

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



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL



VOLUME 9, ISSUE 1
JANUARY 2022
ISSN: 1390-9266
e-ISSN:1390-9134

EDITOR IN CHIEF

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

LAJC LATIN-AMERICAN
JOURNAL OF
COMPUTING

LJJC

Vol IX, Issue 1, January 2022



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

MISIÓN

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

VISIÓN

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

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

ACCIÓN AFIRMATIVA

La Escuela Politécnica Nacional es una institución laica y democrática, que 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 DE
SISTEMAS**

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

MISIÓN

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



Vol IX, Issue 1, January 2022

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

Published by

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Ecuador

Editor in Chief

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

Editorial Committee

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

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

Co-Editors

Carlos Iñiguez, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
carlos.iniguez@epn.edu.ec
Iván Carrera, PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
ivan.carrera@epn.edu.ec

Andrés Larco. PhD (c).
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
andres.larco@epn.edu.ec

Assistant Editors

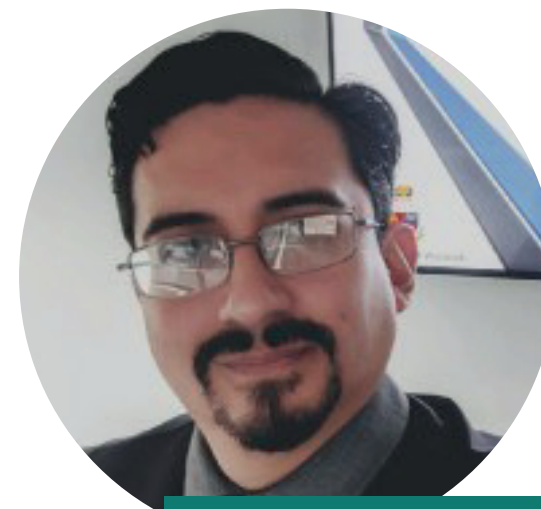
Ing. Yadira Quinchiguango
OJS Platform Manager
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
yadira.quinchiguango@epn.edu.ec
Ing. Jorge Miño
Technical Support
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
jorge.mino@epn.edu.ec

Ing. Gabriela Quiguango
Communications Manager
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
jenny.quiguango@epn.edu.ec

Proofreader

María Eufemia Torres, MSc.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
maria.torres@epn.edu.ec

EDITORIAL



Denys A.
Flores. PhD.

Editor in Chief

Escuela Politécnica Nacional,
Ecuador

Hacia la búsqueda de oportunidades en un mundo de adversidad.

Desde los inicios de esta Revista, hemos brindado un espacio para la difusión científica sin barreras, garantizando el acceso abierto y el derecho al libre pensamiento de nuestros autores y lectores. Creemos que este principio ha tomado una relevancia mucho más profunda; especialmente, mientras nuestra sociedad atraviesa una Pandemia con la mirada puesta en una luz de esperanza que finalmente parece que se revela ante nosotros.

No obstante, si esta esperanza no se materializa a través de la gestión del conocimiento y la difusión responsable del mismo, no tendría sentido en lo absoluto el accionar de la ciencia en cada una de nuestras realidades. En consecuencia, el aporte de los investigadores para sobrellevar la situación actual sería irrelevante, por no decir inexistente.

En este aspecto, la investigación aplicada, en la rama de las ciencias de la computación y la informática, más que un llamado, se convierte en un deber que nos compromete con nuestro futuro. Debemos garantizar el acceso sostenible, accesible y seguro a las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs). Principalmente considerando que, desde inicios del año 2020, éstas se han convertido en un servicio innegable e inalienable que garantiza el derecho al trabajo, el acceso al estudio y la convivencia con nuestros seres queridos.

Desde nuestra editorial, vemos con optimismo las contribuciones realizadas en este número, las cuales dan certeza del impacto que tienen las TICs en la transformación de la sociedad y de sus realidades adversas. Los artículos que presentamos constituyen importantes aportes para la asistencia en el diagnóstico y tratamiento de distintas patologías, el monitoreo inteligente de cultivos, y la gestión eficiente de sistemas de información y sus tecnologías subyacentes. Estas contribuciones demuestran el trabajo realizado por varios investigadores quienes, indistintamente de su situación actual, siguen dedicando sus vidas para que la generación de conocimiento no se detenga a pesar de las limitaciones actuales. Les invitamos cordialmente a revisar su trabajo, esperando que lo encuentren inspirador, elocuente y perspicaz.

Finalmente, como nuevo Editor en Jefe de la Revista Latinoamericana de Computación (LAJC), quiero extender mis sinceros agradecimientos a nuestro equipo editorial y a nuestros apreciados revisores, pues sin su arduo trabajo no hubiera sido posible culminar con éxito este número. Me complace sobremanera ingresar con firmeza hacia nuestro noveno año, siendo parte de un equipo profesional, optimista y por sobre todo comprometido con nuestros autores en brindarles un espacio para la difusión de su trabajo académico y científico.

Denys A. Flores.

Towards the search for opportunities in a world of adversity.

Since the beginning of this Journal, we have provided a space for scientific dissemination without barriers, guaranteeing open access and the right to free thought for our authors and readers. We believe that this principle has taken on a much deeper relevance; especially as our society goes through a Pandemic with our eyes set on a glimmer of hope that finally seems to reveal itself to us.

However, if this hope does not materialize through the management of knowledge and its responsible dissemination, the action of science in each of our realities would make no sense at all. Consequently, the contribution of researchers to cope with the current situation would be irrelevant, not to say non-existent.

In this aspect, applied research, in the field of computer science and informatics, more than a calling, becomes a duty, committing us to our future. We must guarantee sustainable, accessible, and safe access to Information and Communication Technologies (ICTs). Mainly considering that, since the beginning of 2020, these have become an undeniable and inalienable service that guarantees our right to work, access to study, and coexistence with our loved ones.

From our editorial, we see with optimism the contributions made in this issue, which give certainty of the impact that ICTs have on the transformation of our society and its adverse realities. The articles that we present constitute important assets for the assistance in the diagnosis and treatment of different pathologies, the intelligent monitoring of crops, and the efficient management of information systems and their underlying technologies. These contributions demonstrate the work carried out by various researchers who, regardless of their current situation, continue to dedicate their lives so that knowledge generation does not stop in spite of current limitations. We cordially invite you to review their work, hoping that you find it inspiring, eloquent and insightful.

Finally, as the new Editor-in-Chief of the Latin American Journal of Computing (LAJC), I would like to sincerely thanks to our editorial team and our valued reviewers, because without their hard work it would not have been possible to successfully complete this issue. I am extremely pleased to enter firmly into our ninth year, being part of such a professional team, optimistic and above all committed to our authors in providing a space for the dissemination of their academic and scientific work.

Denys A. Flores.

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

Reviewers

Patricia Acosta, PhD.
Universidad de Las Américas

Carlos Anchundia, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Roberto Andrade, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Alex Buitrago, PhD.
Universidad Externado de Colombia

Tania Calle Jimenez, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Mayra Carrión Toro, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Irene Cedillo Orellana, PhD.
Universidad de Cuenca

Pablo del Hierro Cadena, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Walter Fuertes, PhD.
Universidad de las Fuerzas Armadas

Marco Galarza, MSc.
Universidad de Las Américas

Julián Galindo Lozada, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

María Hallo, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Monserate Intriago, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Jorge Edison Lascano, PhD.
Universidad de las Fuerzas Armadas

Edison Loza Aguirre, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Carlos Montenegro Armas, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Evelyn Mosquera, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

José Lucio Naranjo, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Rosa Navarrete Rueda, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Henry Paz, MSc.
Escuela Politécnica Nacional

Myriam Peñafiel, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

María Pérez, PhD.
Escuela Politécnica Nacional

Marco Santórum G. PhD.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Implementing a Web and Mobile Application "Grammar Structures and Adjectives" for Assisting Intellectually Disabled People

Desarrollo de una aplicación web y una aplicación móvil "Estructuras gramaticales con adjetivos" para personas con discapacidad intelectual

ARTICLE HISTORY

Received 25 October 2021
Accepted 23 November 2021

Santiago Xavier Loya Nasimba
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
santiago.loya@epn.edu.ec

Desarrollo de una aplicación web y una aplicación móvil “Estructuras gramaticales con adjetivos” para personas con discapacidad intelectual

Implementing a Web and Mobile Application "Grammar Structures and Adjectives" for Assisting Intellectually Disabled People

Santiago Xavier Loya Nasimba
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
santiago.loya@epn.edu.ec

Resumen— Las terapeutas de INSFIDIM encuentran dificultades al momento de impartir las terapias de lenguaje a sus estudiantes que tienen algún tipo de discapacidad, existe poco material pedagógico digital para personas con discapacidad intelectual y en muchos casos se han usado aplicaciones generalizadas sin obtener buenos resultados. El objetivo del proyecto es desarrollar una aplicación que permita a las personas con discapacidad intelectual mejorar sus competencias de comunicación y lenguaje. La metodología que se utilizó para la realización del presente proyecto fue el desarrollo iterativo incremental en combinación con la experiencia de usuario y el prototipado, la unión de estas es útil para validar los requerimientos de la aplicación y obtener una retroalimentación constante. Las encuestas de usabilidad y satisfacción realizadas para evaluar los prototipos de la aplicación muestran que las terapeutas tienen un rápido entendimiento de la funcionalidad de la aplicación y están de acuerdo con el diseño, y usabilidad de la aplicación móvil para cumplir con su objetivo de enseñar estructuras gramaticales con adjetivos. La aplicación desarrollada es fácil de usar para las terapeutas y estudiantes de INSFIDIM, siendo de gran ayuda en el trabajo que realizan con los estudiantes para desarrollar su lenguaje comprensivo y expresivo.

Palabras clave—discapacidad intelectual, experiencia de usuario, prototipado.

Abstract—INSFIDIM therapists encounter difficulties when teaching speech therapy to their students who have some kind of disability, there is little digital teaching material for people with intellectual disabilities and in many cases generalized applications have been used without obtaining good results. The objective of the project is to develop an application that allows people with intellectual disabilities to improve their communication and language skills. The methodology used for carrying out this project was the incremental iterative development in combination with user experience and prototyping, the union of these is useful to validate the requirements of the application and obtain constant feedback. Usability and satisfaction surveys conducted to evaluate the app

prototypes show that the therapists have a quick understanding of the app's functionality and agree with the design, and usability of the mobile app to meet its goal of teaching grammatical structures with adjectives. The developed application is easy to use for INSFIDIM therapists and students, being of great help in the work they do with students to develop their comprehensive and expressive language.

Keywords—intellectual disability, prototyping, user experience.

I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, existen un total de 108.825 personas registradas con algún tipo de discapacidad intelectual según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades [1].

En la educación tradicional, se observa un aislamiento completo de las personas con discapacidad porque se las considera inadecuadas para la sociedad. La educación inclusiva aboga por un método educativo basado en la evaluación de la diversidad como elemento clave del proceso de enseñanza que es beneficioso para el desarrollo humano. Al analizar el concepto de inclusividad desde una perspectiva educativa, es eficaz para todas las personas, considerando la igualdad de oportunidades y eliminando las barreras de aprendizaje. Este método implica un proceso esencialmente social en el que todas las personas en instituciones educativas han aprendido a convivir con las diferencias y aprender de ellas [2].

Los beneficios de las tecnologías de la información y la comunicación son numerosos, pero algunas personas se quedan atrás. El enorme impacto tecnológico no se ha reflejado en gran medida en las personas con discapacidad intelectual y sus familias. En concreto, existen evidentes deficiencias en el uso de las tecnologías de información en el desarrollo de la vida diaria de las personas con discapacidad intelectual y sus familias y prácticas profesionales que apoyan la integración de este colectivo en la comunidad, lo que genera

una brecha digital y tecnológica en este sector de la población [3].

En el Instituto Fiscal de Discapacidad Motriz (INSFIDIM), las terapeutas especializadas en terapia de lenguaje han encontrado algunas dificultades en la docencia. Hay pocos materiales didácticos digitales específicos para personas con discapacidad, y en muchos casos se ven obligados a utilizar aplicaciones genéricas durante el tratamiento. Las aplicaciones no obtuvieron buenos resultados, por lo que se han adaptado haciendo tarjetas con bordes de colores que indican el tipo de palabras, ya sean sustantivos, adjetivos, verbos, etc.

En la terapia del lenguaje, las terapeutas incluyen estructuras gramaticales con adjetivos, el propósito es que el estudiante aprenda a asociar diferentes adjetivos con sustantivos y de esta forma pueda construir oraciones simples.

A. Discapacidad Intelectual

En la última década, se han observado cambios significativos en el diagnóstico y la clasificación de las personas con limitaciones especiales en los comportamientos adaptativos y las funciones intelectuales. Las políticas y prácticas de prestación de servicios también han experimentado cambios importantes, centrándose en brindar apoyo personalizado a las personas con discapacidad intelectual y utilizando resultados personales relacionados con la calidad de vida. El concepto actual de discapacidad intelectual se basa en el concepto general de discapacidad, se centra en las limitaciones mostradas en el contexto social que representa una gran desventaja personal. [4].

