecnologías Web 2.0 para la docencia,” Actas Simposio-Taller JENUI, Ciudad Real, 2012.

[19] R. Grangel, C. Campos, V. Verde and C. Rebollo, “Aprender a aprender estudiando Ingeniería del Software,” XVI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, 2010.

[20] I. Sommerville, Ingeniería del Software, vol. 9, Pearson Educación, S.A., 2012.

[21] R. S. Pressman, Ingeniería del Software. Un enfoque práctico, vol. 7, McGRAW-HILL, Inc., 2010.

[22] C. Larman, UML y Patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos, Pearson Educación, S.A., 2003.

[23] I. Sommerville, “Ingeniería del Software,” vol. 9, Pearson Educación, S.A., 2012, pp. 331-353.

[24] Google, “Google Trends,” [Online]. Available: https://trends.google.com/trends/explore. [Accessed: Nov. 22, 2018].

[25] J. Heumann, Generating test cases from use cases, The rational edge, 2001.

AUTORES

NICOLÁS ECKELL

Estudiante de Ingeniería en Informática en la FICH-UNL. En tiempos cercanos a recibirse, con el proyecto final de carrera ya aprobado y próximo a su defensa, su especialización en las áreas de desarrollo del software se concentra en el desarrollo de sistemas web. Actualmente trabajando en la agencia digital Genosha S.A.S., en el cual mantiene el rol de desarrollador web semi senior en sistemas webs basados en PHP.

VIVIANA A. SANTUCCI

Ingeniera en Sistemas de Información de la UTN Facultad Regional Santa Fe Argentina y Especialista en Docencia Universitaria de la UNL Facultad de Humanidades y Ciencias Santa Fe Argentina. Actualmente es becaria doctoral en el marco del Programa de Becas de Posgrado para

Docentes de la Universidad Nacional del Litoral, miembro del Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software GIDIS y profesora en la carrera de grado Ingeniería en Informática de la de la UNL Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas Santa Fe Argentina, a su vez dirige proyectos finales de esta carrrera de grado. Es autora de artículos publicados en revistas y proceeding de congresos. Con más de 20 años de experiencia en el sector de Sistemas de Información, ha trabajado en varias empresas públicas y privadas.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

LUCILA ROMERO

Ing. en Sistema de Información y Dra. En Ingeniería Mención sistemas de información de la UTN –FRSF, tiene categoría III en el programa de incentivo. Actualmente es directora del grupo de investigación de Ingeniería del software GIDIS y es profesora en la carrera de grado Ingeniería en Informática de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Dirige proyectos de investigación en el área de la Ingeniería de software. Tiene becarios doctorales, de maestría y de grado. Es autora de numerosos artículos publicados en revistas y proceeding de congresos. Ha participado en proyectos de transferencia de conocimiento y extensión al medio socio-productivo.

N. Eckell, V. Santucci and L. Romero, "Diseño de un software de gestión de Portfolios para la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios", Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 7, no. 1, 2020.

Desarrollo y evaluación de usabilidad de un aplicativo web gamificado para la enseñanza de informática básica

Development and evaluation of usability of a gamified web application for basic computer education

ARTICLE HISTORY

Received 16 May 2020
Accepted 06 June 2020

Pedro Javier Cuasqui
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
pedro.cuasqui@epn.edu.ec

Diseño de un software de gestión de Portfolios para la personalización de la enseñanza en ambientes universitarios

Design of a portfolio management software to personalize learning in university environments

Pedro Javier Cuasqui
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
pedro.cuasqui@epn.edu.ec,
ORCID ID 0000-0003-4649-3691

Resumen — En los últimos años, el uso de aplicaciones educativas en los procesos de aprendizaje en cualquier dominio ha aumentado, debido al gran potencial que estas tienen para motivar a los estudiantes. En este artículo se ilustra el proceso de desarrollo de una aplicación web gamificada para la enseñanza de informática básica como apoyo en el proceso de inclusión digital. La herramienta es diseñada y gamificada utilizando la metodología iPlus orientada al diseño de juegos serios y la metodología XP (Extreme Programming) en su implementación. Ambas metodologías involucran al usuario en todo el proceso de desarrollo del aplicativo. Adicionalmente presentamos la evaluación de usabilidad mediante el cuestionario Computer System Usability Questionnaire (CSUQ) de IBM.

Palabras clave — Educación, iPlus, Inclusión digital, XP, Brecha digital, Educación informática básica, Juegos serios.

Abstract *— In recent years, the use of educational applications in learning processes in any domain has increased, due to the great potential they have to motivate students. This article illustrates the process of developing a gamified web application for basic computer education to support the digital inclusion process. The tool is designed and gamified using the iPlus methodology oriented to the design of serious games and the XP (Extreme Programming) methodology in its implementation. Both methodologies involve the user in the entire application development process. We also present the usability assessment using the IBM Computer System Usability Questionnaire (CSUQ) questionnaire.*

Keywords — Education, iPlus, Digital inclusion, XP, Digital gap, Basic Computer Education, Serious Games.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

El software es una herramienta tecnológica intangible necesaria de amplia difusión y uso que en la actualidad está presente en una variedad de dispositivos electrónicos como autos o línea blanca, entre otros, pero principalmente en computadores y celulares. Dadas las circunstancias actuales derivadas de una pandemia provocada por coronavirus que ha obligado a la población a mantenerse en casa, el software apoyado en las telecomunicaciones, ha demostrado ser vital para el desarrollo de las labores cotidianas como: comunicarse, estudiar y laborar en la coyuntura actual, parte de la población realiza estas actividades principalmente y por seguridad en modalidad remota, es decir desde casa por medio de videollamadas, llamadas de voz, mensajes de texto o correo electrónico entre las que más se destacan.

El mundo entero se ve inmerso en una ola de innovaciones y adelantos tecnológicos, pero existen grupos poblacionales que no han podido aprovechar este desarrollo de la tecnología al mismo ritmo en parte porque la tecnología que ellos conocen está siendo reemplazada o eliminada [1] y son excluidos o corren el riesgo de serlo en varios aspectos de su vida diaria, generalmente dentro de este grupo se encuentran: adultos mayores, con poco acceso a la tecnología [2], personas con discapacidad y de áreas rurales, entre otros.

Según la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) del Ecuador, módulo de Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) del 2017 [2], el 10.5% de la población nacional es considerada como analfabeta digital, el 26.3% de personas mayores a 45 años utiliza un computador para acceder a internet y el 20.9% del mismo grupo etario lo usa para otros fines.

El analfabetismo digital es un factor que influye en el aumento de la brecha digital, la falta de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación incrementa la exclusión de la sociedad [3].

Según Vega [4], "Alfabetización Digital (Digital literacy) representa la habilidad de un individuo para realizar tareas efectivamente en un ambiente digital, donde "digital" significa la información representada en forma numérica y utilizada por las computadoras, y, alfabetización (literacy) incluye la habilidad de leer e interpretar los textos, sonidos e imágenes (media), reproducir datos e imágenes por medio de la manipulación digital además de evaluar y aplicar nuevo conocimiento adquirido por las comunidades digitales".

Ante este problema se propone el desarrollo de una aplicación web que por medio de mecanismos de ludificación como puntos, niveles y tablas de puntuación [5] brinde asistencia en el aprendizaje de informática básica y con técnicas de gamificación motiven a aprender a personas que requieren adquirir habilidades en el uso del computador.

Según Deterding et al. [6], "La gamificación es el uso de elementos de diseño de juegos en contextos no relacionados con el juego." La gamificación según Zichermann [5] hace que al utilizar una aplicación su experiencia sea predecible, repetible y financieramente gratificante. Una ventaja de la gamificación es que la gente se compromete con el juego, o la aplicación gamificada, según Barata [7] "La gamificación se basa en las cualidades motivacionales de los juegos para atraer a los usuarios a adoptar comportamientos específicos".

El presente artículo está estructurado de la siguiente manera. En la sección dos se presentan las metodologías usadas para el desarrollo de la aplicación, la sección tres explica brevemente las funcionalidades de la aplicación web gamificada, la sección cuatro presenta los resultados de las pruebas de usabilidad y la sección cinco las conclusiones y perspectivas del trabajo.

2 METODOLOGÍAS

El desarrollo del sistema se organiza en 4 etapas del ciclo de vida del desarrollo de software según XP [8]: Planificación, Diseño, Codificación y Pruebas. El levantamiento de requerimientos como parte previa al desarrollo del sistema es apoyado por la metodología iPlus [9][10], inspirada en una metodología lúdica y participativa como es ISEA[11]. En los siguientes apartados se describen sus etapas y como se aplicaron a la implementación del aplicativo informático.

A continuación, se describe cada una de las metodologías usadas para desarrollo de la aplicación web educativa.

2.1 Metodología iPlus

Para la aplicación de la metodología iPlus se cuenta con la participación de diferentes expertos y usuarios, entre ellos el Product Owner quien describe el problema sobre el analfabetismo digital, se socializan brevemente los aspectos que motivan el desarrollo de una solución tecnológica. El proceso de obtención de requerimientos formalizados usando historias de usuario se realiza en 4 fases descritas a continuación.

A. ***Sección A – Fase Objetivos Pedagógicos:*** Se compone de cinco actividades, en la primera actividad el Experto en la temática responde un cuestionario de 13 preguntas, estas respuestas son insumo principal para la redacción de los objetivos pedagógicos acorde a lo solicitado. En la segunda actividad se elabora un diagrama de afinidad para agrupar ideas y determinar los requerimientos, en la tercera y cuarta actividad se determinan el objetivo pedagógico general y los objetivos pedagógicos específicos respectivamente, finalmente en la quinta actividad se relacionan las ideas escritas en notas adhesivas con los objetivos pedagógicos específicos. En la Fig. 1 se muestra el resultado del diagrama de afinidad realizado con notas adhesivas color naranja y rosa, que aporta en la descripción de los objetivos pedagógicos, en la Tabla I se muestra el objetivo pedagógico general del proyecto.

Fig. 1. Organización de ideas usando notas adhesivas para elaborar el diagrama de afinidad.

TABLA I. OBJETIVO PEDAGÓGICO DEL PROYECTO

Formulario de objetivos pedagógicos
Desarrollar un aplicativo informático web usable y accesible para enseñar informática básica mediante técnicas lúdicas que motiven el aprendizaje del usuario.

B. ***Sección B – Fase Historias Lúdicas:*** En esta fase se describe el escenario lúdico que se implementará el aplicativo web, se hace uso de un formulario que consta de varias partes entre ellas una "Historia de videojuego" que será redactada por cada uno de los asistentes y "Mecanismos de Ludificación", basandose en estos dos insumos, se establece que el software en concreto debe incluir ciertos elementos de gamificación entre los cuales pueden estar puntos, tablas de posición, insignias, niveles y un asistente de inicio que se obtienen a medida que se realizan evaluaciones contra el tiempo. La Tabla II muestra el resultado consensuado por los participantes.