B. Educación inclusiva y tecnología

Las tecnologías de la información ayudan a conseguir una buena educación y a eliminar las barreras que limitan el acceso de las personas a las oportunidades educativas. Un entorno TIC bien diseñado puede ayudar a la creación de entornos de aprendizaje accesibles, proporcionando una excelente alternativa educativa para los grupos vulnerables. La Primera Conferencia Internacional sobre Educación Inclusiva, celebrada en 2014, examinó la contribución de la tecnología a la educación inclusiva desde cuatro perspectivas [5]:

- En la dirección del diseño universal de las TIC: hay una llamada de atención para evitar que el diseño de las TIC impida el acceso a determinadas personas.
- Disminuir la brecha digital: las TIC pueden facilitar el acceso de las personas a estados de bienestar cultural, de ocio y económico.
- Las TIC favorecen la atención personalizada: se eliminan las limitaciones que se derivan de las discapacidades cognitivas, sensoriales y motoras de los estudiantes.
- Las TIC para la inclusión social de diferentes colectivos: las TIC favorecen la inclusión educativa y mejoran las condiciones de vida de colectivos tradicionalmente marginados.

II. MÉTODOS

A. Desarrollo Iterativo - Incremental

El objetivo es desarrollar un sistema siguiendo etapas incrementales que se caracterizan por la creación de versiones sucesivas que van incluyendo requerimientos hasta llegar a la versión final [6]:

- **Iterativo:** en las iteraciones se repite un proceso de trabajo similar para proporcionar un resultado completo sobre el producto final.
- **Incremental:** el producto evoluciona en cada iteración y se hacen entregas incrementales partiendo de los resultados obtenidos en las iteraciones anteriores, añadiendo nuevos requerimientos o mejorando los que ya fueron completados.

Cada iteración comprende:

- Requerimientos, planificación.
- Análisis y Diseño.
- Codificación.
- Pruebas.

La Fig. 1 muestra el modelo iterativo incremental.

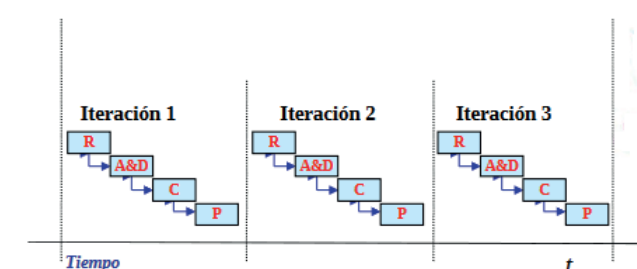


Fig. 1. Modelo Iterativo - Incremental

B. Experiencia de Usuario

La experiencia del usuario puede definirse como la respuesta emocional, la valoración y la satisfacción del usuario como resultado de su interacción con un producto. [7].

Los cinco elementos de la experiencia de usuario que hacen énfasis en la arquitectura de información y diseño de la interacción son [8]:

- **Estrategia:** son los objetivos para el sitio, identificadas a través de la investigación de los usuarios, se define respondiendo a las preguntas: ¿Qué se quiere mostrar?, ¿De qué se trata el sitio?
- **Alcance:** es la descripción detallada de la funcionalidad que debe cumplir el sitio para satisfacer las necesidades del usuario.
- **Estructura:** es el diseño del flujo de acciones para facilitar las tareas del usuario, se define la navegación del sitio y cómo el usuario interactúa con la funcionalidad.
- **Esqueleto:** comprende el diseño de los elementos como botones y bloques de texto de la interfaz para facilitar la interacción del usuario con la funcionalidad.

- **Superficie:** es el tratamiento gráfico de la interfaz, texto y elementos de navegación que el usuario visualiza en el sitio.

C. Prototipado

Un prototipo es una versión inicial de un sistema de software usada para demostrar conceptos, opciones de diseño y se pueda experimentar un poco con el producto durante el proceso de desarrollo. El prototipo de software durante el desarrollo ayuda a seleccionar y validar los requerimientos del sistema, además sirve para buscar soluciones específicas de software y apoyar en el diseño de interfaces de usuario [9].

Desde el inicio del desarrollo de un sistema se vuelve necesaria la interacción de los usuarios para probar partes del sistema y verificar la funcionalidad, validar la navegabilidad y probar nuevas posibilidades técnicas, realizando pruebas durante todo el proceso de desarrollo [10]. Existen diferentes tipos de prototipado según el grado de fidelidad o calidad del producto [7][11]:

- **Prototipo de alta fidelidad:** similar a la interfaz del sitio finalizado, describe comportamientos y aspectos dinámicos de la interfaz, responde a eventos y puede ser usado como la aplicación final.
- **Prototipo de media fidelidad:** es un término medio del prototipo, el cual contiene algunos componentes reales del sitio a desarrollar.
- **Prototipo de baja fidelidad:** tiene un aspecto que dista bastante de la interfaz final, permite hacer correcciones rápidas, por lo general son pantallas estáticas en papel o por computadora y refleja en flujo y efecto de acciones del usuario.

III. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

A. Desarrollo Iterativo – Incremental

En el modelo de desarrollo iterativo incremental con la especificación de requerimientos se hace una división en subsistemas de acuerdo con la funcionalidad. Cada nuevo desarrollo se denomina un incremento y combinando elementos del modelo cascada, se aplican secuencias lineales de forma escalonada [12].

1) Proceso iterativo incremental

El ciclo de vida consiste en la evolución de prototipos que se muestran a los usuarios, de esta forma se llega a una versión final del sistema. En cada iteración se reproduce el ciclo de vida en cascada, pero a una escala menor. Se establecen nuevos objetivos según la evaluación de iteraciones anteriores [6].

a) Requerimientos

Son los objetivos que se busca alcanzar con el proyecto. En una reunión inicial que se realizó con las terapeutas se hizo el levantamiento de requerimientos, estos requerimientos se analizan en el plano del alcance de la Experiencia de Usuario.

b) Diseño

El diseño se realiza siguiendo los cinco planos de Experiencia de Usuario y la relación que tiene con el prototipado, para cumplir con las necesidades del usuario final. La Fig. 2 muestra la relación entre UX y Prototipado [13].

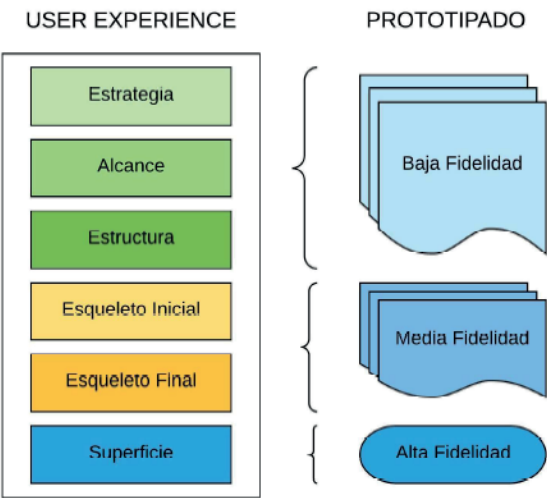


Fig. 2. Relación UX y Prototipado

c) Codificación

La Fig. 3 muestra la implementación de los incrementos siguiendo el esquema del prototipado durante las tres iteraciones hasta llegar a la versión final [13].

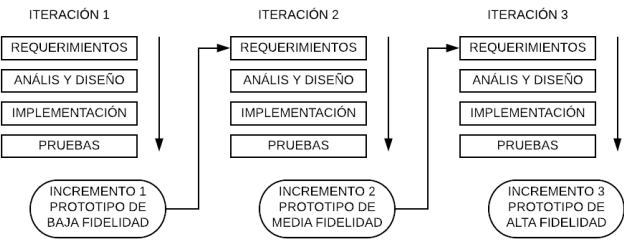


Fig. 3. Implementación de incrementos

d) Pruebas

Al terminar cada iteración se hacen las pruebas planificadas que se analizan en el plano de la estrategia con las métricas de éxito que se desean alcanzar para el proyecto.

B. Experiencia de Usuario

Para el desarrollo del proyecto se abordan los cinco planos de la experiencia de usuario: estrategia, alcance, estructura, esqueleto y superficie. Los cuales ayudan a tomar decisiones enfocadas en satisfacer las necesidades del usuario.

1) Estrategia

Se definen los objetivos del producto de software para aclarar lo que se espera obtener y se desarrolle de manera exitosa:

“Implementing a Web and Mobile Application “Grammar Structures and Adjectives” for Assisting Intellectually Disabled People”, Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 9, no. 1, 2022.

- Ayudar a las terapeutas en las terapias de lenguaje de los niños del instituto.
- Facilitar el aprendizaje de estructuras gramaticales con adjetivos a niños con discapacidad intelectual.
- Utilizar pictogramas y sonidos para el aprendizaje de los niños.
- Realizar una aplicación exitosa evaluada con las métricas de felicidad de Google.

El framework HEART de Google para medir UX define una serie de métricas para medir la experiencia de usuario y utilizarlas para tomar decisiones durante el desarrollo del producto [14]. Se escogieron las métricas Happiness para medir la satisfacción del usuario ante el uso del producto y Task Success que se enfoca en el comportamiento del usuario al usar el producto.

2) Alcance

El enfoque es facilitar el aprendizaje de estructuras gramaticales con adjetivos a niños con discapacidad intelectual y ayudar a las terapeutas a impartir las terapias de lenguaje, se puede definir cómo lograr los objetivos.

a) Especificaciones funcionales

Durante las reuniones con las terapeutas de INSFIDIM para la identificación de requerimientos para el desarrollo de los prototipos de baja y media fidelidad se recolectaron nuevas especificaciones y con la retroalimentación respectiva se obtuvieron las especificaciones funcionales definitivas para el producto de software. La Tabla I muestra las especificaciones funcionales.

TABLA I. ESPECIFICACIONES FUNCIONALES

Id	Especificación funcional
EF01	El terapeuta debe poder registrarse en la aplicación con su correo electrónico y contraseña.
EF02	El sistema permitirá el acceso la parte administrativa mediante el correo electrónico y contraseña del terapeuta.
EF03	El sistema deberá validar los campos que se utilicen para realizar un registro.
EF04	El terapeuta debe poder registrar imágenes con su respectivo nombre y categoría.
EF05	El terapeuta debe poder ver el listado de todas las imágenes registradas.
EF06	El terapeuta debe poder realizar búsquedas filtrando el listado de imágenes por su nombre.
EF07	El terapeuta debe poder actualizar el registro de una imagen.
EF08	El terapeuta debe poder eliminar el registro de una imagen.
EF09	El terapeuta debe poder registrar a los estudiantes que reciben terapia de lenguaje.
EF10	El terapeuta debe poder ver el listado los estudiantes registrados.
EF11	El terapeuta debe poder actualizar el registro de un estudiante.
EF12	El terapeuta debe poder eliminar el registro de un estudiante.
EF13	El terapeuta debe poder registrar oraciones en los diferentes niveles con las imágenes registradas previamente.
EF14	El terapeuta debe poder ver el listado de las oraciones registradas en los diferentes niveles.
EF15	El terapeuta debe poder actualizar el registro de una oración.
EF16	El terapeuta debe poder eliminar el registro de una oración.
EF17	El terapeuta debe poder ingresar a los diferentes niveles del juego conjuntamente con el estudiante para realizar su terapia.

S. Loya-Nasimba,

EF18	El sistema deberá reproducir el audio de las oraciones realizadas correctamente en el juego.
EF19	El sistema deberá almacenar la puntuación obtenida por el estudiante durante el juego guiado por el terapeuta.
EF20	El terapeuta debe poder ver las puntuaciones de los estudiantes en los respectivos niveles del juego.

b) Requerimientos de Contenido

De la misma forma, durante las reuniones se obtuvieron algunos requerimientos respecto al contenido que se debe utilizar en la aplicación como: tipo de letra, uso de pictogramas para formar oraciones, número de distractores y respuestas. La Tabla II muestra los requerimientos de contenido.

TABLA II. REQUERIMIENTOS DE CONTENIDO

Id	Requerimiento de contenido
RC01	El sistema mostrará la tipografía Tw Cen MT seleccionada por los terapeutas.
RC02	Los pictogramas se registrarán con una categoría de palabra para su fácil administración al momento de formar oraciones.
RC03	Las oraciones se deben mostrar con los pictogramas registrados previamente.
RC04	Para las oraciones de nivel 1 se deben registrar dos opciones de respuesta.
RC05	Para las oraciones de nivel 2 se deben registrar tres opciones de respuesta.
RC06	Para las oraciones de nivel 3 se deben registrar tres opciones de respuesta.
RC07	Para el nivel 4 se deben registrar tres adjetivos y tres opciones de respuesta.
RC08	Para el nivel 1 se debe seleccionar una respuesta.
RC09	Para el nivel 2 se deben seleccionar dos respuestas.
RC10	Para el nivel 3 se deben seleccionar dos respuestas.
RC11	Para el nivel 4 se debe seleccionar una respuesta.
RC12	Se debe poder escuchar la oración formada correctamente en el juego.

3) Estructura

Definidos los requerimientos de la aplicación, se procede con la arquitectura de la información y el diseño de la interacción del usuario.

a) Arquitectura de la Información

La estructura del contenido se definió con un enfoque jerárquico a partir de las secciones que tiene, se define por niveles indicando el flujo de la navegación para obtener la información requerida.

La Fig. 4 se muestra la estructura del contenido de la aplicación, donde se pueden identificar los módulos que la componen.

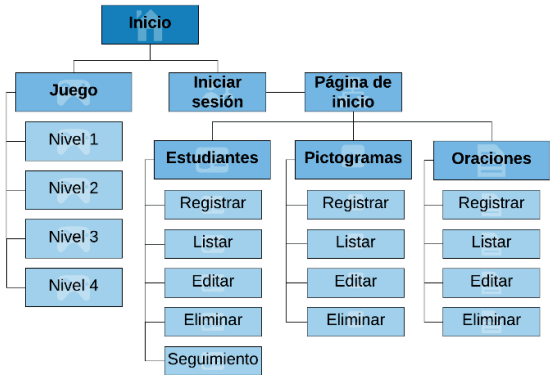


Fig. 4. Arquitectura de la Información

b) Diseño de la Interacción

Para el diseño de la interacción se tomaron en cuenta aspectos que faciliten la navegabilidad en la aplicación.

- **Diseño simple:** tiene un menú con palabras sencillas con los enlaces necesarios para navegar por la aplicación y se puedan realizar todas las acciones de la aplicación.
- **Representación visual:** se incluyen pocos gráficos que no distraen al momento de interactuar con la aplicación.
- **Control de errores:** muestra mensajes de error en los campos de los formularios que sean obligatorios para no dejarlos vacíos.

4) Esqueleto

Se identifican aspectos específicos como la interfaz, navegación y diseño de la información, dando forma a los requerimientos que se han establecido anteriormente.

a) Diseño de la Interfaz

Es importante seleccionar los elementos adecuados para que se pueda cumplir con la funcionalidad de la aplicación. El diseño de la interfaz se realizó con el framework de Bootstrap para añadir funcionalidad responsive y garantizar que los elementos se adapten al tamaño de la pantalla.

b) Diseño de la navegación

Una parte del diseño de la aplicación consiste en el juego y otra parte en la administración del contenido, por lo que se tienen dos diseños para la navegación. La Fig. 5 es un mapa de navegación sencillo en el cual se muestran los enlaces a los niveles del juego.

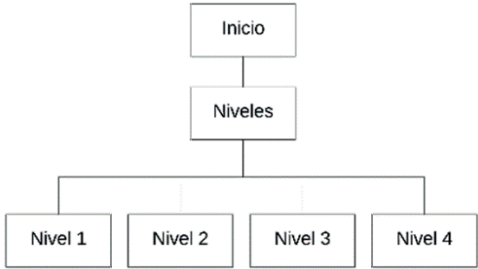


Fig. 5. Navegación para la parte del juego

La Fig. 6 muestra el diseño de la navegación de la parte administrativa de la aplicación, mediante un mapa del sitio con una estructura jerárquica se muestran los enlaces a los módulos de administración del contenido de la aplicación.

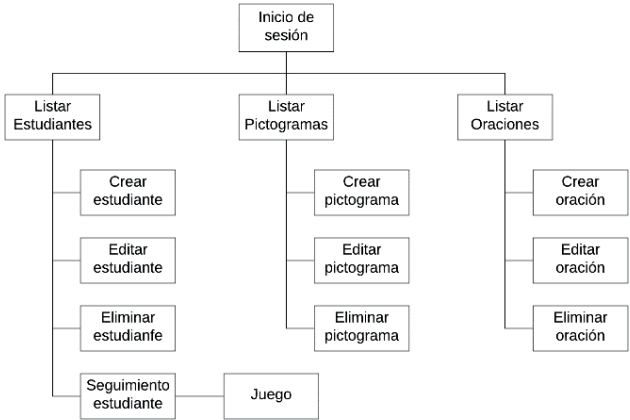


Fig. 6. Navegación para la parte de administración de contenido

5) Superficie

Se refiere al enfoque visual, se elige la tipografía y colores para la aplicación, con los que se debe facilitar la comprensión de los elementos y maximizar la experiencia de los usuarios que van a interactuar con ella.

a) Consistencia

Se debe permitir que el usuario sepa cómo funciona cada elemento de la aplicación con solo verlos. La usabilidad de la aplicación puede mejorar haciendo que el usuario deduzca el funcionamiento de elementos que realizan una acción concreta en todas las interfaces de la aplicación. La consistencia debe darse en dos aspectos [15].

- **Consistencia visual:** los tamaños, colores y tipografía debe ser la misma en toda la aplicación.
- **Consistencia funcional:** los elementos similares deben realizar funciones similares para que la aplicación sea predecible e intuitiva de utilizar.

b) Tipografía

La tipografía fue un requerimiento de los terapeutas de INSFIDIM, el tipo de letra debe ser lo más parecido a la letra imprenta que se enseña en el instituto.

La tipografía seleccionada por las terapeutas fue Tw Cen MT, como se muestra en la Fig. 7 y se utilizó tanto en la parte de administración de contenido como en la parte del juego.



Fig. 7. Tipografía Tw Cen MT

C. Prototipado

1) Baja Fidelidad

Para el desarrollo del prototipo de baja fidelidad se realizaron Mock-ups o representaciones gráficas de los módulos de la aplicación y lo que se espera que contenga cada uno, se utilizó la herramienta Lucidchart que permite realizar diagramas de la interfaz con enlaces que simulan la navegación de la aplicación.

El prototipo de baja fidelidad permite analizar el diseño que se tiene pensado para la aplicación y a identificar los requerimientos que no se pudieron conseguir en la primera reunión con las terapeutas de INSFIDIM. La Fig. 8 muestra la pantalla principal de la aplicación con el menú hacia los diferentes módulos.

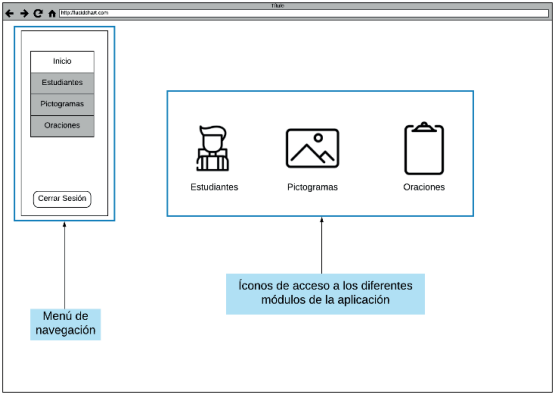


Fig. 8. Página de inicio

2) Media Fidelidad

El prototipo de media fidelidad se desarrolló para crear una representación navegable de las interfaces y diferentes módulos de la aplicación que se presentaron en los mock-ups del prototipo de baja fidelidad. Tiene botones funcionales que conducen a los módulos de estudiantes con su seguimiento, pictogramas y oraciones con sus respectivas opciones de registro para que el usuario entienda el funcionamiento de la aplicación y se aclaren dudas sobre los elementos que componen cada interfaz.

3) Alta Fidelidad

En este prototipo se implementaron las especificaciones funcionales y requerimientos de contenido.

a) Arquitectura de la aplicación

El Modelo Vista Controlador (MVC) es un estilo de arquitectura de software que separa los datos, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos [16]. La Fig. 9 muestra el funcionamiento del flujo MVC.

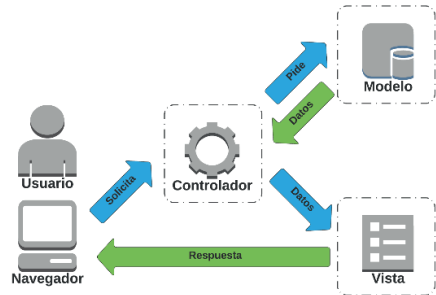


Fig. 9. Flujo MVC

La Fig. 10 muestra la arquitectura de la aplicación se describe como un modelo Cliente - Servidor con las herramientas que se utilizaron para el desarrollo.

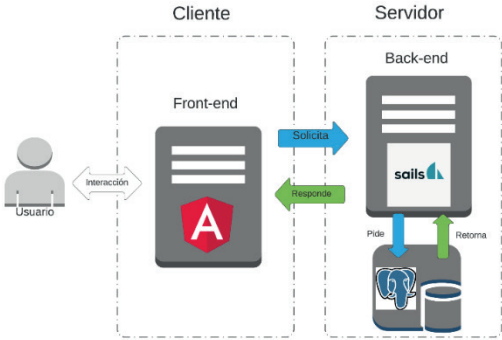


Fig. 10. Arquitectura de la aplicación

D. Evaluación de los prototipos

1) Prototipo de baja fidelidad

Para la evaluación del primer prototipo se realizaron las pruebas correspondientes con respecto a la navegación de la aplicación mediante tareas que fueron asignadas a las terapeutas, también se aplicó una encuesta de usabilidad después de la interacción que tuvieron con el prototipo.

- **Tareas:** la herramienta Lucidchart permite simular la navegación entre las pantallas de la aplicación para diseñar cada acción que puede tomar el usuario al interactuar con la aplicación. Se establecieron tareas que las terapeutas realizaron durante la interacción con la aplicación y se contabilizaron el número de clicks que fueron necesarios para completar cada tarea.

- **Encuesta de usabilidad:** el cuestionario SUS por sus siglas System Usability Scale fue desarrollado en 1986 como parte de la introducción de la ingeniería de usabilidad. Ofrece una visión rápida de la usabilidad de un sitio y cuenta con un sistema de puntuación simple que combina preguntas negativas y positivas. Para el análisis de los resultados de la encuesta a cada pregunta impar se le debe restar 1 punto del valor marcado en la pregunta, a cada pregunta par se debe restar 5 menos el valor marcado en la pregunta, al final se realiza la sumatoria de puntos y ese valor se multiplica por 2,5 para obtener el resultado final. Si el resultado final es menor que 50 puntos se considera que es un sistema fallido, si el resultado es mayor a 68 puntos se considera que el sistema es correcto y si el resultado es mayor a 80 puntos se considera que el sistema es sobresaliente [17].
- **Encuesta de usabilidad:** las terapeutas realizaron un recorrido por los módulos de la aplicación, interactuaron con los formularios de registro para ingresar o editar el contenido de la aplicación.
- **Encuesta de satisfacción:** se pidió a las terapeutas poner atención al contenido presentado en cuanto a diseño, funcionalidad y navegabilidad para verificar que cumpla con sus necesidades.
- **Evaluación MARS:** la evaluación Mobile Application Rating Scale (MARS) es una herramienta que permite calificar y clasificar la calidad de las aplicaciones orientadas a la salud. Se evalúan aspectos como: atractivo, funcionalidad, estética, información y calidad subjetiva con una serie de preguntas a ser calificadas en una escala desde 1 que significa inadecuado hasta 5 que significa excelente [18].
- **GTmetrix:** es una herramienta con un conjunto de características para que la optimización de un sitio web sea clara y fácil. GTmetrix en su informe resume el rendimiento de una página web basándose en indicadores clave de velocidad de carga de la página [19].
- **PageSpeed Insights:** informa sobre el rendimiento de páginas, tanto en dispositivos móviles como en

ordenadores y brinda sugerencias para mejorarlas. Facilita experimentos para depurar problemas de rendimiento en un entorno controlado, pero es posible que con ellos no se detecten problemas de capacidad producidos por volúmenes reales de tráfico. También facilita los datos de campo, resultan útiles para saber qué pasa con las experiencias de usuario auténticas y reales [20].

- **WAVE Web Accessibility Evaluation Tool:** conjunto de herramientas de evaluación que ayuda a verificar que el contenido de una web sea más accesible para las personas con discapacidad. WAVE puede identificar muchos errores de accesibilidad y pautas de accesibilidad al contenido web (WCAG), pero también facilita la evaluación humana del contenido web [21].

IV. RESULTADOS

A. Prototipo de baja fidelidad

Agregando navegabilidad entre las pantallas planificadas para para el desarrollo del proyecto, se pudo evaluar el prototipo de baja fidelidad, se realizaron pruebas mediante tareas que las terapeutas realizaron durante su interacción con el prototipo. La Tabla III muestra los resultados de las tareas realizadas por las dos terapeutas, quienes registran el mismo número de clics desde la página de inicio, de esta manera se muestran los resultados como un promedio de ambas terapeutas.