TABLA II. HISTORIA LÚDICA DEL JUEGO

Formulario de historia y escenario
Rol: Experto en la temática
A partir del objetivo pedagógico general describa los siguientes elementos para una posible historia del juego.
Historia
No se considera una historia.
Personajes (Héroes/villanos)
Polibuho.
¿Cómo se gana el juego?
Aprobando todos los niveles.
Si es posible, ¿Cómo añadiría a su historia los siguientes mecanismos de ludificación?
Tablas de Puntuaciones: Tener un histórico de que usuarios han seguido el curso y su puntaje de evaluación por tiempo y aciertos. **Asistente Inicio:** El Polibuho le ayudará a dar las explicaciones por cada módulo. **Insignias:** Cada vez que apruebe un nivel, dar estrellas de acierto. **Desafíos y Misiones:**
Formulario de historia y escenario
Rol: Experto en la temática
Aprobar los módulos, responder bien las preguntas contra el tiempo. **Puntos:** Dependiendo del tiempo y respuestas dar puntos, estrellas. **Niveles:** Aprobar los módulos

C. ***Sección C – Fase GamePlay:*** En esta fase se obtiene la funcionalidad del aplicativo, el género del juego y los términos clave. Aquí con ayuda de los bloques GamePlay y la guía del experto en videojuegos, cada participante diseña las ideas funcionales (jugabilidad) para el juego serio consensuado. En esta actividad cada participante explica en voz alta sus secuencias de frases GamePlay generadas, para conocer todos ellos. Luego con el apoyo de los recursos obtenidos en las fases precedentes se ubica a la aplicación dentro de un género de videojuegos. Y finalmente cada participante escribe de 3 a 5 términos que definan al proyecto de entre los cuales surge el nombre "alfaweb". La Tabla III muestra los bloques gameplay usados durante la reunión para la obtención de la jugabilidad. La Tabla IV muestra los términos aportados finalmente.

TABLA III. TÉRMINOS CLAVE PARA NOMBRAR LA APLICACIÓN

Tarjetas gameplay de desarrollador	
Descripción	El avatar puede cambiar de aspecto de acuerdo con el nivel que el usuario supere, el nivel superado está en función de los puntos.
Bloques seleccionados	Puntos
Descripción	El usuario pide ayuda al avatar dando click sobre él, mientras más ayuda pide al avatar, más puntos se le restan.
Bloques seleccionados	Responder

TABLA IV. TÉRMINOS CLAVE PARA NOMBRAR LA APLICACIÓN

Términos propuestos por los participantes
Progreso, A computar aprendo, computación, aprendizaje, inclusión digital, vive digital, alfabetización web "alfaweb", digital, inclusión al mundo digital, aprende computación, informática básica, aprendizaje, autoaprendizaje, aplicación gamificada, aprendizaje divertido.

D. ***Sección D – Fase de Refinamiento:*** En esta fase se obtienen las historias de usuario, es decir, aquí los documentos realizados previamente son filtrados a través de un cuestionario de validación (ISO 830:2008). Se filtran los propósitos, las secuencias de frases gameplay, e información obtenida en las historias del juego serio, ello se realiza para eliminar aspectos que son repetidos o no son posibles crear. Con ello las historias de usuario obtenidas servirán de entrada a un enfoque ágil. En la Tabla V se presenta un ejemplo de la encuesta antes mencionada, con una historia de usuario y sus resultados.

TABLA V. CUESTIONARIO DE VALIDACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO

Cuestionario de validación de historias de usuario (ISO 830)	
Preguntas	***Historia 1. Motivación en el juego que lo haga reusable***
¿Los requerimientos están claros?	Sí, a nivel general está claro lo que se quiere
¿Los requerimientos son realizables?	Sí
¿El requerimiento es verificable mediante un caso de prueba?	No
¿El requerimiento está dentro del alcance?	Sí
¿El requerimiento requiere una ampliación?	Sí, especificar qué elementos de gamificación debe incluir para que sea motivador
¿El requerimiento puede descomponerse en varios?	Sí
¿El requerimiento puede ser redefinido de mejor manera?	Sí, descomponerlo
¿El requerimiento es medible?	No
¿Los requerimientos tienen una restricción técnica?	No
¿El requerimiento necesita una adaptación especial para la necesidad específica del usuario?	No
¿El requerimiento es no funcional?	Sí

A continuación, describimos la metodología XP que recibió la entrada de historias de usuario.

2.2 Metodología XP

XP o Programación Extrema en español, es una metodología de desarrollo de software basada en iteraciones que busca entregas tempranas de software y documentación no exhaustiva, es adecuada para este proyecto por la flexibilidad en el manejo de requerimientos cambiantes incluso en etapas avanzadas de desarrollo y porque está diseñada para proyectos pequeños de corta duración.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

XP tiene cinco fases o actividades del ciclo de vida del proyecto: planificación, gestión, diseño, desarrollo y pruebas; dentro de cada fase existen reglas que caracterizan a la metodología XP [8], a continuación, se describen estas reglas dentro de cada fase.

A. ***Planificación:*** De las actividades realizadas con iPlus se determina que la aplicación debe tener dos roles, Estudiante y Administrador. Los requerimientos escritos en forma de historias de usuario épicas son divididos en historias de usuario más pequeñas en total 22 que se agrupan en iteraciones con una duración máxima de 84 horas, el tiempo que tomará el desarrollo de cada historia de usuario se evalúa de acuerdo con la experiencia del programador, las herramientas usadas y los cambios que el cliente recomienda. Con estos insumos se realiza un cronograma de reuniones y de entregas conocidos en XP como Release Planning Meeting y Release Plan respectivamente, La Fig 2. Muestra la integración de la metodología iPlus en el ciclo de vida XP.

B. ***Diseño:*** En la Fig. 3 se muestra la arquitectura en base a la cual se construye la aplicación "alfaweb", se puede apreciar los componentes que tendrá la aplicación: presentación, lógico y datos.

Según Burbeck [12] el Modelo Vista Controlador (MVC) gestiona la entrada del usuario, el modelado del mundo externo y la retroalimentación visual al usuario. En la Fig. 4 se muestran las capas del patrón MVC para el software "alfaweb". En esta etapa también se elabora la "Metáfora del sistema" y se realizan los prototipos que servirán de guía para el desarrollo de aspectos de usabilidad de la aplicación.

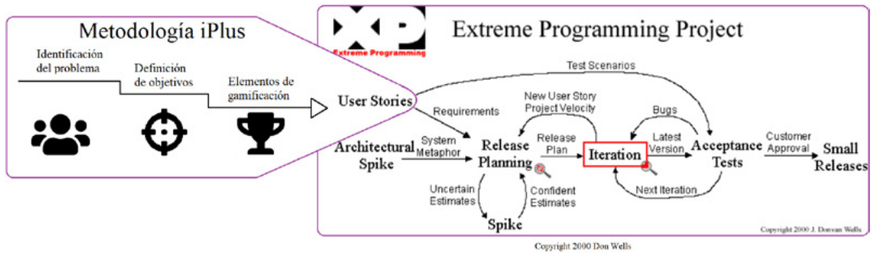


Fig. 2. Diagrama de integración de iPlus con la metodología XP [8].

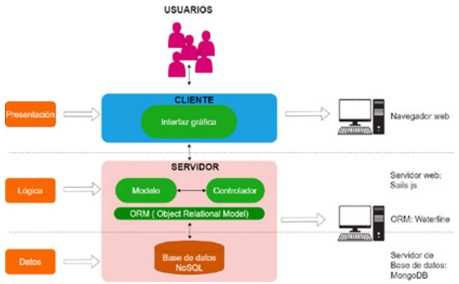


Fig. 3. Arquitectura de la aplicación "alfaweb".

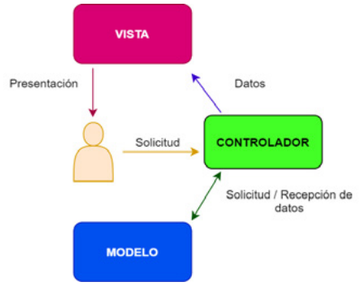


Fig. 4. Patrón MVC para el desarrollo de la aplicación.

C. ***Codificación:*** El Desarrollo de la aplicación se realiza conforme a las iteraciones programadas en la etapa de planificación, son siete iteraciones que agrupan las historias de usuarios en función de su prioridad, ocho historias de usuario con prioridad alta se desarrollan en las primeras 4 iteraciones, seis historias de usuario de prioridad media se desarrollan en las iteraciones 5 y 6, finalmente seis historias de usuario con prioridad baja se desarrollan en la iteración 7 dando un total de 22 hisotiras de usuario. La Tabla VI muestra la primera iteración que contiene una historia de usuario de prioridad alta y sus respectivas tareas de programación.

D. ***Pruebas:*** La evaluación de código se centra en las peticiones HTTP POST y GET de la aplicación, al ser una aplicación web es necesario validar que las rutas devuelvan un resultado adecuado de acuerdo con los permisos del usuario y el servicio solicitado. Se usan herramientas de evaluación de código para evaluar un total de 20 controladores, de los cuales el 100% aprobó.

E. ***Gestión:*** La gestión involucra un conjunto de tareas que se realizan para mantener al equipo de trabajo productivo, parte importante de estas tareas es la reunión diaria de máximo quince minutos en la que los desarrolladores explican brevemente el avance de su parte del proyecto y se solventan inconvenientes técnicos que de ser el caso esten afrontando, esta actividad es transversal a las cuatro fases descritas anteriormente, es decir, se ejecuta desde el principio hasta el fin del proyecto.

TABLA IV. TÉRMINOS CLAVE PARA NOMBRAR LA APLICACIÓN

Iteración 1	
Historia de usuario	
Número: 01	**Usuario:** Estudiante
Nombre historia: Seguir el curso de informática básica, temas para principiantes.	
Prioridad: Alta (A)	
Descripción: El Estudiante, requiere seguir los temas básicos del curso de alfabetización informática básica en la aplicación para mejorar su aprendizaje en informática básica	
Tareas: Ortografía y Gramática Crear Página: Encabezado y Pie de Página Crear Página: Insertar Imágenes y Gráficos Crear Página: Insertar Tablas Crear Página: Guardar e Imprimir un Documento Crear Página: Editar un documento guardado en la PC Crear Página: Estilos Crear Página: Párrafo Crear Página: Fuente Crear Página: Redacción de un documento en Word Crear Página: Establecer rutas para los módulos Crear Página: Diseño De Página Crear Página: Crear contenidos para módulo 1 - portada Crear Página: El Sistema Informático (hardware y software) Crear Página: El Teclado Crear Página: El Ratón Crear Página: Conexión de los Distintos Componentes de la computadora Crear Página: Módulo 2. Navegación en el Escritorio -portada Crear Página: Módulo 4. Edición de Documentos (Microsoft Word) Parte 2	

3 RESULTADO DE IMPLEMENTACIÓN CASO DE ESTUDIO

El resultado de la aplicación "alfaweb" tiene como objetivo apoyar al estudiante mediante el acceso en línea al contenido del curso de informática básica para reforzar el conocimiento adquirido. En la Fig. 5 se muestra la pantalla de inicio al aplicativo "alfaweb" en línea, desde donde se puede ingresar al contenido a través de un nombre de usuario y contraseña, también se puede ingresar como usuario visitante, con el cuál se puede acceder a todo el contenido de estudiante sin tener que registrarse.

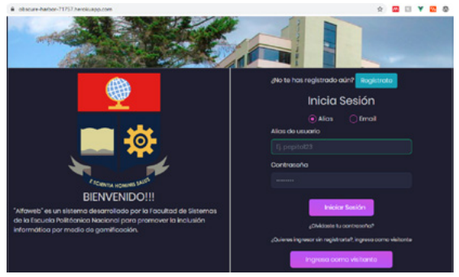


Fig. 5. Página de inicio de la aplicación "alfaweb".

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

En la aplicación se permite registrar dos tipos de usuarios:

3.1 Administrador

Este usuario tiene la capacidad de crear nuevos cursos virtuales con contenido que se edita como un gestor de contenidos estilo WordPress; permite además la creación de evaluaciones por medio de cuestionarios gamificados que pretenden motivar al estudiante a aprender. Otra funcionalidad importante del administrador es la de revisar el avance de los estudiantes mediante un panel de datos sobre la puntuación y el progreso en las evaluaciones que ha realizado el estudiante.