TABLA III. RESULTADOS – PRUEBA DE TAREAS

Nº	Tarea	Completado	Clics
1	Ingresar al módulo de estudiantes.	Si	1
2	Ir a la página de registro de estudiantes.	Si	2
3	Ir a la página de seguimiento de estudiantes.	Si	3
4	Ingresar al módulo de pictogramas.	Si	1
5	Ir a la página de registro de pictogramas.	Si	2
6	Ingresar al módulo de oraciones.	Si	1
7	Ir a la página de registro de oraciones.	Si	2
8	Ir al nivel 1 del juego.	Si	3
9	Ir al nivel 2 del juego.	Si	3

La encuesta SUS determina la usabilidad de la aplicación con respecto al prototipo de baja fidelidad, la Tabla IV muestra los resultados de las terapeutas después de realizar las operaciones respectivas a cada pregunta y un promedio de los resultados, obteniendo el puntaje total de las dos terapeutas que realizaron la encuesta de usabilidad.

TABLA IV. RESULTADOS – ENCUESTAS DE USABILIDAD

Nº	Chávez X.	Parreño N.	Promedio
1	4	4	4
2	4	4	4
3	3	4	3,5
4	3	3	3
5	4	4	4
6	4	4	4
7	3	4	3,5
8	3	3	3
9	3	3	3

S. Loya-Nasimba,
“Implementing a Web and Mobile Application “Grammar Structures and Adjectives” for Assisting Intellectually Disabled People”, Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 9, no. 1, 2022.

10	3	3	3,5
		Sumatoria:	35,5
		Total:	88,8

B. Prototipo de media fidelidad

Se explica el propósito funcional de los diferentes módulos a las terapeutas que interactuaron con el prototipo para luego hacer la respectiva evaluación, realizaron la encuesta de satisfacción calificando la presentación de contenido, el diseño de la información y si les parece correcto la forma de interacción con el prototipo.

La Tabla V muestra los resultados obtenidos en cada pregunta y un promedio de los resultados, obteniendo el puntaje total de las dos terapeutas que realizaron la encuesta de satisfacción.

TABLA V. RESULTADOS – ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Nº	Chávez X.	Parreño N.	Promedio
1	5	5	5
2	5	4	4,5
3	4	4	4
4	5	5	5
5	5	5	5
6	4	5	4,5
7	4	5	4,5
8	4	4	4

C. Prototipo de alta fidelidad

1) Encuesta de usabilidad

La Tabla VI muestra los resultados después de realizar las operaciones respectivas a cada pregunta para determinar la usabilidad de la aplicación y un promedio de los resultados, obteniendo el puntaje total de las dos terapeutas que realizaron la encuesta.

TABLA VI. RESULTADOS – ENCUESTA DE USABILIDAD

Nº	Chávez X.	Parreño N.	Promedio
1	4	4	4
2	4	4	4
3	3	3	3
4	4	4	4
5	3	3	3
6	4	4	4
7	3	4	3,5
8	4	3	3,5
9	4	4	4
10	3	4	3,5
		Sumatoria:	36,5
		Total:	91.3

Durante las pruebas participó la estudiante Dayana Yépez, quien jugó cinco veces cada nivel con cinco oraciones aleatorias cada uno, las terapeutas registraron con anterioridad las oraciones durante la interacción con la aplicación.

La Fig. 11 muestra los resultados de la estudiante que juega en la aplicación bajo la supervisión de su terapeuta.

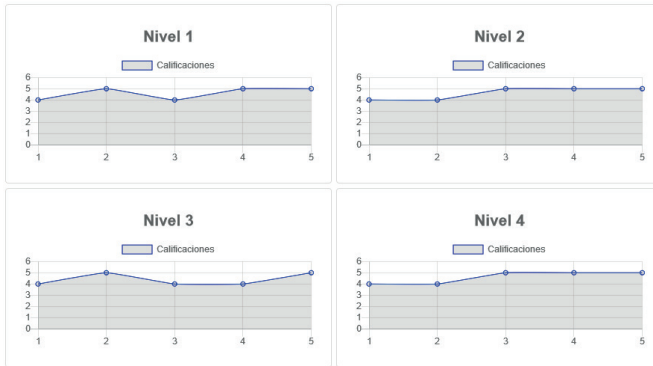


Fig. 11. Puntajes de Dayana Yépez en los niveles del juego

2) Encuesta de satisfacción

Se realizó para calificar la presentación de contenido de la aplicación, el diseño de la información presentada y si les parece correcto a las terapeutas la forma en que se va a interactuar el prototipo. La Tabla VII muestra los resultados obtenidos en cada pregunta y un promedio de los resultados, obteniendo el puntaje total de las dos terapeutas que realizaron la encuesta de satisfacción.

TABLA VII. RESULTADOS – ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Nº	Chávez X.	Parreño N.	Promedio
1	5	5	5
2	5	4	4,5
3	4	4	5
4	5	5	5
5	5	5	5
6	4	5	5
7	4	5	5
8	4	4	5

3) Evaluación MARS

La evaluación MARS se aplicó al prototipo de alta fidelidad por parte de las dos terapeutas de lenguaje de INSFIDIM después de su interacción con la aplicación y con las instrucciones necesarias.

La Fig. 12 muestra el resultado total de la evaluación MARS de la aplicación web con el promedio de las terapeutas Ximena Chávez y Nancy Parreño quienes colaboraron con las evaluaciones de los prototipos anteriores.



Fig. 12. Resultados de la evaluación MARS - aplicación web

La estudiante Dayana Yépez utilizó la aplicación con la supervisión de las terapeutas, quienes le dieron las indicaciones necesarias a la estudiante durante el juego y simulan la interacción que tendrían en una sesión de terapia de lenguaje.

La Fig. 13 muestra el resultado total de la evaluación MARS de la aplicación móvil con un promedio de las dos terapeutas: Ximena Chávez y Nancy Parreño que colaboraron durante el desarrollo de la aplicación.



Fig. 13. Resultados de la evaluación MARS - aplicación móvil

La evaluación MARS también fue aplicada por parte de un grupo de testers formado por estudiantes e ingenieros de la Escuela Politécnica Nacional, quienes tienen la experiencia en el desarrollo de aplicaciones y también en el uso de la herramienta MARS, cuatro testers evaluaron en conjunto la aplicación web y la aplicación móvil, ya que la aplicación móvil cuenta con la funcionalidad responsive web, que a través de enlaces desde la parte de administración de contenido de la aplicación web se puede acceder al juego e interactuar como lo haría un terapeuta durante la terapia de lenguaje con los estudiantes.

La Fig. 14 muestra el resultado total de la evaluación MARS por parte de los testers de la Escuela Politécnica Nacional: María José Caiza, Cristian Lara, Andrés Larco y Paúl Peñafiel, con un promedio de los resultados en todas las categorías que evalúa MARS



Fig. 14. Resultados de la evaluación MARS – testers EPN

4) GTMetrix

La herramienta realizó un análisis completo de los elementos enviados por el servidor hacia el solicitante. Los resultados de la prueba de rendimiento de la aplicación indican puntajes de rendimiento con calificación (E de 59%) y YSlow (B de 85%).

5) PageSpeed Insights

La prueba muestra el resultado de 25/100 puntos en la evaluación de la aplicación.

6) WAVE Web Accessibility Evaluation Tool

El informe de cumplimiento del diseño de la aplicación indica cero errores, cero errores de contraste, una alerta que tiene que ver con la estructura del encabezado.

V. DISCUSIÓN

La prueba de tareas realizada a las terapeutas muestra que las pantallas de la aplicación se entienden correctamente en sus diferentes módulos, así como también la navegabilidad. Se completaron todas las tareas con el número de clics correspondientes desde la página de inicio. Se obtiene un total de 91,3 puntos en la prueba de usabilidad lo que indica una calificación sobresaliente a la usabilidad de la aplicación por parte de las terapeutas de INSFIDIM. Los comentarios y recomendaciones de las terapeutas ayudaron a realizar las correcciones respectivas que se presentaron nuevamente en el prototipo de baja fidelidad y con ello se pudo continuar con el desarrollo del prototipo de media fidelidad.

Se obtuvieron resultados positivos en la evaluación del prototipo de media fidelidad. Las terapeutas demostraron un rápido entendimiento de la funcionalidad y navegabilidad de la aplicación y estuvieron de acuerdo con el diseño de interfaces y la presentación del contenido. Los resultados de las preguntas tienen un promedio de 4,56 puntos lo que indica que las terapeutas están de acuerdo con que el diseño de la aplicación para el prototipo de media fidelidad, es fácil de usar y navegar, las tablas muestran la información necesaria para en entendimiento de la aplicación, los gráficos son

adecuados y la funcionalidad del juego es adecuada para los niveles de dificultad presentados.

La prueba de usabilidad da un resultado total de 88,8 puntos lo cual significa una calificación sobresaliente a la usabilidad de la aplicación por parte de las terapeutas de INSFIDIM.

La estudiante Dayana Yépez demostró un rápido entendimiento de la funcionalidad del juego, es de gran ayuda que en INSFIDIM las terapeutas les enseñan a los estudiantes el significado de los pictogramas que utilizan en sus terapias de lenguaje, Dayana obtiene resultados entre 4 y 5 puntos en cada nivel realizado con 5 oraciones aleatorias.

Se obtuvieron resultados positivos en la evaluación del prototipo de alta fidelidad. Los resultados de las preguntas tienen un promedio entre 4,94 sobre 5 puntos lo que indica que están de acuerdo con que el diseño de la aplicación en cuanto a la navegabilidad, presentación de contenido y la funcionalidad del juego.

La evaluación MARS realizada por las terapeutas de INSFIDIM para la aplicación web muestra una calificación total de 4,79 sobre 5 puntos, para la aplicación móvil se muestra una calificación total de 4,50 sobre 5 puntos. Mostrando que la aplicación satisface las necesidades de las terapeutas para la enseñanza de estructuras gramaticales con adjetivos a los estudiantes del instituto.

La evaluación MARS realizada por los testers de la Escuela Politécnica Nacional muestra una calificación total de 3,94 sobre 5 puntos. La información de la aplicación tuvo una calificación de 3,67 indicando que hace falta mejorar la calidad de la información para el correcto uso de la aplicación.

Para las pruebas se alojó el proyecto en un servidor de Github, GTmetrix informa que los tiempos de carga de la página pueden mejorarse significativamente aprovechando el almacenamiento en caché del navegador para algunos recursos.

PageSpeed Insights en su informe indica que el código de un tercero, en este caso Github, ha bloqueado el hilo principal durante 1820 ms afectando de forma significativa la velocidad de carga de la aplicación.

La aplicación se limita a formar estructuras gramaticales con adjetivos que las terapeutas ingresan mediante la selección de pictogramas previamente registrados para crear oraciones sencillas que los estudiantes entiendan durante sus sesiones de terapia. Como trabajo futuro se puede unificar con otras aplicaciones desarrolladas con el mismo objetivo educativo creando una página completa con un conjunto de aplicaciones con la gestión de usuarios y de contenido que ayude a estudiantes con discapacidad a mejorar sus competencias de comunicación y lenguaje.

VI. CONCLUSIONES

Con el adecuado levantamiento de requerimientos en las reuniones iniciales con las terapeutas se pudo comprender las necesidades al momento de las terapias. Con el desarrollo de los prototipos fue posible obtener una retroalimentación respecto a nuevas funcionalidades y requerimientos

La elaboración del prototipo de baja fidelidad permitió mostrar breves rasgos el contenido y la navegabilidad que tendría la aplicación, con base a los requerimientos que las terapeutas detallaron en la primera reunión explicando el uso de las estructuras gramaticales con adjetivos y cómo realizan las terapias con los estudiantes.

Se pudo mejorar el diseño, funcionalidad y la forma de interacción del usuario con la retroalimentación obtenida en cada iteración con los prototipos.

Con la evaluación basada en las métricas de Google, como happiness y task success, asignando tareas específicas para probar los prototipos y usando encuestas de usabilidad y de satisfacción, se pudo observar varios aspectos como la interactividad, navegabilidad, usabilidad, la calidad y cantidad de la información, que pueden seguir mejorando en la aplicación.

Mediante la presentación de gráficos de seguimiento de estudiantes, se pudo observar que después de algunas interacciones con la aplicación durante las sesiones de terapia los estudiantes logran entender el uso de estructuras gramaticales con adjetivos para formar oraciones sencillas.

REFERENCIAS

[1] "Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades". Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades – CONADIS. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/> (accedido el 29 de noviembre de 2021).

[2] C. Parra Dussan, "Educación inclusiva: un modelo de diversidad humana", Educación y Desarrollo Social, vol. 5, n.º 1, pp. 139–150, 2011.

[3] S. Prefasi Gomar, T. Magal Royo, F. Garde y J. Giménez López, "Tecnologías de la información y de la comunicación orientadas a la educación de personas con discapacidad cognitiva", Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa - RELATEC, vol. 9, n.º 2, pp. 107–123, 2010.

[4] R. Schalock, "La nueva definición de discapacidad intelectual, apoyos individuales y resultados personales", Siglo Cero, vol. 40, n.º 1, 2009, art. n.º 229.

[5] J. Cabero Almenara y J. Fernández Batanero, "Una mirada sobre las TIC y la educación inclusiva : reflexiones en torno al papel de las TIC en la educación inclusiva", Comunicación y Pedagogía, n.º 279, pp. 38–42, 2014.

[6] A. González. "Ingeniería de Software: Metodologías". http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo329/1s18/lectures/SoftwareEngineering/Metodologias_DesarrolloIterativoIncremental.pdf.

[7] Y. Hassan Montero y F. Martín Fernández. "La Experiencia del Usuario". No Solo Usabilidad : Revista de Diseño Web Centrado en el Usuario. http://www.nosolousabilidad.com/articulos/experiencia_del_usuario.htm

[8] R. Ronda León. "Diseño de Experiencia de Usuario: etapas, actividades, técnicas y herramientas". No Solo Usabilidad : Revista de Diseño Web Centrado en el Usuario. [http://www.nosolousabilidad.com/articulos/uxd.htm?utm_source=twitterfeed&utm_medium=linkedin&utm_campaign=escaped_fragment_="](http://www.nosolousabilidad.com/articulos/uxd.htm?utm_source=twitterfeed&utm_medium=linkedin&utm_campaign=escaped_fragment_=)

[9] Sommerville, Software Engineering / 7th Edition. Pearson Education, 2008.

[10] A. Bianchini. "Diseño centrado en el usuario". fdocuments.ec. <https://fdocuments.ec/document/prof-adelaide-bianchini-dpto-de-computacion-y-tecnologia-de-la-informacion-universidad-simon-bolivar-mayo-2008-diseno-centrado-en-el-usuario-prof.html>

[11] F. X. Díaz, I. Arari y A. P. Amadeo. "Guía de recomendaciones para diseño de software centrado en el usuario". SEDICI - Repositorio de la Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32172>

[12] A. García. "Tema 3: Modelos de proceso". Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1179286>

[13] D. Rojas, A. Larco. "Implementación de un portal web para alojar descripciones de los proyectos de inclusión para el proyecto INCLUTIC", Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.

[14] "Google's HEART Framework for Measuring UX". The Interaction Design Foundation. <https://www.interaction-design.org/literature/article/google-s-heart-framework-for-measuring-ux>

[15] C. Busquets. "Consistencia en el diseño UI — uiFromMars". uiFromMars. <https://www.uifrommars.com/consistencia-diseno-ui/>

[16] "Modelo vista controlador (MVC)". Servicio de Informática. Universidad de Alicante. <https://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>

[17] "Cuestionarios". SIDAR: Accesibilidad y adaptabilidad en la Red. <http://www.sidar.org/recur/desdi/traduc/es/visitable/nuevos/CuestCon.htm>

[18] . R. Stoyanov, L. Hides, D. Kavanagh, O. Zelenko, D. Tjondronegoro y M. Mani, "Mobile app rating scale: a new tool for assessing the quality of health mobile apps". JMIR Mhealth Uhealth. 2015 Mar 11;3(1):e27. doi: 10.2196/mhealth.3422. PMID: 25760773; PMCID: PMC4376132.

[19] "Features | GTmetrix". GTmetrix | Website Performance Testing and Monitoring. <https://gtmetrix.com/features.html>

[20] "Acerca de la API de PageSpeed Insights | Google Developers". Google Developers. <https://developers.google.com/speed/docs/insights/v5/about?hl=es>

[21] "WAVE Web Accessibility Evaluation Tool". WAVE Web Accessibility Evaluation Tool. <https://wave.webaim.org/>

AUTHOR



Santiago Loya-Nasimba

Ingeniero en Sistemas Informáticos y de computación graduado de la Escuela Politécnica Nacional. Su tesis está desarrollada tomando en cuenta las necesidades de personas con discapacidad en el ámbito educativo para encontrar soluciones a esta problemática.

ARTICLE HISTORY

Received 25 October 2021
Accepted 23 November 2021

Carol Oña

Departamento de Informática y Ciencias de
Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
carol.ona@epn.edu.ec

Nicole Pirca

Departamento de Informática y Ciencias de
Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
nicole.pirca@epn.edu.ec

Lorena Recalde

Departamento de Informática y Ciencias de
Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
lorena.recalde@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0002-4949-3278

Edison Loza-Aguirre

Departamento de Informática y Ciencias de
Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
edison.loza@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1481-8105

Development of a System for Strategic Surveillance of Social Networks and Digital Press Media using Web Scraping

Desarrollo de Sistema para Vigilancia Estratégica de Redes Sociales y Medios de Prensa Digitales mediante Web Scraping

Desarrollo de Sistema para Vigilancia Estratégica de Redes Sociales y Medios de Prensa Digitales mediante Web Scraping

Development of a System for Strategic Surveillance of Social Networks and Digital Press Media using Web Scraping

Carol Oña
Departamento de Informática y
Ciencias de Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
carol.ona@epn.edu.ec

Nicole Pirca
Departamento de Informática y
Ciencias de Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
nicole.pirca@epn.edu.ec

Lorena Recalde
Departamento de Informática y
Ciencias de Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
lorena.recalde@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0002-4949-3278

Edison Loza-Aguirre
Departamento de Informática y
Ciencias de Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
edison.loza@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0003-1481-8105

Resumen—Desde el punto de vista de los sistemas de información empresariales, ha surgido la necesidad de crear herramientas que faciliten las tareas de Vigilancia Estratégica. En la actualidad, el laboratorio ADA de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional está ejecutando varios proyectos distribuidos en diferentes fases cuya meta final es desarrollar esta suite de Vigilancia Estratégica. El presente proyecto pertenece a la (tercera) fase denominada “Recolección de Información”, cuyo objetivo es desarrollar un sistema de recolección de información automatizado, optimizando los tiempos de búsqueda y reduciendo la sobrecarga de información. La herramienta desarrollada permite búsquedas sobre medios de prensa digitales relevantes y pre-establecidos y las redes sociales Twitter, Facebook, Instagram y LinkedIn.

El proyecto se ha desarrollado siguiendo los lineamientos definidos por Scrum y se basa en el patrón Modelo – Vista – Controlador. Además, el sistema ha sido evaluado por el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM). Los resultados de evaluación muestran que más del 80% de los encuestados consideran que el sistema posee facilidad de uso. Sin embargo, el 100% coincide respecto a la utilidad percibida del sistema en cuanto a la recolección de información: éste cumple con su objetivo orientado a recopilar información de las redes sociales y medios de prensa digitales que sea útil en el proceso de toma de decisiones basado en la Vigilancia Estratégica.

Palabras clave—Vigilancia Estratégica, Recolección de Información, Redes Sociales, Medios Digitales.

Abstract—From the point of view of business information systems, the need to create tools that facilitate the tasks of Strategic

Surveillance has arisen. Currently, the ADA laboratory of the Faculty of Systems Engineering of the National Polytechnic School is executing several projects distributed in different phases whose final goal is to develop this Strategic Surveillance suite. This project belongs to the (third) phase called "Information Collection". Thus, the objective of the project is to develop an automated information collection system which optimizes search times and reduces information overload. The developed tool allows the search to be carried out on relevant and pre-established digital press media and the social networks Twitter, Facebook, Instagram, and LinkedIn.

The project has been developed following the guidelines defined by Scrum and is based on the Model - View - Controller pattern. In addition, the system has been evaluated by the Technological Acceptance Model (TAM). The evaluation results show that more than 80% of the respondents consider that the system is easy to use. However, 100% of them coincide with respect to the perceived usefulness of the system in terms of collecting information: it fulfills its objective of collecting information that is the input in the decision-making process based on Strategic Scanning.

Keywords—Strategic Scanning, Information Collection, Social Networks, Digital Media.

I. INTRODUCCIÓN

Una organización debe resistir a los cambios y evoluciones que se producen en su entorno. Es por esto por lo que, hoy en día, la mayoría de las organizaciones realizan, en mayor o menor grado, actividades de Vigilancia Estratégica (conocida también como Strategic Scanning). La Vigilancia Estratégica es una alternativa que permite a la organización mantenerse al corriente con las tendencias y evoluciones de su entorno,

identificar amenazas, oportunidades, anticipar cambios y soportar los procesos de toma de decisiones [1].

La Vigilancia Estratégica es un proceso organizacional que implica la recolección y análisis de información con el objetivo de soportar las actividades de toma de decisiones estratégicas en una organización [1]. Dicha información puede ser obtenida de noticias, informes, comentarios, redes sociales y medios digitales relacionados al ámbito de la organización. Una vez recopilados los datos, éstos son analizados para ser convertidos en conocimiento que permita a las gerencias tomar decisiones que sean de beneficio para la organización [2].

Resulta paradójico, sin embargo, que en la era en la cual el Internet facilita el acceso a cantidades infinitas de información, las fuentes más útiles y que alimentan los sistemas de Vigilancia Estratégica son más bien directas: observaciones de terreno, comentarios recabados en conferencias donde participa la organización, “chismes” de clientes y proveedores, entre otras. De hecho, resulta necesario entender que, a pesar de los grandes avances en informática (Big Data, Smart Data, Procesamiento Natural de Lenguaje, etc.), la mayor parte del proceso de recolección de información reposa aún en las capacidades de las personas que colaboran en la institución. Es por este motivo que, el rol de la tecnología es sobre todo de soporte y no de remplazo al personal que trabaja en este proceso [2].

En el entorno económico de una organización existe una gran cantidad de información, pero no toda puede ser recolectada y analizada, ni tampoco toda esa información posee un valor estratégico útil sobre el devenir de la empresa. Debido a estos antecedentes, y con el fin de prevenir problemas de sobrecarga de información, se debe limitar el entorno o perímetro de vigilancia con la identificación de la lista de actores a vigilar, las interrelaciones entre los actores, los temas, la lista de fuentes de información a escudriñar y las palabras clave que permitirán buscar información de una problemática general en Ecuador [2].

Una vez definido el alcance de Vigilancia Estratégica, se procede a recolectar información con el fin de obtener y almacenar datos relevantes que agilicen el proceso de toma de decisiones de la organización. Dicha información puede ser obtenida de diversas fuentes como: bases de datos, Internet, personas, noticias u opiniones [3]. En lo que respecta a fuentes provenientes del Internet, esta búsqueda puede ser automatizada gracias a la utilización de herramientas y algoritmos de recolección de información como APIs y Web Spiders.

El Departamento de Informática y Ciencias de la Computación (DICC) de la Facultad de Ingeniería en Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional, tiene como línea de investigación la Computación Aplicada a los Sistemas de Información. Dentro del DICC se está ejecutando el programa de investigación Tyche (Fig. 1). Este proyecto está organizado en varias fases que están siendo apoyadas por el desarrollo de proyectos de titulación. En el presente proyecto, que es parte de la tercera fase, se propone desarrollar una herramienta que, dado el perímetro proporcionado por la segunda fase del programa de investigación “Tyche”, permitirá la recolección de información relevante para organizaciones ecuatorianas como las de tipo pymes de manufactura de Quito.

La información será recolectada de redes sociales en línea como: Twitter, Facebook, Instagram y LinkedIn; y también se recolectará información de 5 medios de prensa en idioma español que sean digitales e influyentes en Latinoamérica. Este proceso es continuo ya que esta información debe ser siempre actualizada, con el fin de ser útil a la toma de decisiones. Esto agilizará la recopilación de información relevante, disminuyendo el esfuerzo humano. La información de Vigilancia Estratégica de este proyecto servirá para organizaciones de cualquier tamaño y que operen en cualquier dominio de actividad, como las pymes de manufactura de Quito que están interesadas en usar información que les permita reducir la incertidumbre de su toma de decisiones estratégicas. Así, la solución propuesta permitirá optimizar la búsqueda de esta información a la vez que se toman precauciones para reducir la sobrecarga de la misma.

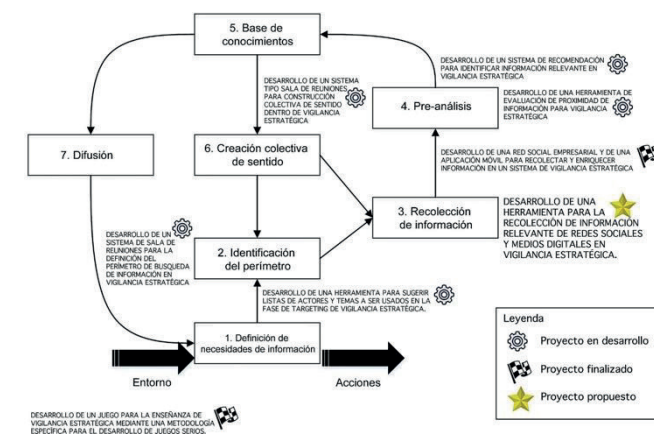


Fig. 1. Proyectos de investigación del programa “Tyche”

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Vigilancia Estratégica

En la actualidad, se accede a un exceso de información que, por su naturaleza, requiere ser procesada y filtrada para dejar de lado la que sea de baja calidad. La información a nivel comercial, o que trate temas sobre tecnología, competencia o entorno es absolutamente ineludible para tomar decisiones estratégicas y para anticiparse a los hechos en las organizaciones [4]. Sin embargo, el identificar la información de mejor calidad y la más relevante no es tarea sencilla. Entonces, la Vigilancia Estratégica entra aquí como un conjunto de acciones que una organización tiene que gestionar y poner en marcha para acceder a la información apropiada en el tiempo adecuado y que le permita tomar las decisiones convenientes [5].