En la Fig. 6 se muestra la página de inicio del administrador desde donde puede gestionar los cursos y el progreso de los estudiantes.

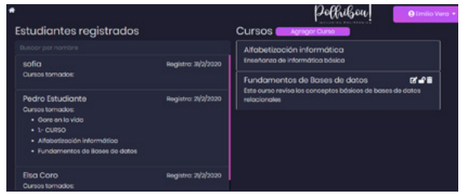


Fig. 6. Página de administración de usuarios y cursos de la aplicación "alfaweb".

La Fig. 7 muestra la página en la que el usuario administrador puede crear la portada para un nuevo módulo, en ella se puede agregar el contenido en texto enriquecido.

3.2 Estudiante

El estudiante tiene la capacidad de consumir el contenido del curso y ser evaluado. En la Fig. 8 se presenta el contenido del curso "informática básica" el tema es "El Teclado", el estudiante mueve el mouse y puede notar que al pasar el cursor sobre un componente o una parte de la imagen se despliega una nota de color azul con letras blancas indicando el nombre del objeto.

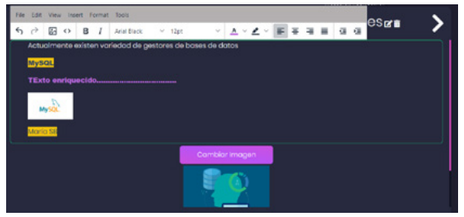


Fig. 7. Edición del contenido parametrizable, disponible solo para rol administrador.

Fig. 8. Tema el teclado, parte del curso "Informática básica".

En la Fig. 9 Se muestra el detalle del elemento seleccionado mostrado en la Fig. 8, en este ejemplo las teclas numéricas. El estudiante tiene la posibilidad de reproducir el texto de la descripción del elemento por medio de un botón de "play".

Fig. 9. Detalle de las teclas numéricas del tema "El teclado".

La Fig. 10 muestra la tabla de puntuación del estudiante con respecto a otros que sigan el mismo curso, la Fig. 11 muestra una curva estadística de los resultados obtenidos en las evaluaciones por parte del estudiante, en ella se puede apreciar la fecha, el tema evaluado y la puntuación obtenida. Con estos resultados tanto estudiante como administrador pueden analizar y establecer parámetros para mejorar el aprendizaje.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

En la Fig. 12 se puede apreciar un mensaje al estudiante al finalizar una evaluación, se puede ver que contiene algunos elementos de gamificación como estrellas que indican el número de aciertos, puntos obtenidos en la evaluación actual y el total de puntos en dicho curso junto con una gráfica de lingotes de oro para incentivar a realizar las evaluaciones, el nivel alcanzado mostrado en número, una barra ilustrativa y el búho como asistente.

Tabla de puntuación

Posición	Estudiante	Puntos	Experiencia	Nivel
1	Pedro Estudiante	421380	novato	4
2	Elsa Coro	0	novato	0
3	sofia	0	novato	0

Fig. 10.Tabla de puntuación del estudiante en el curso de informática básica.

Fig. 11. Curva estadística de puntos obtenidos en las evaluaciones.

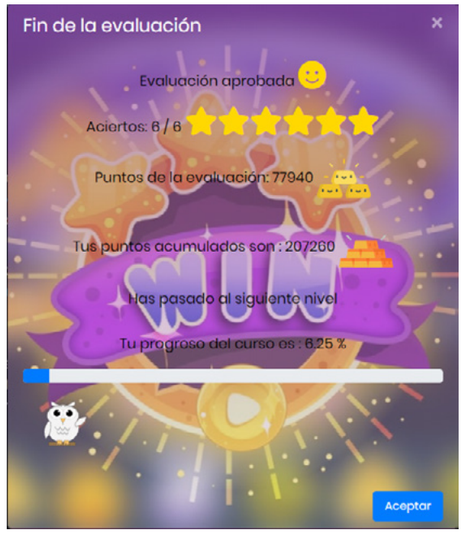


Fig. 12. Pantalla de inicio al módulo 1 del curso "Informática básica".

4 PRUEBAS USABILIDAD Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La evaluación de usabilidad se realiza en base a la propuesta de Shawn Lawton Henry en su libro "Just Ask, Integrating Accessibility Throughout Desing" [13]. Esta práctica sirve para mejorar la usabilidad y accesibilidad de sitios web. Según Nielsen [14], cinco es el número suficiente para determinar el 85% de problemas de usabilidad por cada rol de la aplicación cuando el usuario es homogéneo [14]. Se seleccionará a 5 participantes por rol, 5 participantes de rol administrador y 5 cuyo rol es de estudiantes y se les asigna tareas que deben cumplir usando la aplicación, después deben contestar una encuesta de usabilidad propuesta por IBM [15] denominada Computer System Usability Questionnaire (CSUQ), esta encuesta contiene 19 preguntas que pueden ser calificadas del 1 al 7, siendo 1 estar totalmente en desacuerdo y 7 estar totalmente de acuerdo. A continuación, se presentan los resultados, en la Fig. 13 se muestra el resultado de la evaluación de usabilidad CSUQ realizada a 5 usuarios de la aplicación con rol "Estudiante", tenemos que la máxima nota alcanzada es 91.1% y la mínima nota alcanzada es 82.1%.

En la Fig. 14 se muestra el resultado de la evaluación de usabilidad CSUQ realizada a los usuarios de la aplicación con rol "Administrador". La Tabla VII lista las preguntas del CSUQ traducidas a español.

Fig. 13. Resultado del cuestionario CSUQ para el rol "Estudiante".

Fig. 14. Resultados del cuestionario CSUQ para el rol "Administrador".

TABLA VII. PREGUNTAS DEL "COMPUTER SYSTEM USABILITY QUESTIONNAIRE" [15]

Computer System Usability Questionnaire Cuestionario de Usabilidad del Sistema Informático	
Pregunta N.°	***Enunciado***
1	En general, estoy satisfecho con lo fácil que es usar este sistema.
2	Es simple usar este sistema.
3	Puedo efectivamente completar mi trabajo usando este sistema.
4	Soy capaz de completar mi trabajo rápidamente usando este sistema.
5	Soy capaz de completar mi trabajo eficientemente usando este sistema.
6	Me siento cómodo usando este sistema.
7	Fue fácil aprender a usar este sistema.
8	Creo que me volví productivo rápidamente usando este sistema.
9	El sistema mostró mensajes de error que me indicaron claramente cómo solucionar problemas.
10	Cada vez que cometía un error al utilizar el sistema, podía recuperarme fácil y rápidamente.
11	La información (como ayuda en línea, mensajes en pantalla y otra documentación) proporcionada con este sistema es clara.
12	Es fácil encontrar la información que necesita.
13	La información proporcionada con el sistema es fácil entender.
14	La información es efectiva para ayudarme a completar las tareas y los escenarios.
15	La organización de la información en las pantallas del sistema es clara.
16	La interfaz de este sistema es muy agradable.
17	Me gustó usar la interfaz de este sistema.
18	Este sistema tiene todas las funciones y capacidades que espero tener.
19	En general, estoy satisfecho con este sistema.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

5 CONCLUSIONES

El desarrollo de la aplicación "alfaweb", gamificada y parametrizable ayuda como recurso de apoyo pedagógico en el proceso de enseñanza - aprendizaje de informática básica contribuyendo a disminuir el analfabetismo digital. En el desarrollo de la aplicación los elementos de gamificación se basan los propuestos por el autor Zichermann, pero es de aclarar que hay varios nuevos estudios que podrían mejorar el enfoque dado por este con respecto a la gamificación.

Para el desarrollo de la aplicación web se valió de dos metodologías, iPlus y Extreme Programming pudieron enlazar ambas exitosamente de forma que las historias de usuario épicas de iPlus sirvieron de entrada para XP. Con la metodología iPlus, se logró obtener la mayor parte de características que debe tener el aplicativo web con puntos de vista y opiniones de expertos en diferentes áreas relacionadas a la educación, se continuó el proyecto apoyándose en la metodología XP para generar entregas continuas de funcionalidad.

Para implementar el aspecto gamificado en la aplicación se revisó bibliografía relacionada a la gamificación y sus características tomando en cuenta a los autores y temas que consideramos más relevantes en la materia y con ayuda de un experto se seleccionó las mecánicas más adecuadas.

La implementación de cada módulo para el curso de informática básica se reforzó con la "Guía Para Estudiantes" elaborada por el Product Owner, recurso usado por tutores de la capacitación de alfabetización informática.
La aplicación además de cumplir con el objetivo de mejorar la enseñanza de informática básica posee una característica de parametrización de contenidos para Administradores que permite la creación de nuevos cursos, con sus respectivos módulos, capítulos y evaluaciones para extender su alcance por medio de nuevos temas.

Se realizaron las evaluaciones de usabilidad que verifican que la aplicación tenga las características adecuadas de calidad que permiten al usuario usar la aplicación de forma eficaz para el propósito deseado.

Para proyectos futuros relacionados al mismo tema o mejoras a la aplicación presentada se recomienda revisar el estado del arte en temas de ludificación y la forma de implementarla para tener mayor efectividad en la enseñanza y motivación de los estudiantes con el aprendizaje de temas tecnológicos.

REFERENCIAS

[1] P. Barden, P. Curzon, and P. Mcowan, "Gameful Systems: Play in the digital age for young and old," Conference on Human Factors in Computing Systems, Paris, France, 2013

[2] Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Tabulados de Tecnología de la Información y Comunicaciones (ENEMDU)," INEC, Quito, Ecuador, 2018.

[3] A. R. Alva de la Selva, "Los nuevos rostros de la desigualdad en el siglo xxi: la brecha digital," Rev. Mex. Cienc. Polit. Soc., vol. 60, no. 223, pp. 265–285, 2015.

[4] S. Vega, "Alfabetización Digital En La Educación," Temas para la Educ. Rev. Digit. para Prof. la enseñanza, vol. 17, pp. 1–10, 2011.

[5] G. Zichermann and C. Cunningham, Gamification by design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps, 2011.

[6] S. Deterding and D. Dixon, "Gamification_2011," CHI'11 Ext. Abstr. Hum. Factors Comput. Syst., pp. 2425–2428, 2011.

[7] G. Barata, S. Gama, J. Jorge, and D. Gonçalves, "Gamification for smarter learning: tales from the trenches," Smart Learn. Environ., vol. 2, no. 1, p. 10, 2015.

[8] D. Wells, "Extreme Programming: A Gentle Introduction," Don Wells. [Online]. Available: http://www.extremeprogramming.org./. [Accessed: Jul. 18, 2018].

[9] M. Carrión, M. Santorum, J. Aguilar, and M. Peréz, "iPlus methodology for requirements elicitation for serious games," XXII Ibero-American Conf. Softw. Eng. CIbSE 2019, pp. 434–447, 2019.

[10] M. Carrión, M. Santorum, M. Pérez, and J. Aguilar, "A participatory methodology for the design of serious games in the educational environment," 2017 Congr. Int. Innov. y Tendencias en Ing. CONIITI 2017 - Conf. Proc., vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2018.

[11] M. Santorum, A. Front, and D. Rieu, "ISEAsy: A Social Business Process Management Platform," Lect. Notes Bus. Inf. Process., vol. 171 171 LN, pp. 125–137, 2014.

[12] S. Burbeck, "How to use Model-View-Controller (MVC)." [Online]. Available: http://www.dgp.toronto.edu/~dwigdor/teaching/csc2524/2012_F/papers/mvc.pdf. [Accessed: Oct. 01, 2019].

[13] S. L. Henry, Just ask : integrating accessibility throughout design. Lulu.com, 2007.