El sistema de Vigilancia Estratégica se compone de tres tareas fundamentales:

- 1) Recoger la información que la empresa necesita.
- 2) Transformar toda esa información en conocimiento.
- 3) Valorar ese conocimiento y hacerlo llegar a las personas adecuadas de la organización.

De acuerdo con [6], al implementar un sistema de Vigilancia Estratégica en una organización, el objetivo que se quiere alcanzar se centra principalmente en los siguientes aspectos:

- *Anticipar los cambios:* detectar con la máxima antelación posible las eventualidades más importantes que se puedan producir en el entorno de la empresa.
- *Minimizar riesgos:* identificar amenazas que aparezcan como consecuencia de nuevos productos, normativas o competidores, y tomar las decisiones adecuadas respecto a la elección de nuevas tecnologías.
- *Comparar:* se trata de valorar tanto los puntos fuertes como las posibles debilidades contrastando frente a los de la competencia y en relación con las necesidades de los clientes.
- *Innovar:* localizar y definir oportunidades de mejora, así como ideas revolucionarias en el mercado.
- *Cooperar:* identificar oportunidades para colaborar con otras empresas y encontrar socios apropiados.

Entonces, el proceso de Vigilancia Estratégica que debe seguirse es [7]:

- Establecer las necesidades de información que tiene la organización e identificar los factores cruciales de vigilancia.
- Definir las fuentes y tipos de información relevantes, comprender la factibilidad de acceso y elegir los medios de extracción y seguimiento de la información.
- Obtener la información.

Una vez extraída la información, se la debe analizar y ampliar cuando sea necesario; además, las personas correspondientes deben tener fácil acceso a esta información para que finalmente puedan utilizarla en la toma de decisiones.

Es así como, mediante la Vigilancia Estratégica en una organización, la gerencia es capaz de identificar y monitorizar las tendencias en la cadena de valor de sus clientes, proveedores y entorno. Asimismo, se puede obtener información de valor estratégico de manera focalizada y continuada para reducir el riesgo en la toma de decisiones [7].

El aspecto más importante para su implementación es lograr que el sistema de vigilancia se adapte a la organización de forma particular, exclusiva y “personalizada”. En otras palabras, se debe focalizar en las necesidades reales de la empresa de forma que se responda a lo que realmente se quiere y se necesita.

B. Web Scraping

Actualmente, al poseer una vasta cantidad de información sobre diversos temas y tratar de obtener datos relevantes para una organización que trabaje con Vigilancia Estratégica, llega a ser necesario implementar técnicas de recopilación, organización y filtrado de datos que puedan controlar mejor la cantidad inmensa de información y además ayuden a que las organizaciones puedan procesarla de manera más eficiente.

Web Scraping es un proceso que usa bots, spiders o crawlers para extraer contenido y datos de un sitio web. De esta forma, se extrae el código HTML y junto con él, los datos almacenados en la base de datos [8].

Durante el Web Scraping se extraen y almacenan datos de páginas web para analizarlos o utilizarlos después. Gracias a este raspado web, se almacenan diversos tipos de información,

por ejemplo, datos de contacto, tales como direcciones de correo electrónico, números de teléfono, también términos de búsqueda o URL [9]. El Web Scraping se aplica en diversas tareas, por ejemplo, para recopilar datos de consumo, interacciones o información especial con gran rapidez. En el ámbito profesional, el scraping se utiliza frecuentemente para obtener ventajas respecto a la competencia [10].

El lenguaje de programación más utilizado para scrapear es Python [11], ya que tiene varias librerías para este fin: Scrapy, BeautifulSoup y Selenium. La más conocida y utilizada es probablemente Scrapy, que es un framework, y permite administrar peticiones, preservar sesiones de usuario y seguir redirecciones. Una de las mayores ventajas de Scrapy es que es muy eficiente y es capaz de scrapear más cantidad, más rápido y a menos coste de CPU que las otras alternativas [12].

C. Modelo de Aceptación Tecnológica

El Modelo de Aceptación Tecnológica, definido por sus siglas como TAM, fue propuesto por Davis en 1989 y se desarrolló con base en la Teoría de Acción Razonada (TRA) [13]. El objetivo es predecir la aceptación de los sistemas de información por los usuarios en las organizaciones que permita garantizar el éxito de su implementación [14]. En TAM se buscó establecer los criterios para comprender la intención conductual del uso. Entre los hallazgos se encontró que esta intención está influenciada más bien por una actitud individual que tiene dos factores determinantes: la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida [14].

En total, hay cuatro variables principales en TAM que determinan el uso efectivo de la tecnología, como se explica en la Fig. 2 [15].

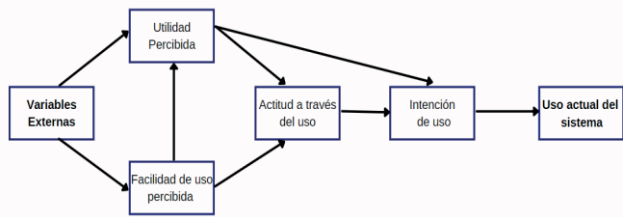


Fig. 2. Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM)[12]

De acuerdo con TAM, las variables externas influyen de manera directa en la Utilidad Percibida y en la Facilidad de Uso Percibida. Es así como las variables externas participan de forma indirecta en la actitud a través del uso y la intención de uso. La Facilidad de Uso Percibida tiene un efecto causal en la Utilidad Percibida, además del efecto significativo de esta variable en la actitud del usuario (un sentimiento en favor o en contra) hacia el uso del sistema [15]. En investigaciones posteriores se elimina Actitud a través del uso del modelo debido a que las medidas experimentales de esta variable no entregan evidencia suficiente para mantenerla.

III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura que se usó para la realización del sistema es Modelo – Vista – Controlador (MVC) la cual tiene como base el esquema descrito en la Fig. 3.

Como primer paso, el usuario realiza una solicitud al controlador con la información sobre lo que desea realizar. Entonces el Controlador llama y decide a quien delegar la tarea, como siguiente paso, el Modelo se encarga de realizar

las operaciones para cumplir con la solicitud. Una vez terminadas las operaciones, se regresa al Controlador los resultados el cual procede a la Vista. Finalmente, la Vista procesa y envía los datos de manera que sea visualmente entendible para el usuario.

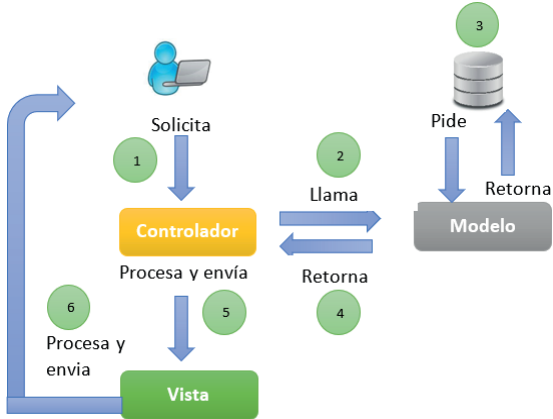


Fig. 3. Modelo MVC

IV. METODOLOGÍA SCRUM

Scrum es la metodología a ser utilizada en el desarrollo del sistema, el cual es un marco de trabajo que facilita el proceso de desarrollo de software iterativo y utilizado, comúnmente, en entornos basados en desarrollo ágil de software [16]. La realización del proyecto bajo la metodología Scrum permitirá realizar entregas de software funcional y útil para la organización. Además, se prioriza la respuesta a cambios y nuevos requerimientos, lo que genera una retroalimentación continua y una comunicación eficaz con el cliente. El desarrollo del proyecto en iteraciones facilita la división de tareas y asignación de tiempos de trabajo para los desarrolladores [17].

Dado este escenario para el proyecto y la metodología a aplicarse, las fases con sus actividades de acuerdo con el proceso planteado por Scrum son [18]:

- *Inicio:* Identificar al Scrum Máster, Stakeholder(s) y Equipo Scrum [19], desarrollar las épicas, crear la lista priorizada del Backlog y realizar el plan de lanzamiento.
- *Planificación:* Crear las Historias de Usuario, comprometer Historias de Usuario, identificar tareas, aplicar el proceso de estimación de Historias de Usuario y tareas y crear el Sprint Backlog.
- *Implementación:* crear entregables, realizar Daily Standup y refinar el Backlog priorizado del proyecto.
- *Revisión y Retrospectiva:* Demostrar y validar el Sprint, realizar la retrospectiva del Sprint.
- *Lanzamiento:* Preparar y enviar entregables y realizar retrospectiva del Proyecto.

A. Product Backlog

Las historias de usuario se definieron con criterios de aceptación, mismos que son considerados como criterios para comprobar si una historia de usuario fue desarrollada según la expectativa del dueño del producto y si esto se cumple.

Definidas las épicas y features se presenta el Product Backlog priorizado, el cual está detallado en la Tabla I.

Notación:

- HU: Historias de Usuario
- ID: Identificador
- Ez: Esfuerzo estimado

TABLA I. PRODUCT BACKLOG PRIORIZADO

HU (ID)	ENUNCIADO DE LA HISTORIA DE USUARIO	EZ
HU024	Como equipo Scrum de desarrollo se desea concretar los acuerdos en roles y disponibilidad de tiempo del Equipo Scrum con la finalidad de tener una estructura organizativa establecida dentro del proyecto.	3
HU022	Como equipo Scrum de desarrollo se desea conocer los estándares de codificación y documentación del código con el fin de realizar un desarrollo homogéneo del sistema.	3
HU092	Como equipo Scrum de desarrollo se desea instalar herramientas, programas y librerías que van a contribuir con el desarrollo del sistema web con el fin de tener un ambiente de trabajo listo para empezar a implementar el sistema web.	8
HU023	Como equipo Scrum de desarrollo se desea definir la arquitectura final del sistema con la finalidad de construir el sistema de forma organizada.	13
HU037	Yo como usuario autorizado, deseo poder obtener los rankings de los 5 medios de prensa digitales más influyentes de Latinoamérica con la finalidad de poder extraer información relevante para el proceso de recopilación de información.	8
HU0136	Yo como usuario autorizado, deseo poder extraer información de los medios de prensa elegidos con la finalidad de obtener información útil dentro del sistema de Vigilancia Estratégica.	34
HU0137	Yo como usuario autorizado, deseo ver la información obtenida de la ejecución de los spiders en la web con la finalidad de que sea accesible en todo momento por el Equipo desarrollador Scrum.	13
HU040	Yo como usuario autorizado, deseo extraer información de usuarios o páginas públicas de las Redes Sociales mediante sus APIs o librerías con la finalidad de obtener información relevante para el proceso de Vigilancia Estratégica.	21
HU0138	Yo como usuario autorizado deseo poder ver la información del usuario de la red social en la Web con la finalidad de que esta información sea accesible por el Equipo Scrum.	13
HU0135	Yo como usuario autorizado, deseo poder ingresar al sistema web con la finalidad de acceder y utilizar todas sus funcionalidades.	13
HU058	Yo como usuario autorizado, deseo poder tener la posibilidad de modificar los datos de registro de un Tema con la finalidad de poder actualizar su información.	8
HU068	Yo como usuario autorizado, deseo tener la posibilidad de eliminar un Tema registrado en caso de ser necesario.	5