[14] J. Nielsen, "Why You Only Need to Test with 5 Users." [Online]. Available: https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/. [Accessed: Feb. 09, 2020].

[15] J. R. Lewis, "Computer System Usability Questionnaire," Int. J. Hum. Comput. Interact., vol. 7, no. 1, pp. 57–78, 1995.

AUTOR

PEDRO CUASQUI

Nacido en Quito – Ecuador el 16 de diciembre de 1991. Egresado de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional (2019). Obtuvo el título de bachiller como Técnico en Comercio y Administración Especialidad: Informática en el Colegio Nacional Técnico Cumbayá (2009). Trabaja en el sector bancario desde el 2017 en el área de Inteligencia de Negocios, principalmente en el manejo de datos usando el sistema de gestión de bases de datos Microsoft SQL Server.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

P. Cuasqui, "Desarrollo y evaluación de usabilidad de un aplicativo web gamificado para la enseñanza de informática básica", Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 7, no. 1, 2020.

Calificación Estadística para Aprobación de Créditos Comerciales mediante Modelos Aditivos Generalizados

Statistical Qualification for Approval of Commercial Credits through Generalized Additive Models

ARTICLE HISTORY

Received 16 May 2020
Accepted 06 June 2020

Verónica Garrido
Subgerencia de Riesgos
Corporación Financiera Nacional
Quito, Ecuador
nany_garl@yahoo.com

Miguel Flores
Departamento de Matemáticas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
miguel.flores@epn.edu.ec

Luis Felipe Guevara
Centro de Educación Continua
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
luis_felipe_guevara@yahoo.com

Calificación Estadística para Aprobación de Créditos Comerciales mediante Modelos Aditivos Generalizados

Statistical Qualification for Approval of Commercial Credits through Generalized Additive Models

Verónica Garrido
Subgerencia de Riesgos
Corporación Financiera Nacional
Quito, Ecuador
nany_garl@yahoo.com

Miguel Flores
Departamento de Matemáticas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
miguel.flores@epn.edu.ec

Luis Felipe Guevara
Centro de Educación Continua
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
luis_felipe_guevara@yahoo.com

Resumen — El presente artículo presenta la aplicación de un procedimiento metodológico para la construcción de un modelo de calificación estadística para la aprobación de créditos comerciales en una institución financiera pública. En esta línea se pretende develar principalmente las bondades de utilizar modelos aditivos generalizados (GAM), cuyas estructuras funcionales contemplan la posible no linealidad de las variables explicativas del riesgo de crédito en su relación con el cumplimiento de las obligaciones de pago de los acreditados, frente a modelos lineales como el logit. Esta temática se torna relevante ante la necesidad de las instituciones financieras de contar con herramientas y sistemas de manejo de información acertados que les permita establecer estrategias para mejorar la colocación de su cartera de créditos en clientes que puedan cumplir con sus obligaciones pactadas en los plazos previstos, sin incurrir en retrasos parciales o totales; en definitiva, minimizando su riesgo de crédito. Adicionalmente, con la finalidad de atender la necesidad expuesta se realiza la aplicación del procedimiento metodológico mediante programación en el software R con lo cual el modelamiento es fácilmente replicable.

Palabras clave — Estadística, Econometría, Riesgo de Crédito, Modelo de Calificación Estadística de Crédito, Cartera Comercial, Modelos Aditivos Generalizados

Abstract — *This article presents the application of a methodological procedure for the construction of a statistical qualification model for the approval of commercial credits in a public financial institution. In this line, the main aim is to reveal the benefits of using generalized additive models (GAM), whose functional structures contemplate the possible non-linearity of the explanatory variables of credit risk in relation to compliance with the payment obligations of borrowers, compared to linear models like the logit. This topic becomes relevant in view of the need for financial institutions to have the right tools and information management systems that allow them to de-establish strategies to improve the placement of their loan portfolio with clients who can fulfill their agreed obligations within the established deadlines, without incurring partial or total delays; in short, minimizing your credit risk. Additionally, in order to meet the stated need, the methodological procedure is applied through programming in the R software, with which the modeling is easily replicable.*

Keywords — Statistics, Econometrics, Credit Risk, Generalized Additive Models, Commercial Credit, Credit Scoring Model.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

1 INTRODUCCIÓN

Por esencia, la actividad de una entidad financiera es la toma de riesgos, cada una de sus operaciones contiene implícita o explícitamente la incertidumbre. Desde las distintas dimensiones de su operación está expuesta a diferentes tipos de riesgo que deben ser identificados, medidos y controlados, como base para fijar las estrategias de mercadeo y especialmente de precios, que resulten en una ecuación favorable entre el riesgo asumido y la recompensa obtenida, medida como la rentabilidad neta del negocio. Esta importante relación ha hecho que en los últimos años las instituciones financieras, hayan dado un giro en su forma de gestionar el riesgo, al evolucionar de procesos empíricos a metodologías apoyadas en procesos estadísticos.

La banca pública cumple un rol fundamental en la economía del país, ya que se encuentra financiando actividades económicas que permitan el cambio de la matriz productiva del Ecuador, en tal sentido, como banca de primer piso se encuentra financiando en mayor proporción a clientes comerciales.

Actualmente, esta entidad, no cuenta con un modelo estadístico de predicción que permita evaluar la probabilidad de default de los clientes. Esto se ve reflejado en niveles importantes de morosidad y en una tendencia de crecimiento al alza relacionada.

Es importante indicar que la Institución cuenta ya con información cuantitativa y cualitativa de los créditos comerciales otorgados que puede ser empleada para la aplicación de modelos estadísticos, que permita la construcción de un modelo scoring para aprobación de créditos comerciales.

Todo modelo de calificación estadística de crédito es una formulación matemática que busca otorgar ponderaciones a las diferentes características de un prestatario, un prestamista y del préstamo en sí. El modelo desarrollado entrega una estimación de la probabilidad de que ocurra el evento esperado, generalmente denominado éxito y que para el caso del riesgo en la aprobación del crédito será la probabilidad de que sea calificado como buen cliente.

Bajo esta lógica el ser buen o mal cliente se puede modelar mediante una variable binaria, es decir que el modelo de elección asume que los individuos se enfrentan con una elección entre dos alternativas, las cuales dependen de características identificables.

Es notorio que la modelización busca encontrar el mejor conjunto de covariables Xi que expliquen a la variable endógena o dependiente. Para este tipo de requerimiento existe un método estadístico ampliamente conocido, el modelo de regresión lineal múltiple; no obstante, los supuestos de normalidad y de varianza constante (homoscedasticidad) asumidos en este modelo no son sostenibles cuando se intenta modelar una variable de elección del tipo binario.

Por su parte, los modelos lineales generalizados, GLM, por sus siglas en inglés, o unificación de los modelos de regresión lineal y no lineal salvan este problema al permitir incorporar distribuciones no normales de la variable respuesta. En este conjunto de modelos la condición requerida es que la distribución de la variable dependiente sea un miembro de la familia exponencial.

En la práctica ocurre con frecuencia que la relación del estado de default con algunas variables importantes para explicar este estado no se manifiesta de forma lineal. Esta necesidad provocó que en la década de los 80 se inicie una importante investigación para caracterizar la no linealidad de las variables explicativas en los modelos de credit scoring.

Una primera vía que intenta incorporar la no linealidad la constituyen los Modelos Aditivos Generalizados (GAM, por sus siglas en inglés) analizados por Leontief [1], Friedman y Stuetzle [2], Stone [3], Hastie y Tibshirani [4], entre otros autores. Estos modelos son extensiones de los modelos lineales generalizados (GLM) que combinan la flexibilidad de los modelos semiparamétricos de variables explicativas multidimensionales con la precisión estadística típica de una variable explicativa unidimensional. Los GAM, aparte de proporcionar eficaces reglas de predicción y clasificación, proporcionan directamente la probabilidad de default, la función de calificación correspondiente y el clasificador Bayes óptimo de acreditados y solicitantes del crédito, así como las herramientas para encontrar la importancia subyacente de las diferentes variables explicativas, lo que confiere a los modelos aditivos la habilidad de descubrir los patrones no lineales sin sacrificar

la interpretación; además, contemplan métodos estadísticos automáticos más flexibles que los métodos logísticos ordinarios.

Dos técnicas logísticas pertenecientes a la familia de los GAM son la Regresión Logística Aditiva (ALR, Additive Logistic Regression) y la Regresión Logística Aditiva Regularizada (RALR, Regularized Additive Logistic Regression). Un caso particular de RALP es la Regresión Logística Aditiva Regularizada por Splines que consiste en especificar la no linealidad a través de splines.

Se recurre a la aditividad para resolver el problema de la dimensionalidad y para conseguir un modelo más interpretable. Los modelos GAM presentan dos buenas cualidades; por un lado, que cada uno de los términos aditivos se estima usando un suavizador univariante, se mejora la dimensionalidad y, por otro lado, las estimaciones de los términos individuales explican cómo cambia la variable respuesta con las correspondientes variables explicativas del riesgo observadas sobre acreditados. Pues bien, estas cualidades son aplicables a la parte no lineal del modelo, la componente lineal las tiene garantizadas por construcción tal como lo muestran en sus análisis Müller y Härdle [5], Hérvas-Martinez [6], entre otros autores.

En el presente documento se propone la construcción de nuevos modelos de calificación estadística de créditos cuyas estructuras funcionales contemplen la posible no linealidad de las variables explicativas del riesgo de crédito en su relación con el cumplimiento de las obligaciones de pago de los acreditados.

2 METODOLOGÍAS

2.1 Modelos de probabilidad lineal

Según Novales [7], este tipo de modelos están enfocados en muestras pequeñas y con observaciones repetidas sobre un conjunto de individuos. Este modelo postula la probabilidad teórica de que un individuo de una clase (grupo) i escoja una opción de dos posibles (Yi = 1) viene dada por una función lineal de un vector de características (xi); esto se escribe:

$$P_i = P(Y_i = 1) = x_i'\beta \qquad (1)$$

Donde,

$$0 \leq x_i'\beta \leq 1, \ \forall i, \qquad (2)$$

Puesto que las probabilidades en "(1)"' están siempre en el intervalo [0,1]; el vector $ßER\hat{}k$ son los parámetros del modelo estimado por medio de regresión, considerando que no todos los vectores $ß$ son válidos, sino sólo aquellos para los cuales satisfacen la desigualdad expuesta en "(2)".

Orgler [8] fue el que inició con esta metodología utilizando el análisis de regresión en un modelo para préstamos comerciales. De igual manera, recurrió a esta técnica para construir un modelo de credit scoring para préstamos al consumo [9], tomando en cuenta variables sobre el comportamiento del cliente, clasificadas en cuatro grupos: liquidez, rentabilidad, apalancamiento y actividad.

2.2 Modelos LOGIT

Por otro lado, un modelo logit (logístico) es un modelo de elección binaria; es decir, busca explicar la elección entre dos alternativas posibles, en función de variables que caracterizan a los individuos analizados. Toma su nombre de la función de distribución logística que utiliza [7]:

$$F(z) = \frac{e^z}{1+e^z}, \quad -\infty < z < \infty \qquad (3)$$

La probabilidad de elegir una de las opciones de la variable binaria se representa de la siguiente manera:

$$p_i = P(Y_i = 1) = \frac{e^{x_i\beta}}{1+e^{x_i\beta}} \qquad (4)$$

Donde, de "(4)" se tiene que: xi: vector de características de los individuos y $ß$: vector de parámetros del modelo.

En estos modelos no es necesario tener una hipótesis de partida en cuanto a las distribuciones de las variables a ser utilizadas; por tanto, mejora la utilización de variables categóricas o continuas. Además, este modelo permite medir la probabilidad de cumplimiento al tener siempre a la variable dependiente entre cero (0) y uno (1).