HU (ID)	ENUNCIADO DE LA HISTORIA DE USUARIO	EZ
HU063	Yo como usuario autorizado, deseo registrar un Tema en el sistema con la finalidad de guardar la información y utilizarla durante el proceso de recopilación de información.	13
HU0185	Yo como usuario autorizado, deseo registrar un Actor en el sistema con la finalidad de guardar la información y utilizarla durante el proceso de recopilación de información.	13
HU025	Yo como usuario autorizado, deseo tener la posibilidad de eliminar un Actor registrado en caso de ser necesario.	5
HU0114	Yo como usuario autorizado, deseo tener la posibilidad de modificar los datos de registro de un Actor con la finalidad de poder actualizar su información.	13
HU0117	Yo como usuario autorizado, deseo tener la posibilidad de eliminar un usuario Actor registrado en caso de ser necesario.	8
HU064	Yo como usuario autorizado, deseo poder buscar a todos los usuarios relacionados con el Actor en las distintas redes sociales con la finalidad de seleccionar a los usuarios más adecuados para continuar con el proceso de registrar un Actor.	13
HU0118	Yo como usuario autorizado, deseo poder visualizar y seleccionar uno o más usuarios de las diferentes redes sociales con la finalidad de agregar usuarios al Actor y continuar con el proceso de registro del Actor.	8
HU027	Yo como usuario autorizado, deseo poder seleccionar uno o más medios de prensa digitales en español más influyentes de Latinoamérica disponibles con la finalidad de poder realizar la recolección de información en el medio más adecuado para el Actor ingresado.	13
HU067	Yo como usuario autorizado, deseo ingresar entidades similares al nombre del Actor, con la finalidad de utilizar estas entidades como parámetros de búsqueda en el proceso de recolección de información.	13
HU0119	Yo como usuario autorizado, deseo agregar usuarios de redes sociales al Actor con la finalidad de incrementar mi lista de usuarios y obtener más información de estos al momento de empezar el proceso de recolección de información.	13
HU0120	Yo como usuario autorizado, deseo poder tener la posibilidad de eliminar los medios de prensa digital del Actor registrado en caso de ser necesario.	8
HU0121	Yo como usuario autorizado, deseo poder tener la posibilidad de modificar las entidades registradas dentro del medio digital de un Actor con la finalidad de actualizar mi parámetro de búsqueda en el proceso de recolección de información.	8
HU086	Yo como usuario autorizado, deseo modificar los parámetros de consulta de Fuentes de la Celda con la finalidad de actualizar la información registrada y continuar con el proceso de recolección de información.	21
HU026	Yo como usuario autorizado, deseo visualizar la información obtenida de noticias según el criterio de búsqueda ingresado con la finalidad de identificar factores claves a la Vigilancia Estratégica.	5

HU (ID)	ENUNCIADO DE LA HISTORIA DE USUARIO	EZ
HU0126	Yo como usuario autorizado, deseo modificar el nivel de prioridad al cruce de Actor & Tema con la finalidad de indicar los cruces más relevantes a tomar en cuenta en el proceso de Vigilancia Estratégica.	13
HU0122	Yo como usuario autorizado, deseo poder crear una Matriz con el cruce de Actor/Tema con la finalidad de observar gráficamente cuales son los cruces que se pueden relacionar.	21
HU0123	Yo como usuario autorizado, deseo poder visualizar todas las Matrices Actor-Tema creadas por los colaboradores en tiempo real con la finalidad de observar el trabajo de los demás usuarios.	21
HU0124	Yo como usuario autorizado, deseo poder tener la posibilidad de eliminar la Matriz Actor-Tema creada en caso de ser necesario.	13
HU0125	Yo como usuario autorizado, deseo invertir las filas y columnas de la Matriz Actor-Tema con la finalidad de permitir otra visualización de la Matriz si fuera necesario.	13
HU087	Yo como usuario autorizado, deseo eliminar resultados obtenidos con la finalidad de descartar información irrelevante.	13
HU057	Yo como usuario autorizado, deseo calificar los resultados obtenidos con la finalidad de agregar valor a la información obtenida.	5
HU0128	Yo como usuario autorizado, deseo exportar los resultados obtenidos de la recolección de información con la finalidad de compartir estos datos con la comunidad de Vigilancia Estratégica.	13

B. Planificación de Lanzamiento

Con el fin de permitir al equipo Scrum tener una visión global de las características a implementarse y cuándo éstas se completarán, se planificó, qué Historias de Usuario debían desarrollarse para cada Sprint, tomando en cuenta los puntos de esfuerzo (Tabla II). La duración de cada Sprint fue fijada en 2 semanas.

TABLA II. PLANIFICACIÓN DE LANZAMIENTO						
Sprint #	Sprint 0	Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4	Sprint 5
HU (ID)	HU022 HU023 HU024 HU092	HU037 HU040 HU0136 HU0137 HU0138	HU025 HU058 HU063 HU068 HU0114 HU0135 HU0185	HU027 HU064 HU067 HU0117 HU0118 HU0119 HU0120 HU0121	HU0122 HU0123 HU0124 HU0125	HU026 HU057 HU086 HU087 HU0126 HU0128
Esfuerzo total	27	89	70	84	68	70

C. Ejecución de Sprints

La ejecución de los Sprints se realizó con base al plan de entregas definido previamente, la misma que se actualizó y adaptó al final de cada Sprint para cubrir los nuevos requerimientos y cambios en el producto. Como ejemplo, se

muestra la ejecución del Sprint 1, que da inicio al proceso de recolección de información con técnicas de web Scraping.

- *Ejemplo: Ejecución de Sprint 1*

En este Sprint se definió realizar una investigación sobre el acceso a las APIs de redes sociales y también la aplicación de web Scraping en 5 medios de prensa digitales en español más influyentes de Latinoamérica.

- *Planificación del Sprint 1*

Equipo Scrum se reunió para definir la lista del Product Backlog a realizarse en este Sprint, indicando cuáles serán los entregables junto con los criterios de aceptación de las Historias de Usuario.

- *Objetivos del Sprint 1*

- Elegir los 5 medios de presa digitales más influyentes de Latinoamérica.
- Extraer información de los medios de prensa elegidos.
- Visualizar la información obtenida de la ejecución de los spiders en la web.
- Extraer información de usuarios o páginas públicas de las redes sociales mediante sus APIs o librerías.

- *Revisión del Sprint 1*

El Sprint 1 fue revisado por el Equipo Scrum de acuerdo con los criterios de aceptación de las Historias de Usuario descritos en la Tabla III alcanzando con éxito la meta del Sprint 1 y cumpliendo con cada funcionalidad planteada.

TABLA III. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LAS HU DEL SPRINT 1

ID: DESCRIPCIÓN	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	ESTA DO
HU037: Yo como usuario autorizado, deseo poder obtener los rankings de los medios 5 medios de presa digitales más influyentes de Latinoamérica con la finalidad de poder extraer información relevante para el proceso de recopilación de información.	Estos rankings deben basarse en: • El número de visitas al medio digital. • Rankings de varios medios de la prensa local. • Estos medios deben ser de distintos países de la región. • Los medios digitales deben ser en idioma español. • Los medios elegidos deben permitir aplicar las técnicas de web Scraping.	DONE
HU040: Yo como usuario autorizado, deseo extraer información de usuarios o páginas públicas de las redes sociales mediante sus APIs o librerías con la finalidad de obtener información relevante para el proceso de Vigilancia Estratégica.	La información que se requiere obtener de la API de la red social Twitter es: • Para la información del usuario: ○ Nombre del usuario. ○ Descripción del usuario. ○ Fotografía o avatar del usuario. ○ Nombre de la red social a la que pertenece. • Para la información del tuit del usuario:	DONE

ID: DESCRIPCIÓN	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	ESTA DO
	○ Descripción del tuit del usuario. ○ Fecha de publicación de los Tuits en su formato día/mes/año. ○ Enlace del tuit. ○ Nombre de la red social a la que pertenece.	
	La información que se requiere obtener de la red social Facebook es: • Descripción de la publicación reciente del usuario Facebook. • Fecha de la publicación en su formato día/mes/año. • Enlace de la publicación. • Nombre de la red social a la que pertenece.	DONE
	La información que se requiere obtener de la red social LinkedIn es: • Descripción de la publicación reciente del usuario LinkedIn. • Fecha de la publicación en su formato día/mes/año. • Enlace de la publicación. • Nombre de la red social a la que pertenece.	DONE
	HU0136: Yo como usuario autorizado, deseo extraer información de los medios de prensa elegidos con la finalidad de obtener información útil para el sistema de Vigilancia Estratégica.	
	La información que se requiere obtener de los medios de prensa es: • El título de la noticia. • La descripción de la noticia. • Fecha de la noticia publicada en su formato día/mes/año. • Enlace de la noticia.	DONE
	HU0137: Yo como usuario autorizado, deseo ver la información obtenida de la ejecución de los spiders en la web con la finalidad de que sea accesible en todo momento por el Equipo desarrollador Scrum.	DONE
	• Si el Equipo desarrollador Scrum desea acceder a la data obtenida luego de la ejecución del spider, esta debe ser mostrada en la web y estar disponible en formato JSON. • Si se desea actualizar la data obtenida luego de la ejecución del spider esta acción se debe poder realizar en tiempo real.	DONE
	HU0138: Yo como usuario autorizado, deseo poder ver la información del usuario de la red social en la Web con la finalidad de que esta información sea accesible por el equipo Scrum.	DONE
	• Si el Equipo Scrum desea acceder a la información del usuario esta debería estar disponible en todo momento. • Si el Equipo de desarrollo Scrum desea obtener la información del usuario, el servidor deberá permitir ingresar el nombre del usuario y obtener dicha información.	DONE

En el Burndown Chart que corresponde al Sprint 1 se resume el desempeño del Equipo de desarrollo realizado durante cada uno de los días del Sprint (Fig. 4).

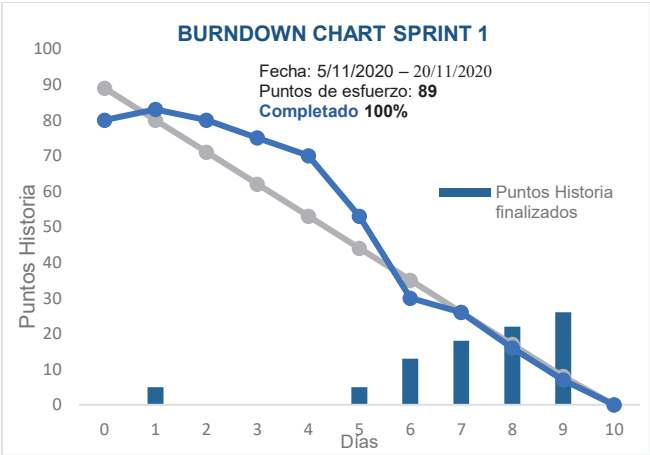


Fig. 4. Bumdown chart del Sprint 1.

En Burndown chart, se indica la fecha de inicio y fecha de finalización del Sprint. El equipo de desarrollo Scrum ha completado el 100% de las Historias de Usuario asignadas. Como se observa, se presentó retrasos en los primeros días del sprint debido a que el equipo necesitó un Spike (tiempo orientado a la investigación o experimentación). Este fue necesario para realizar la investigación sobre el manejo de limitaciones de las APIs de redes sociales, sin embargo, se encontró soluciones óptimas como el replanteamiento de los criterios de aceptación de la HU040 para así lograr el objetivo planteado del Sprint 1.

• Retrospectiva del Sprint 1

Con el objetivo de seguir mejorando la productividad del Equipo Scrum en el desarrollo del presente proyecto, se plantea en la Tabla IV un resumen general del Sprint 1, además de las acciones de mejora para aplicar en el siguiente Sprint.

TABLA IV. SPRINT 1 EN RESUMEN

QUÉ SE HIZO BIEN	QUÉ SE HIZO MAL
- Cumplir los objetivos planteados del Sprint 1. - Cumplir con las tareas asignadas en el tiempo esperado. - Encontrar alternativas eficientes para afrontar los inconvenientes de limitaciones de las APIs de las redes sociales. - Virtudes que demostró el Equipo Scrum al solventar problemas en corto tiempo para lograr el cumplimiento del Sprint 1. - Reasignar el criterio de aceptación del manejo de la red social de Instagram a un siguiente sprint.	- Falta de comunicación por parte del Equipo Scrum para definir los criterios sobre los cuales se elegirían los medios de prensa digitales más influyentes en Latinoamérica. - Mala estimación de la HU040, no se consideró el Spike que necesita el equipo para continuar con el desarrollo del proyecto por lo que provocó una sobrecarga de trabajo para el equipo.
IDEAS	ACCIONES
Investigar posibles alternativas para trabajar con la red social de Instagram.	Buscar información más detallada y actualizada sobre la API de Instagram.

- Definir los posibles Spike que el equipo necesita para continuar con el desarrollo del proyecto.
- Mantener chat activo con el intercambio de criterios y reporte de avances.
- Actualizar los puntos de esfuerzo en las siguientes Historias de Usuario.
- Actualizar el Product Backlog.

V. DISCUSIÓN

El sistema fue sometido a pruebas funcionales y de aceptación (TAM). Para validar la funcionalidad de la aplicación se establecieron casos de prueba que permitan demostrar si se cumplen o no los requerimientos de desarrollo predefinidos. Por otra parte, para las pruebas TAM, se realizaron pruebas al sistema con la colaboración de cinco grupos de seis participantes cada uno, los participantes fueron estudiantes que tenían conocimientos relacionados al proceso de SScan los cuales, al finalizar, respondieron una encuesta que utilizó preguntas relacionadas con los parámetros en los que se basa TAM.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que el sistema es intuitivo. Sin embargo, se puede recomendar que los usuarios que manejen el sistema deben tener un conocimiento previo de definiciones clave de Vigilancia Estratégica. Además, al momento del despliegue del sistema, los usuarios finales deben cumplir con un proceso de *training* para el uso óptimo de las funcionalidades que éste ofrece, dado que los resultados de evaluación reportan que el sistema cuenta con una aprobación del 83% en cuanto a la facilidad de uso.