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Wiginton [10] es uno de los primeros en publicar un modelo de credit scoring utilizando este modelo; realizó un estudio comparando el modelo logit con el análisis discriminante en el que se determinó que el modelo logit ofrecía un mejor porcentaje de clasificación.

Sin embargo, estos modelos tienen una debilidad importante. No incorporan la posible no linealidad de las variables explicativas del riesgo de crédito.

2.3 Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

Los modelos aditivos generalizados fueron desarrollados por Hastie y Tibshirani [4]. Estos modelos son una extensión de los modelos comunes de regresión lineal simple y regresión lineal múltiple, sin embargo, incorporan la no linealidad. Los modelos GAM están constituidos por funciones suaves de variables independientes, exógenas o predictoras, donde estas variables pueden ser continuas, discretas, nominales, ordinales o categóricas. Es así que una regresión lineal simple:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \mathcal{E} \qquad (5)$$

Donde, $ß0\ y\ ß1$ son los parámetros que se encargan de minimizar la suma de los errores cuadráticos, y serán sustituidos por el modelo GAM si se tiene variables no paramétricas.
Un modelo aditivo se encarga de sustituir en "(5)" cuando se tiene un modelo no lineal, es decir se obtiene un modelo de la siguiente forma:

$$y = b_0 + f_1(x) + \mathcal{E} \qquad (6)$$

Donde, $f1$ es una función suavizadora de variables.
Es así que el modelo no lineal generalizado con n variables y $ßn$ parámetros es el siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1(x_1) + \beta_2(x_2) + \cdots + \beta_n(x_n) + \mathcal{E} \qquad (7)$$

Donde, y: variable dependiente; xi: filas de la matriz de diseño que definen las componentes paramétricas del modelo con $iE[0,n];$: vector de errores y fj: funciones suaves de las covariables xi, con $i,j\ E[0,n]$.

Este tipo de modelo admite algunas flexibilidades en su especificación con respecto a la dependencia de y sobre las covariables, siempre y cuando se defina en términos de las funciones suaves, en lugar de las relaciones paramétricas. Sin embargo, esta flexibilidad produce dos problemas teóricos: 1) es necesario que se obtenga funciones suaves de alguna manera y 2) el nivel de suavidad de las mismas.

Para el primer problema planteado, se puede mencionar que las técnicas de estimación de las fj se basan en técnicas denominadas gráficos de dispersión suaves; como por ejemplo una función de la media, de la mediana, mínimos cuadrados, estimación tipo kernel o splines [11].

2.4 Metodología

En lo que respecta a la metodología a implementar para la construcción de un modelo de calificación estadística de aprobación de créditos y en este contexto probar las bondades de la utilización de modelos GAM frente a una tipología de modelos lineales como el Logit, se implementa el siguiente procedimiento:

1. Identificación de la base de datos:

Se identifican preliminarmente las variables y la data que podría ingresar al modelo de calificación crediticia.

2. Análisis de datos atípicos:

Se investiga los posibles valores atípicos en las variables continuas mediante el método de Tukey y se les aplica tratamiento de ser necesario.

3. Depuración de la base de datos:

Se formula criterios de depuración de la base de datos a partir del análisis del comportamiento de las unidades de analisis (individuos, empresas) y las variables.

4. Selección de una muestra de validación:

Se define un tamaño de muestra estadísticamente significativo para validar la capacidad predictiva del modelo formulado con la data restante o con la muestra de estimación.

5. Definición de la variable dependiente:

Se define la variable dependiente, misma que permitirá clasificar lo clientes de crédito en "buenos" y "malos". La matriz de atraso promedio y atraso máximo facilitará la definición de este tipo de variable.

6. Estimación de un modelo logit:

Con las definiciones anteriores se plantea y resuelve un modelo de calificación estadística de aprobación de créditos mediante la forma funcional logit. Se valida la significancia estadística de los estimadores (estadístico z); se interpreta los ratios odd para entender la relación existente entre las variables independientes y la probabilidad de ser "buenos" o "malos" clientes; se analiza el poder de asertividad del modelo, se construye tablas de puntuación para clasificar en base a la probabilidad entre clientes "buenos" o "malos" y se definen potenciales decisiones de aprobación.

7. Backtesting del modelo logit:

Se prueba el nivel de asertividad del modelo sobre la muestra de validación extraida, y se lo compara con el obtenido sobre la muestra de estimación.

8. Estimación de un modelo GAM:

Con las definiciones anteriores se plantea y resuelve un modelo de calificación estadística de aprobación de créditos mediante la forma funcional de los GAM. Se valida la significancia estadística de los estimadores (estadístico z); se analiza el poder de asertividad del modelo, se construye tablas de puntuación para clasificar en base a la probabilidad entre clientes "buenos" o "malos" y se definen potenciales decisiones de aprobación.

9. Backtesting del modelo GAM:

Se analiza las funciones de suavizamiento aplicadas a las variables continuas que ingresaron al modelo; se prueba el nivel de asertividad del modelo sobre la muestra de validación extraida, y se lo compara con el obtenido sobre la muestra de estimación; finalmente se comparan los resultados obtenidos entre la utilización de la forma funcional logit y la forma funcional GAM. Adicionalmente, cabe señalar que el procedimiento denotado se lo automatiza mediante la aplicación del software R con la finalidad de que el análisis sea replicable y pueda actualizarse fácilmente, estableciendo un esquema de sistema de información.

3 DESARROLLO METODOLÓGICO Y RESULTADOS

El presente artículo en esta sección desarrolla la metodología de construcción de un modelo de calificación estadística de aprobación de créditos aplicada a la cartera comercial de una institución financiera pública. En esta empresa se utiliza el modelo logit y el modelo GAM con la finalidad de mostrar empíricamente las bondades de la aplicación del segundo frente al primero mediante la comparación de las predicciones alcanzadas con los dos modelos [12].

3.1 Variables y datos

La base de datos obtenida consta de 51 variables organizadas en 3 grupos: variables de identificación y demográficas; variables de crédito determinadas por la institución financiera y variables financieras de cada uno de los sujetos de crédito.

Para el modelo, las variables categóricas se las utilizará transformadas en binarias y a las variables continuas se les aplicará las funciones de suavizamiento propias de los modelos GAM.

3.2 Análisis de datos atípicos

Es importante investigar los valores atípicos por cuanto pueden proporcionar información útil sobre los datos y el proceso. Frecuentemente se los identifica mediante los diagramas de caja. En los gráficos de caja, el programa estadístico R 3.5.0 usa el símbolo (°) para identificar a los valores atípicos.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

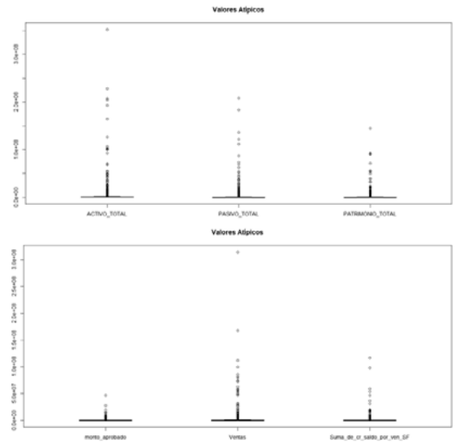


Fig. 1. Diagrama de caja de variables continuas.

En la Fig.1 se presentan las variables continuas con el mayor número de datos atípicos encontrados. Específicamente en las variables Activo y Pasivo Total se puede ver que en los valores atípicos existen valores que superan los 150 MM, aproximadamente, lo cual genera que los clientes con estos valores de activo y pasivo tengan un patrimonio superior a los 25 millones; valores de capital que corresponden a empresas grandes. De igual forma, en la variable monto aprobado, los valores que superan aproximadamente los 6 MM, corresponden a las mismas empresas con capital mayor a los 25 MM; consecuentemente sus ventas y su saldo por vencer en el sistema financiero se encuentran sobrepasando los 100 MM y 35 MM respectivamente.

El comportamiento de los datos de las variables restantes es próximo a la media y no están alejados del valor máximo de la variable, lo cual evita que puedan ser utilizados como atípicos que afecten al modelo, razón por la cual se tratará a los atípicos incluyéndolos en el diagrama de cajas para no ser imputados y no perder información valiosa.

Una vez analizados los datos atípicos de las variables numéricas de la muestra correspondiente a 1429 datos, se procede a tratar los datos de tal manera que no se imputen de la base a menos que sea necesario o con justificación razonable.

El método que se utiliza para el tratamiento de los datos atípicos es el método del Test de Tukey, el cual toma como referencia la diferencia entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3), o rango intercuartílico (IQR). En un diagrama de caja se considera un valor atípico leve a aquel que cumple las siguientes desigualdades:

$$q < Q_1 - 1.5IQR, \;\; o \;\; q > Q_3 + 1.5IQR \qquad (8)$$

Se considera un valor atípico extremo a aquel que cumple las siguientes desigualdades:

$$q < Q_1 - 3IQR, \;\; o \;\; q > Q_3 + 3IQR \qquad (9)$$

A continuación, se aplica el método de Tukey a las variables continuas con el mayor número de datos atípicos presentadas en la Fig.1. Las referidas variables son: Activo Total, Pasivo Total, Patrimonio Total, Monto total, Ventas y Suma de créditos de saldos por vencer en el Sistema Financiero.

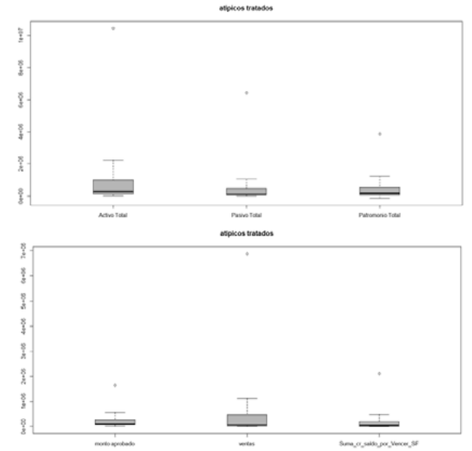


Fig. 2. Diagrama de caja de variables continuas (tratadas).

En la Fig. 2 se puede ver que los valores atípicos han sido ajustados, de tal manera que podrán ser tomados en cuenta para determinar una buena clasificación entre clientes buenos y malos. Adicionalmente, cabe mencionar que los valores atípicos leves no se eliminaron.

3.3 Depuración de la base de datos

A pesar del primer filtro aplicado en los datos, fue necesario realizar una depuración adicional de los datos ya que se identificaron puntos muy altos o muy bajos para algunas variables. Los criterios de depuración son los siguientes:

- Clientes con Patrimonio mayor a USD 25 MM. Estos clientes tienen un comportamiento corporativo,

diferente al que tienen las PYMES (la mayoría de los clientes de la base). Deberían ser evaluados a través de reglas de negocio o de manera personalizada.

- Clientes con Patrimonio menor a USD 92000. Este tipo de clientes son pequeños y muchas veces no tienen un sistema adecuado de contabilidad y dificulta su análisis.
- Clientes del segmento Transporte. Estos clientes, en general, no llevan información contable y por tanto los indicadores medidos para este modelo no son exactos o son inexistente.

Para determinar los puntos de corte enunciados en los párrafos anteriores, se determinaron los deciles de las variables en análisis (principalmente patrimonio) y se eliminaron los deciles 1 y 10.

Hay que tomar en cuenta que los datos que se proceden a eliminar según los criterios expuestos no son necesariamente considerados atípicos, sin embargo, serán eliminados por un criterio experto y de manejo de información.

Finalmente, el número de registros que formarán parte del proceso de modelamiento con 912, los cuales se dividirán en dos grupos, uno de modelamiento y otro de validación. Ver Fig. 3.

Dentro del análisis de las variables se identificaron aquellas que no tienen dependencia lineal. Los análisis descriptivos de las variables continuas y el análisis de las variables categóricas a través de árboles de decisión para determinar los cortes adecuados para las categorías.

		SALDO
Base original		1,429
Capital mayor a 30 MM	-28	1,401
Capital menor a 92 M	-131	1,270
Transportes	-358	**912**
Total		**912**

Fig. 3. Detalle descreme de los datos.

3.4 Selección de la muestra de validación

Se define el tamaño de la muestra de validación según la fórmula basada en la distribución binomial con la finalidad de que la misma sea representativa con respecto a la totalidad de los datos. La referida fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{N*z_\alpha^2*p*q}{e^2*(N-1)+z_\alpha^2*p*q} \qquad (10)$$

Donde N = 912 (tamaño de la población); z_α = 1,95996398 (valor crítico de la distribución normal estándar al 95% de confianza); e = 0,03 (error muestral); p = 0,3310007 (probabilidad de éxito basada en la morosidad de la base); q = 0,6689993 (probabilidad de fracaso).

Con las consideración expuestas el tamaño de la muestra de validación es de 377. Con ello, la base para la estimación del modelo contará con 535 registros mientras que la base para la validación o testeo del modelo contará con 377 registros.

3.5 Definición de la variable dependiente

Para la estimación de un modelo de calificación crediticia se requiere la definición de la variable dependiente, con la cual se clasifican los clientes en "buenos y malos".

Cuando se definen de malos clientes se busca describir al conjunto de clientes de la institución (o las cuentas), que dado su historial no se les desea seleccionar para su actividad intermediadora. La definición de bueno o malo se basará en el comportamiento de pago de los clientes captadas en variables como las siguientes: mora máxima histórica, mora promedio, contadores de mora (número de veces que ha caído en mora o reincidencia).

Es evidente que esta definición dependen de la particularidad de cada entidad y de su nivel de aversión al riesgo. En el caso de contar con varios productos financieros la definición de bueno y malo se lo realiza para para cada uno de los mismos ya los productos financieros no se comportan de manera homogénea y sus características pueden influir en el comportamiento de pago de los clientes.

Una técnica sencilla para definir la variable dependiente de clientes buenos y malos es la matriz de atraso promedio y atraso máximo que consiste en listar en las filas los rangos de la variable atraso máximo y en las columnas los rangos de la variable atraso medio.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Mora máxima \ Mora Promedio	0 hasta 15 días	16 hasta 30 días	31 hasta 90 días	91 hasta 120 días	121 hasta 180 días	181 hasta 360 días	> 360 días	Total:
0 hasta 15 días	522							522
16 hasta 30 días	205	2						207
31 hasta 90 días	249	74	16					339
91 hasta 120 días	19	37	44					100
121 hasta 180 días	5	16	35	1				57
181 hasta 360 días		8	89	19	16	2		134
> 360 días			3	5	18	29	15	70
Total:	1000	137	187	25	34	31	15	1429

Fig. 4. Matriz de clientes según mora promedio y mora máxima.

En las celdas de la matriz se van situando los clientes distribuidos según la combinación de filas y columnas, conforme se muestra en la Fig.4. Cabe recalcar que para esta definición se tomaron todos los casos, incluyendo los valores altos en patrimonio, con el fin de no eliminar datos que posteriormente pueden resultar valiosos.

Para el caso que aborda el presente artículo, considerando los datos históricos de las variables mora máxima y mora promedio en el período noviembre 2015 - noviembre 2017, se define como clientes malos aquellos que tienen una mora máxima y promedio mayor a 120 días, el cual coincide con la política para que una operación de crédito sea declarada de plazo vencido e iniciar el proceso de recuperación coactivo para la cartera comercial. Adicionalmente, se ha considerado que los clientes que presentan operaciones de crédito en situación de novación, refinanciamiento o reestructura también serán consideradas como clientes malos ya que usualmente son clientes mal analizados en el proceso de concesión.

Conforme lo expuesto la base de registros considera 956 clientes buenos y 473 malos. Sin embargo, al realizar la depuración descrita en los ítems anteriores, la base final de análisis está conformada por 628 clientes buenos y 284 clientes malos (912 registros o clientes).

3.6 Estimación de un modelo logit

Para la estimación del modelo logit se consideró la variable dependiente descrita anteriormente. Es decir, toma el valor 1 cuando un cliente es malo (más de 120 días de mora) y el valor 0, cuando un cliente es bueno. Como variables independientes se incluyeron las variables disponibles que no presentan dependencia lineal.

Para la estimación del modelo logit se utiliza el software R en su versión 3.5.0. El modelo resultante es el siguiente luego de varias pruebas. Ver Fig. 5.

```
Coefficients:
                                 Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)                    -1.849e+00  6.341e-01  -2.916 0.003547 **
MORA_MAX                        3.050e-02  3.238e-03   9.419  < 2e-16 ***
con_gracia_capital1            -2.452e+00  3.615e-01  -6.784 1.17e-11 ***
plazo_hasta_5a1                 1.332e+00  3.963e-01   3.362 0.000774 ***
num_operac_SF                  -3.108e-01  8.663e-02  -3.587 0.000334 ***
ACTIVO_TOTAL                    2.663e-07  1.153e-07   2.310 0.020862 *
PASIVO_TOTAL                   -4.958e-07  2.233e-07  -2.220 0.026432 *
Rentabilidad_sobre_patrimonio  -1.044e+00  5.073e-01  -2.058 0.039610 *
Garantia_prendaria1            -1.082e+00  3.495e-01  -3.097 0.001957 **
credito_activo_fijo1            1.363e+00  3.764e-01   3.622 0.000292 ***

Null deviance: 665.84  on 534  degrees of freedom
Residual deviance: 329.78  on 524  degrees of freedom
AIC: 351.78

        Adjusted Jarque-Bera test for normality

AJB = 155.88, p-value < 2.2e-16
```

Fig. 5. Modelo logit para los clientes de una cartera comercial.

De manera general, se puede observar que todos los coeficientes de las variables independientes incluidas en el modelo logit son significativos al 95% de confianza, es decir a nivel de cada coeficiente se rechaza la hipótesis nula de que cada coeficiente es igual a 0.

Adicionalmente, se debe considerar que el modelo logit no requiere un supuesto de distribución para los residuos, es decir, no necesita que estos estén distribuidos normalmente. Tampoco se requiere la homocedasticidad.

En este tipo modelo la interpretación de los coeficientes se la realiza mediante los denominados odds ratios asociados. Ver Fig. 6.

	Beta	Exp	Odd ratio
(Intercept)	-1.849	0.16	6.35
MORA_MAX	0.0305	1.03	1.03
con_gracia_capital1	-2.452	0.09	11.61
plazo_hasta_5a1	1.332	3.79	3.79
num_operac_SF	-0.3108	0.73	1.36
ACTIVO_TOTAL	2.663E-07	1.00	1.00
PASIVO_TOTAL	-4.958E-07	1.00	1.00
Rentabilidad_sobre_patrimonio	-1.044	0.35	2.84
Garantia_prendaria1	-1.082	0.34	2.95
credito_activo_fijo1	1.363	3.91	3.91
OFICINA_ARROL1	1.348	3.85	3.85

Fig. 6. Odds ratios asociados al modelo logit para los clientes de una cartera comercial.

Particularmente, para el modelo logit estimado los odds ratios se interpretan de la siguiente manera:

Particularmente, para el modelo logit estimado los odds ratios se interpretan de la siguiente manera:

- A medida que aumente un día de mora en el sistema financiero, el cliente aumenta 1,03 veces la probabilidad de convertirse en un mal pagador.
- Aquellos clientes que no cuentan con gracia de capital, incrementan su probabilidad de ser mal pagadores en 11,6 veces.
- Si un cliente tiene un plazo de operación de crédito de hasta 5 años tiene una probabilidad de ser mal cliente de 3,79 veces la de un cliente que no tiene un plazo para su crédito de hasta 5 años.
- A medida que un cliente aumenta en una unidad el número de sus operaciones de crédito en el sistema financiero, su probabilidad de ser mal cliente disminuye en comparación a los clientes con un menor número de operaciones.
- Si el cliente aumenta en una unidad su rentabilidad sobre el patrimonio, su probabilidad de ser moroso disminuye a diferencia de los clientes cuya rentabilidad sobre el patrimonio no aumenta; es decir la capacidad que tiene la empresa de remunerar a sus accionistas no aumenta, entonces la probabilidad de ser un mal cliente aumenta 2,84 veces más que si aumentara su rentabilidad sobre el patrimonio.
- Los clientes que no proporcionan una garantía prendaria, cuando solicitan un crédito tienen una probabilidad de ser malos clientes 2,95 veces mayor que la de quienes sí proporcionan una garantía prendaria.
- Si el cliente solicita un crédito para la adquisición de un activo fijo, aumenta la probabilidad de ser un mal cliente en 3,91 veces con respecto a quién solicita un crédito para capital de trabajo.
- Si el cliente pertenece a las ciudades de Esmeraldas, Quito, Ambato, Guayaquil, Ibarra y Manta, aumenta la probabilidad de ser un cliente malo en 3,85 veces con respecto a la de un cliente que no se encuentra en las ciudades mencionadas.

Por otra parte, los resultados de este modelo logit son bastante buenos. Se tiene un nivel de acierto del 87,5%, es decir, fueron clasificados correctamente 468 clientes de un total de 535. El detalle se presenta en la Fig. 7.

Dependiente	Real		Total	%Ajuste
	0	1		
0	345	22	367	88%
1	45	123	168	85%
Total	390	145	535	87.5%

Fig. 7. Tabla de clasificación del modelo Logit.

Así también, la tabla de puntuaciones del modelo logit formulado y su correspondiente gráfico que se presentan en la Fig. 8 indican que el punto de corte del modelo se encuentra alrededor del 70%.

Probabilidad	%Bueno	%Malo
(0,00; 0,0377]	43.05%	1.19%
(0,0377;0,0926]	13.35%	2.98%
(0,0926;0,1321]	12.53%	4.76%
(0,1321;0,1481]	12.53%	4.17%
(0,1481;0,3019]	10.08%	9.52%
(0,3019;0,5926]	5.99%	19.05%
(0,5926;0,8519]	2.18%	27.38%
(0,8519;1]	0.27%	30.95%

Fig. 8. Tabla y gráfico de punuaciones del modelo Logit..

Finalmente, a partir de los resultados analizados se puede construir una tabla de decisión segmentada en 5 niveles de acuerdo a las probabilidades obtenidas a partir del modelo logit Fig. 9.

Nivel	Probabilidad	% Buenos	% Malos	Decisión	
1	(0,00 - 0,0377)	43,05%	1,19%	Apobación	Directa
2	(0,0377 - 0,0926)	13,33%	2,99%	Apobación	Comité grado 1
3	(0,0926 - 0,3019)	35,15%	18,45%	Análisis	Comité grado 2
4	(0,3019 - 0,5926)	5,99%	19,05%	Rechazo	Directa
5	(0,5926 - 1)	2,45%	58,33%	Rechazo	Directa

Fig. 9. Tabla de segmentación de clientes a partir del modelo logit.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

A partir de esta se pueden definir los siguientes lineamientos:

- Aprobar directamente a los clientes con una puntuación de hasta 0,0926 ya que estos representan más del 56,4% del total y apenas contienen el 4,17\% de todos clientes malos.
- A los clientes con una puntuación entre 0,09261 hasta 0,3019 analizarlos exhaustivamente ya que representan cerca del 35% del total y contienen más del 18% de malos.
- Rechazar directamente a los clientes con una puntuación mayor a 0,3019 ya que son el 8,4% del total y concentran cerca del 77,4% de los malos.

De forma asociada a los lineamientos planteados previamente, la entidad financiera puede establecer niveles de aprobación de clientes de acuerdo a su perfil de riesgo. Por ejemplo:

- En el segmento 1 se recomienda la aprobación directa de clientes con la autorización del Gerente de Sucursal.
- En el segmento 2 se recomienda la aprobación de clientes mediante la intervención de un comité de Grado 1.
- En el segmento 3 se recomienda la aprobación de clientes mediante la intervención de un comité de grado 2, cuyos miembros tienen mayor experiencia en el análisis.
- En los segmentos 4 y 5 los clientes son rechazados automáticamente.

3.7 Backtesting del modelo logit

Los resultados del backtesting del modelo logit aplicado a la muestra de validación, se visualizan en la Fig. 10.

Dependiente	Real		Total	%Ajuste
	0	1		
0	241	20	261	87.3%
1	35	81	116	80.2%
Total	276	101	377	85.4%

Fig. 10. Rendimiento del modelo logit para la muestra de validación.abla de segmentación de clientes a partir del modelo logit.

Se puede observar que el porcentaje de acierto del modelo en la muestra de validación con respecto a la obtenida en la muestra de modelamiento disminuye en 2,1 puntos porcentuales en la clasificación general. Sin embargo, la diferencia es pequeña y no se puede concluir que las dos clasificaciones son completamente diferentes ya que se encuentran dentro de un margen de error aceptable.

Es decir, el modelo logit es adecuado en la asignación de una puntuación de crédito para la cartera comercial de la institución financiera pública.

3.8 Estimación de un modelo GAM

La estimación del modelo GAM se lo realiza mediante el software R 3.5.0 y se procede de manera similar al modelo logit, en cuanto a la definición de la variable dependiente.

Sin embargo, para la estimación del modelo GAM se toman las variables continuas como variables a "suavizar"; por tanto, se aplicará las funciones de suavizamiento correspondientes. Particularmente se utilizarán funciones de suavizamiento tipo splines cúbicos.

Las librerías de R utilizadas para este modelamiento son:

- mgcv: Es una librería creada para modelar GAM mixtos en la que se corrige la incertidumbre del parámetro suavizado.
- nlme: Este método calcula la función de autocorrelación empírica para los residuos de un ajuste por mínimos cuadrados generalizados.

En primera instancia cabe mencionar que se consideran todas las variables independientes para realizar el modelamiento, utilizando las funciones de aplicación de la familia binomial y con función de enlace el dado por una logit para todas aquellas continuas.
El modelo GAM estimado es el siguiente:

```
Parametric coefficients:
                                Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)                    1.849e+00  6.341e-01   2.916 0.003547 **
MORA_MAX                       3.050e-02  3.238e-03   9.419  < 2e-16 ***
con_gracia_capital1            2.452e+00  3.615e-01   6.784 1.17e-11 ***
plazo_hasta_5a1                1.332e+00  3.963e-01   3.362 0.000774 ***
num_operac_SF                 -3.108e-01  8.663e-02  -3.587 0.000334 ***
ACTIVO_TOTAL                   2.663e-07  1.153e-07   2.310 0.020862 *
PASIVO_TOTAL                  -4.958e-07  2.233e-07  -2.220 0.026432 *
Rentabilidad_sobre_patrimonio -1.044e+00  5.073e-01  -2.058 0.039610 *
Garantia_prendarial           -1.082e+00  3.495e-01  -3.097 0.001957 **
credito_activo_fijo1           1.363e+00  3.764e-01   3.622 0.000292 ***
OFICINA_ARBOL1                 1.348e+00  4.398e-01   3.064 0.002182 **

R-sq.(adj) =  0.553   Deviance explained = 50.5%
-REML =  203.1  Scale est. = 1         n = 535
```

```
Approximate significance of smooth terms:
                                edf Ref.df Chi.sq  p-value
s(MORA_MAX)                   3.613      9  43.490 2.99e-10 ***
s(num_operac_SF)              2.247      9  13.878 0.000372 ***
s(Rentabilidad_sobre_patrimonio) 1.676   9   5.804 0.024074 *

R-sq.(adj) =  0.599   Deviance explained = 56.6%
-REML = 190.61  Scale est. = 1         n = 535

Adjusted Jarque-Bera test for normality
AJB = 250.45, p-value < 2.2e-16
```

Fig. 11. Estimación modelo GAM con familia binomial y función de enlace logit para la cartera comercial de una entidad financiera pública.

En la Fig. 11 se puede observar que todos los coeficientes del modelo GAM son estadísticamente significativos al 95% de confianza, es decir se rechaza la hipótesis nula de que los coeficientes a nivel individual son diferentes de 0.

En lo que respecta a los residuos, para el caso del modelo GAM no se tiene un supuesto de distribución para los mismos; sin embargo, se procura que los mismos no se distribuyan según patrones.

Es importante mencionar que en el modelo GAM no es factible interpretar los coeficientes como en el caso del logit, en vitud de que los mismos son coeficientes de una forma funcional.

Por otra parte, los resultados de este modelo GAM son muy buenos, se tiene un nivel de acierto del 88,6%, es decir, fueron clasificados correctamente 474 clientes de un total de 535. El detalle se presenta en la Fig. 12.

Dependiente	Real		Total	%Ajuste
	0	1		
0	350	17	367	88.8%
1	44	124	168	87.9%
Total	394	141	535	88.6%

Fig. 12. Tabla de clasificación del modelo GAM.

Probabilidad	% Buenos	% Malos
(0.00; 0.0189]	43.32%	0.60%
(0.0189; 0.0556]	13.62%	2.38%
(0.0556; 0.0741]	13.90%	1.79%
(0.0741; 0.2075]	11.44%	6.55%
(0.2075; 0.3208]	9.81%	10.12%
(0.3208; 0.537]	6.81%	17.26%
(0.537; 0.9259]	1.09%	29.76%
(0.9259;1]	0.00%	31.55%

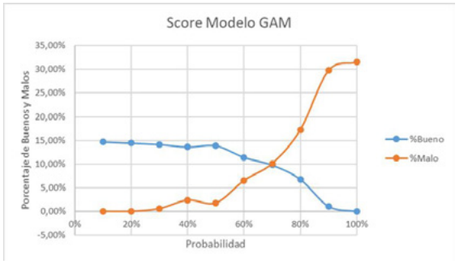


Fig. 13. Tabla y gráfico de puntuaciones del modelo GAM.

Así también, la tabla puntuaciones de este modelo GAM y su correspondiente gráfico que se presentan en la Fig. 13 indican que el punto de corte del modelo se encuentra alrededor del 70%.

Nivel	Probabilidad	% Buenos	% Malos	Decisión	
1	(0,00 - 0,0189)	43,32%	0,60%	Apobación	Directa
2	(0,0189 - 0,0741)	27,52%	4,17%	Apobación	Comité grado 1
3	(0,0741 - 0,3208)	21,25%	16,67%	Análisis	Comité grado 2
4	(0,3208 - 0,537)	6,81%	17,26%	Rechazo	Directa
5	(0,537 - 1)	1,09%	61,31%	Rechazo	Directa

Fig. 14. Tabla de segmentación de clientes a partir del modelo GAM.

Finalmente, a partir de los resultados analizados se puede construir una tabla de decisión segmentada en 5 niveles de acuerdo a las probabilidades obtenidas a partir del modelo GAM Fig. 14. A partir de esta se pueden definir los siguientes lineamientos:

- Aprobar directamente a los clientes con una puntuación de hasta 0,0741 ya que estos representan más del 70,8% del total y apenas contienen el 4,77% de todos clientes malos.
- A los clientes con una puntuación de entre 0,0741 hasta 0,3208 analizarlos exhaustivamente ya que representan cerca del 21,3% del total y contienen el 16,7% de malos.
- Rechazar directamente a los clientes con una puntuación mayor al 0,3208 ya que son cerca del 8% del total y concentran cerca del 79% de los malos.

De forma asociada a los lineamientos planteados previamente, la entidad financiera puede establecer niveles de aprobación de clientes de acuerdo a su perfil de riesgo. Por ejemplo:

- En el segmento 1 se recomienda la aprobación directa de clientes con la autorización del Gerente de Sucursal.
- En el segmento 2 se recomienda la aprobación de clientes mediante la intervención de un comité de Grado 1.
- En el segmento 3 se recomienda la aprobación de clientes mediante la intervención de un comité de grado 2, cuyos miembros tienen mayor experiencia en el análisis.
- En los segmentos 4 y 5 los clientes son rechazados automáticamente.

3.8 Backtesting del modelo GAM

Los resultados del backtesting del modelo logit aplicado a la muestra de validación, se visualizan en la Fig. 10.

A. ***Funciones de suavizamiento aplicadas:*** validación del modelo GAM inicia con la presentación de las funciones de suavizamiento aplicadas a las variables continuas que ingresaron al modelo.
La función de suavizamiento para la variable mora máxima en el sistema financiero toma un comportamiento cúbico, dado que los datos se abren ligeramente para tomar todos los casos. En otras palabras, la probabilidad de que un cliente se vuelva mal pagador en el rango de 200 a 600 días de mora se incrementa. Además entre más días de mora tenga un cliente la posibilidad de categorizarlo como buen o mal pagador es más incierta debido a que ingresa en una zona de incertidumbre conforme se visualiza en la Fig. 15.

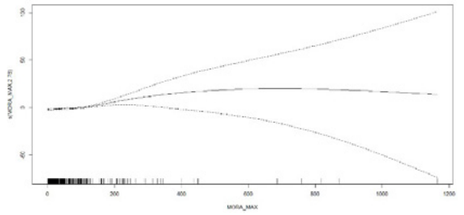


Fig. 15. Función de suavizamiento para la variable mora máxima en el sistema financiero.

La función de suavizamiento para la variable numero de operaciones de crédito en el sistema financiero toma un comportamiento cuadrático, situación que permite que los datos sean modelados de mejor manera, dejando de lado el sesgo lineal que consideran los modelos tradicionales Fig. 16.

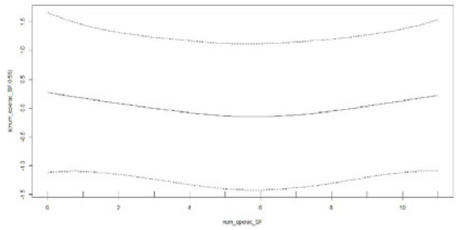


Fig. 16. Función de suavizamiento para la variable número de operaciones de crédito en el sistema financiero.

En lo que atañe a la función de suavizamiento para la variable rentabilidad sobre el patrimonio se observa que la probabilidad de ser un mal pagador aumenta cuando su rentabilidad sobre patrimonio está en el intervalo de [-5, 0[, y mientras aumenta la rentabilidad sobre patrimonio a partir de 0, la probabilidad de convertirse en mal pagador disminuye Fig. 17.

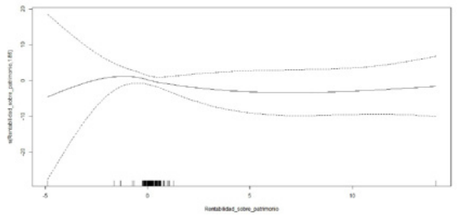


Fig. 17. Función de suavizamiento para la variable rentabilidad sobre el patrimonio.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

*B. **Capacidad predictiva del modelo GAM:*** Una de las medidas que permite validar un modelo de calificación crediticia es el poder discriminante del mismo [13]. Esta medida se define como la capacidad del modelo para separar a las poblaciones objeto de estudio. Este concepto aplicado al modelo GAM elaborado se traduce en la capacidad del mismo para clasificar a los clientes que forman parte de la cartera comercial de la entidad financiera considerada entre buenos y malos.

Es así que a partir de la distribución de probabilidades de los clientes de la muestra de validación (fitted values) se clasifica a los clientes entre buenos y malos. Si los valores de probabilidad son bajos estos se clasifican como "Buenos" (valor 0 en la variable dependiente) y si los valores de probabilidad son altos estos se clasifican como "Malos" (valor 1 en la variable dependiente); siendo el punto de corte para la segmentación una probabilidad de 0.5 Fig. 18.

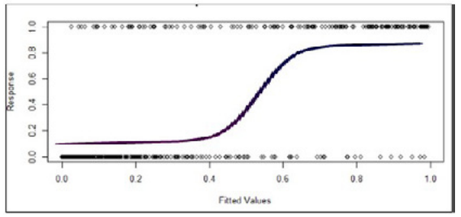


Fig. 18. Poder de predicción del modelo GAM en la muestra de validación.

Los resultados obtenidos con el modelo GAM en la muestra de validación Fig. 19 presentan un nivel de acierto del 86,2% en la clasificación adecuada de clientes buenos y malos. Este nivel se ubica por debajo del constatado en la muestra de modelamiento en 2 puntos porcentuales. Sin embargo, la diferencia constatada es pequeña con lo cual no se puede concluir que el poder de clasificación del modelo en las dos muestras es diferente, con lo cual el modelo GAM propuesto puede ser adecuado para los datos de cartera comercial para la institución financiera.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

Dependiente	Real		Total	%Ajuste
	0	1		
0	245	16	261	87.2%
1	36	80	116	83.3%
Total	281	96	377	86.2%

Fig. 18. Poder de predicción del modelo GAM en la muestra de validación.

Por otra parte, cabe mencionar que el poder de predicción del modelo GAM obtenido es ligeramente superior (mejor en 1 punto porcentual) en cuanto al nivel de acierto en la discriminación de buenos y malos clientes, que el obtenido a partir del modelo logit. Sin embargo, la diferencia en cuanto a poder de predicción entre los dos modelos no es lo suficientemente amplia para concluir categóricamente que el modelo GAM es "mejor" que el logit o un modelo tradicional lineal. Es relevante señalar que este resultado cercano puede también deberse a las variables y cantidad de información disponibles para la estimación.

Finalmente, cabe resaltar que la importancia de utilizar el modelo GAM para el caso del presente artículo radica en que las variables: mora_max, número de operaciones en el sistema financiero y rentabilidad sobre el patrimonio, necesitaban ser tratadas como no lineales para ingresar a un modelo. Lo expuesto es un argumento suficiente para preferir la utilización de un modelo GAM frente a un logit o un tradicional lineal.

5 CONCLUSIONES

En el presente artículo se desarrolló la metodología de construcción de un modelo de calificación estadística de aprobación de créditos aplicada a la cartera comercial de una institución financiera pública. En esta empresa se utilizó el modelo logit y el modelo GAM para establecer una comparación empírica de modelo. Finalmente, se determinó que el modelo GAM pronostica de mejor manera frente al logit (aunque la diferencia fue mínima).

Una de las ventajas constatadas en la utilización del modelo GAM fue la incorporación de la función de suavizamiento para el tratamiento de las variables contínuas que no presentaron un comportamiento lineal (mora_max, número de operaciones en el sistema financiero y rentabilidad sobre el patrimonio).

Los resultados del modelo GAM ratificaron cierto conocimiento empírico adquirido por la entidad en cuanto a la relevancia de ciertas variables en el análisis de crédito:

- Clientes objetos de período de gracia en el repago de capital: tienen menos probabilidad de ser clientes que presenten mora en sus pagos.
- Clientes que presentaron garantía prendaria: Quienes tienen garantías reales presentan menos mora.
- Días de mora en el sistema financiero: Si un cliente ya es moroso en otras instituciones, existe una alta probabilidad de que también sea moroso en la institución.
- Ciudades con más mora: Esmeraldas, Quito, Ambato, Guayaquil, Ibarra y Manta.
- Ciudades con menos mora: Machala, Loja, Riobamba y Cuenca tienen menos mora.

La segmentación de clientes obtenida a partir de la probabilidad de los clientes de ser buenos y malos permite establecer lineamientos racionales de aprobación de créditos los cuales permiten optimizar costos y tiempo. Actualmente, el tiempo que toma el análisis de una operación de crédito comercial regular desde su ingreso hasta su aprobación es en promedio de un mes y medio. La adopción de los lineamientos de aprobación resultantes de la aplicación del modelo de calificación estadística de créditos desarrollado permiten optimizar costos al rechazar a clientes con alta probabilidad de ser malos y al aceptar a clientes AAA de forma automática sin recurrir al tiempo regular de análisis de la operación de crédito comercial. En virtud de lo anterior, este tipo de modelos aportan de forma relevante a la toma de decisiones de la administración de crédito de una entidad financiera.

El modelo GAM desarrollado en el presente artículo se constituye en el primero de la institución financiera pública considerada y puede consolidarse en un criterio técnico para el otorgamiento de créditos a sus clientes. Adicionalmente, es importante señalar que el modelamiento pertinente se realizó con programación en el software R, con lo cual puede ser fácilmente replicado y utilizado por la institución.

La data utilizada para el modelamiento realizado apenas recoge la información de dos años. Esta situación se constituye en un elemento perfectible en la medida en la que se mejore la cultura de registro, almacenamiento y procesamiento de información por parte de la institución.

Así también, en virtud de que la entidad financiera mantiene un portafolio de créditos comerciales muy diverso en cuanto a las condiciones de cada operación (destino, plazo, periodos de gracia de capital e interés) se recomienda que de forma anual se implemente un proceso de validación y ajuste del modelo. Finalmente, cabe señalar que para el modelo GAM estimado en este artículo se consideraron los splines cúbicos como funciones suavizantes de las variables continuas; sin embargo, se recomienda que para futuros modelos se contemple otras funciones.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

REFERENCIAS

[1] W. Leontief, “Introduction to a theory of the internal structure of functional relationships Econometrica,” Journal of the Econometric Society, pp. 361-373, 1947.

[2] J. Friedman and W. Stuetzle, “Projection pursuit regression,” Journal of the American statistical Association, vol. 76, no. 376, pp. 817-823, 1981.

[3] C. Stone and C. Koo, “Additive splines in statistics,” Proceedings of the American Statistical Association, vol. 45, pp. 48, 1985.

[4] T. Hastie and R. Tibshirani, “Exploring the nature of covariate effects in the proportional hazards model,” Biometrics, pp. 1005-1016, 1990.

[5] M. Müller and W. Härdle, “Exploring credit data,” in Credit Risk, Physica-Verlag HD, pp. 157-173, 2003.

[6] C. Hervás and F. Martínez, “Logistic regression using covariates obtained by product-unit neural network models,” Pattern Recognition, vol. 40, no. 1, pp. 52-64, 2007.

[7] A. Novales, Econometría, 2th ed., Madrid: McGraw-Hill, 1988.

[8] Y. Orgler, “A credit scoring model for commercial loans,” Journal of money, credit and banking, vol. 2, no. 4, pp. 435-445, 1970.

[9] Y. Orgler, “Evaluation of bank consumer loans with credit scoring models,” Tel-Aviv University, Department of Envirnonmental Sciences, 1971.

[10] J. Wiginton, “A note on the comparison of logit and discriminant models of consumer credit behavior,” Journal of Financial and Quantitative Analysis, vol. 15, no. 3, pp. 757-770, 1980.

[11] T. Hastie and R. Tibshirani, Generalized Linear Models (with Discussion), Statistical Science, vol. 1, no. 3, pp. 297-318, 1986.

[12] N. Garrido, “Construcción de un modelo scoring de aprobación para cartera comercial de una institución financiera pública mediante modelos aditivos generalizados,” Master Thesis, Quito, Ecuador, 2019.

[13] E. Steyerberg and F. Harrell, “Internal validation of predictive models: efficiency of some procedures for logistic regression analysis,” Journal of clinical epidemiology, vol. 54, no. 8, pp. 774-781, 2001.

AUTORES

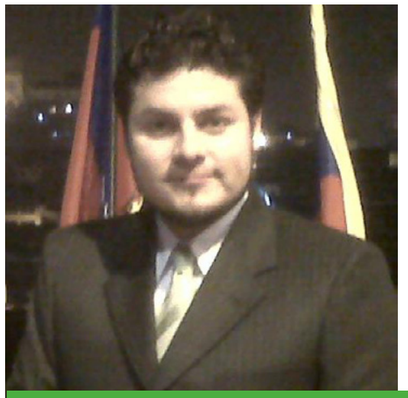
MIGUEL ALFONSO FLORES SÁNCHEZ.

Ingeniero en Estadística Informática por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Magister en Investigación Operativa con mención en Sistemas Logísticos y de Transporte por la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ph.D. en Estadística e Investigación de Operaciones y Máster en Técnicas Estadísticas por la Universidad de La Coruña. Posee más de 20 años de experiencia en Educación y Formación profesional superior, universitaria y empresarial en el campo de la Statistics & Machine Learning aplicado a los negocios e industrias. Además, posee experiencia profesional de más de 15 años en consultorías para los sectores: Público, Privado y ONG's. En el ámbito de la academia, actualmente trabaja en la Escuela Politécnica Nacional en el Departamento de Matemática con el cargo de Profesor Titular de la cátedra Probabilidad y Estadística. Es miembro del Grupo de Investigación Multidisciplinar en Sistemas de Información, Gestión de la Tecnología e Innovación (SIGTI) de la Escuela Politécnica Nacional y del Grupo de Modelización, Optimización e Inferencia Estadística (MODES) de la Universidad de La Coruña.

NANCY VERÓNICA GARRIDO LOZA.

Ingeniera en Ciencias Económicas y Financieras. Magister en Estadística Aplicada de la Escuela Politécnica Nacional. Se ha desempeñado como Especialista y Subgerente de Riesgos de Liquidez, Crédito y Operativo en la Corporación Financiera Nacional. Consultor Financiero y Estadístico Independiente y Gerente – Propietaria de la Constructora LG.

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC



LUIS FELIPE GUEVARA URQUIZO.

Economista por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Magister en Estadística Aplicada por la Escuela Politécnica Nacional. Diplomado en Finanzas Públicas por la Universidad Técnica Particular de Loja. Profesional con más de 12 años de experiencia desempeñando cargos de responsabilidad en el sector público y privado. Director de Riesgo de Crédito, Director de Riesgo Operativo y Jefe de Estudios y Análisis de Mercado en el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS); Subsecretario de Hábitat y Asentamientos Humanos y Asesor Ministerial en el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Analista económico-financiero en el Banco del Estado (BdE); Responsable de la Unidad de Análisis de Información y Riesgos en el Programa de Microfinanzas de INSOTEC. Adicionalmente, posee experiencia como instructor y capacitador en las temáticas de: estadística aplicada, análisis del entorno macroeconómico y financiero, medición de riesgo financiero y economía urbana.

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

Published by

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ecuador

https://lajc.epn.edu.ec/
lajc@epn.edu.ec

Junio de 2020

ISSN: 1390 -9266 – 2020 LAJC

IAIC

Vol VII, Issue 1, June 2020

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

QUITO - ECUADOR

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

Vol VII, Issue 1, June 2020