Para la recolección de información a partir de las distintas fuentes disponibles del sistema, es importante mencionar que, debido a las diferentes técnicas de extracción de información, es un reto solventar todos los desafíos que se presentan al trabajar con Web Scraping. Por ejemplo, uno de ellos es el tiempo excesivo de carga de los sitios web de donde se desea extraer información, inclusive existe la posibilidad de que no se cargue las páginas debido a que reciben demasiadas solicitudes de acceso. Por un lado, esto no es un problema cuando personalmente navegamos por el sitio ya que solo se necesita volver a cargar la página web y esperar que el sitio responda; pero, en contraste, un scraper no conoce cómo lidiar con tal inconveniente por lo cual dentro del sistema se controla dichas peticiones generando un tiempo considerable de espera para los usuarios que trabajen al mismo tiempo con el sistema.

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología Scrum en el presente proyecto permitió el rápido avance en su realización, ya que al tener una comunicación diaria con todo el Equipo Scrum se pudo solventar de manera eficiente cualquier inconveniente que se presentara, así también obtener retroalimentaciones al final de cada Sprint con el fin de asegurar el cumplimiento de cada funcionalidad requerida por el Product Owner.

El trabajo con las APIs de las redes sociales fue un reto en el presente proyecto, ya que, en medida del crecimiento de la mala práctica del uso de la data, las APIs de redes sociales actualmente han impuesto restricciones para los desarrolladores y analistas de datos. Por este motivo, para el cumplimiento de las metas del proyecto, se trabajó con librerías actualizadas al tiempo de desarrollo de este sistema,

año 2021, respetando las políticas de seguridad de cada red social.

El sistema web ayuda a disminuir tiempo y esfuerzo para encontrar información precisa y útil para compartir con la comunidad de Vigilancia Estratégica, ya que aprovecha la ventaja de trabajar con Web Scraping al permitir recolectar información y contenido de forma rápida y actual. Este antecedente es valorado en gran medida considerando la sobrecarga de información a la que están sometidas las organizaciones.

Los resultados de las pruebas muestran que de manera general, el trabajo desarrollado logra cumplir con los objetivos propuestos como lo es el proceso de recolección de información de las redes sociales y medio digitales propuestos.

Para el sistema es importante el principio de usabilidad con el fin de que los usuarios finales puedan emplearlo de manera fácil, intuitiva y sin complicaciones que afecten la recolección de información que alimenta al proceso de Vigilancia Estratégica. Entonces, de acuerdo con los resultados recopilados después de la evaluación, el sistema presenta una aceptación del 83% de parte de los participantes respecto a su facilidad de uso.

REFERENCIAS

[1] F. J. Aguilar. Scanning the business environment. New York, USA: Macmillan, 1967.

[2] H. Lesca, and N. Lesca. Weak signals for strategic intelligence: anticipation tool for managers, London, UK: ISTE-Wiley, 2011.

[3] E. Loza-Aguirre, and A. Buitrago, “Qualitative assessment of user acceptance within Action Design Research and Action Research: two case studies,” Latin American Journal of Computing, vol. 1, no. 1, pp. 12-12, 2014.

[4] A. Carbonell Martínez, “Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva al servicio de la innovación,” Universitat Politècnica de València, España, 2019.

[5] CMI Gestión, “Vigilancia Estratégica como ventaja competitiva,” [Online]. Available: <https://cmigestion.es/2017/03/07/vigilancia-estrategica-como-ventaja-competitiva/>. [Accessed: Mar.16, 2021].

[6] CIDEI, “Vigilancia Estratégica,” [Online]. Available: <http://cidei.net/vigilancia-estrategica/> [Accessed: Mar.07, 2021].

[7] A. Carbonell Martínez, “Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva al servicio de la innovación. 3C Tecnología,” Glosas de innovación aplicadas a la pyme, vol. 8(4), pp. 61-69, 2019.

[8] Antevenio, “Qué es el web scraping, para qué sirve y como suele utilizarse,” . (2021). [Online]. Available: <https://www.antevenio.com/blog/2019/03/que-es-el-web-scraping-y-para-que-sirve/> [Accessed: Mar.20, 2021].

[9] IONOS Digitalguide, “¿Qué es el web scraping?,” [Online]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/que-es-el-web-scraping/> [Accessed: Jul.26, 2021].

[10] MINTIC, “¿Qué es web scraping? Curso de Python,” [Online]. Available: <https://mintic.platzi.com/clases/1698-mintic-python/7118-que-es-web-scraping-6/> [Accessed: Abr.04, 2021].

[11] A. Visus, “¿Para qué sirve Python? Razones para utilizar este lenguaje de programación,” Esic Business & Marketing School. [Online]. Available: <https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/para-que-sirve-python> [Accessed: Abr.10, 2021].

[12] A. Lafuente, “Qué es el web scraping,” Aukera. [Online]. Available: <https://aukera.es/blog/web-scraping/> [Accessed: Abr.18, 2021].

[13] D. Leyton, “Extensión al Modelo de Aceptación de Tecnología TAM,” Repositorio uchile.cl, 2013.

[14] V. Del Campo, and F. Scholborgh, “Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM),” Revista Espacios, vol. 41, no. 37, pp. 159-171, 2020.

[15] J. Yong, J. Rivas and J. Chaparro, “Modelo de aceptación tecnológica (TAM): un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC,” Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas, Colombia, 2009.

[16] J. J. Díaz Ortiz, and M. A. Romero Suarez, “Desarrollo e implementación de un aplicativo web, utilizando la metodología Scrum, para mejorar el proceso de atención al cliente en la empresa Z Aditivos SA,” 2017.

[17] M. Trigas Gallego, “Metodología Scrum,” 2012

[18] G. Mancuzo, “Fases de la Metodología Scrum”. ComparSoftware Blog, 2020.

[19] Softeng, “Proceso y Roles de Scrum,” [Online]. Available: <https://www.softeng.es/es-es/empresa/metodologias-de-trabajo/metodologia-scrum/proceso-roles-de-scrum.html> [Accessed: May.05, 2020].

AUTHORS



Carol Oña

Ingeniera en Sistemas Informáticos y de Computación de la Escuela Politécnica Nacional. Con conocimientos en desarrollo Web; backend (PHP, Javascript, JAVA, Python) y frontend (HTML5, CSS3 y Javascript). Participó en varios proyectos de desarrollo, uno de ellos fue el desarrollo de la primera fase del Sistema Integrado de Centros de Formación Artesanal (SICFA) para la Junta Nacional de Defensa del Artesano. Actualmente se encuentra en el campo de diseño web enfocada en la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de sitios web, con el objetivo de crecer, aprender y mejorar cada día.



Nicole Pirca

Ingeniera en Sistemas Informáticos y de Computación, graduada en la Escuela Politécnica Nacional apasionada en el campo de ciencia de datos (Data Science). Recibió diploma de Bachillerato de Servicios Aplicaciones Informáticas en 2015. Actualmente trabaja en análisis de datos y procesamiento de información aplicado en el área comercial y participa activamente en la creación de sistemas de software con la tecnología de Blockchain y Big Data.



Lorena Recalde

Lorena Recalde obtuvo su Ph.D. en la Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España, 2018, donde colaboró en el grupo de investigación Web Science and Social Computing. Realizó su maestría en Suiza, en la Universidad de Friburgo y obtuvo el Master en Ciencias de Computación con mención en Procesamiento Avanzado de la Información, 2014. Sus principales temas de investigación son los Sistemas de Recomendación, con un enfoque especial en el modelado de interés del usuario de redes sociales, minería Web, ML y NLP. Además de las publicaciones en conferencias y en dos revistas Q1, Lorena ha presentado su trabajo en tres sesiones de posters, un simposio de doctorado, dos tutoriales académicos y fue invitada como keynote en GEITEC2019, Lima, Perú. Actualmente es investigadora y docente a tiempo completo de pregrado y maestría en el Departamento de Informática y Ciencias de la Computación de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.



Edison Loza-Aguirre

Edison Loza-Aguirre trabaja como profesor agregado de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador (EPN) y es un investigador asociado al Laboratorio CERAG CNRS FRE 3748 de la Universidad Grenoble Alpes (UGA). Actualmente es el Coordinador del Laboratorio en Analítica de Datos y Sistemas de Información de la EPN. Obtuvo su título de PhD en Gestión de Sistemas de Información en la UGA. Tiene un Máster en Investigación de la Universidad Pierre-Mendès-France y una Maestría en Gestión de TICs de la EPN. Realizó sus investigaciones posdoctorales en el Instituto de Administración de Empresas de Grenoble, en Francia. Sus investigaciones se centran en vigilancia estratégica, analítica de datos y sistemas de soporte para toma de decisiones. Ha presentado sus trabajos en diversas conferencias y ha publicado artículos en revistas como Communications of the Association Information Systems, IET Software y el French Journal of Management Information Systems. A nivel profesional, trabaja como consultor en Sistemas de Soporte para la Toma de Decisiones, Analítica de Datos, Estrategia de Datos, y Gobernanza de Datos.

Recognition of necrotic lesions for the detection of the thrips plague in peas using the deep learning model yolov4-tiny

Reconocimiento de lesiones necróticas para la detección de la plaga thrips en el guisante mediante el uso del modelo deep learning yolov4-tiny

ARTICLE HISTORY

Received 15 October 2021
Accepted 23 November 2021

Carlos Jonathan Guerrero-Andrade

Instituto de Postgrado UTN
Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador
cjguerreroa@utn.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0743-8438

Silvia Diana Martínez-Mosquera

Departamento de Informática y Ciencias de la Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
diana.martinez@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0002-0573-8640

Reconocimiento de lesiones necróticas para la detección de la plaga thrips en el guisante mediante el uso del modelo deep learning yolov4-tiny

Recognition of necrotic lesions for the detection of the thrips plague in peas using the deep learning model yolov4-tiny

Carlos Jonathan Guerrero-Andrade
Instituto de Postgrado UTN
Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador
cjguerreroa@utn.edu.ec
ORCID: 0000-0003-0743-8438

Silvia Diana Martínez-Mosquera
Departamento de Informática y Ciencias de la Computación
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
diana.martinez@epn.edu.ec
ORCID: 0000-0002-0573-8640

Resumen— En la actualidad, el monitoreo de cultivos en las parcelas agrícolas sigue siendo una de las tareas más significativas que tiene la agricultura de precisión; debido a que, por medio de esta actividad se puede efectuar la estimación del rendimiento y la predicción de cosechas en los cultivos. Además de las complicadas condiciones atmosféricas y factores climáticos como las fuertes heladas y las largas sequías que presentan el sector, la detección temprana de plagas y enfermedades se ha convertido en un desafío que los productores deben asumir frecuentemente con la finalidad de evitar la pérdida de sus cultivos. Con base en esto, esta investigación propone un sistema de reconocimiento rápido y eficaz de lesiones necróticas causadas por la plaga thrips en el guisante mediante la implementación del modelo *deep learning* yolov4-tiny. Para el desarrollo del sistema se utilizó un *dataset* de 502 imágenes con un total de 6000 épocas de entrenamiento. Los resultados alcanzados por el sistema desarrollado mostraron que la Intersección sobre la Unión (IoU) es del 59,23% para una Precisión Media (mAP) de 81,60% sobre un conjunto de datos de alta densidad. Determinando así que el sistema consigue una efectividad del 86% en la detección del objeto de estudio.

Palabras clave— *lesiones necróticas, plaga thrips, deep learning, yolov4-tiny*

Abstract— Nowadays, the monitoring of crops in agricultural plots continues to be one of the most significant tasks for the precision agriculture, since, through this activity the estimation of the yield and the prediction of crops can be performed. In addition to the complicated atmospheric conditions and climatic factors such as strong frosts and long droughts that the sector presents, the early detection of pests and diseases has become a considerable challenge for the growers to avoid the loss of their crops. This research proposes a rapid and efficient recognition system for necrotic lesions caused by the thrips plague in peas by implementing the Yolov4-Tiny *deep learning* model. For the development of the system, a *dataset* of 502 images with a total of 6000 training periods were used. The results achieved by the developed system present that the Intersection on the Union (IoU) is 59.23% for a Mean Precision (mAP) of 81.60% on a high-density data set. Thus, determining that

the system achieves an effectiveness of 86% in the detection of the object of study.

Keywords— *necrotic lesions, plague thrips, deep learning, yolov4-tiny*

I. INTRODUCCIÓN

A. Contextualización

En un informe relativo a los años 2019-2020, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), así como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) [1] expresan que, no se puede reducir la pobreza, la malnutrición y el cambio climático; si el sector político y la sociedad no proyectan a las zonas rurales como motor de desarrollo económico, social y ambiental [1]. Además, han expresado que todas las actividades agrícolas, deben ser consideradas como un eje fundamental para el impulso económico y el desarrollo sostenible del sector rural [1].

La agricultura en la actualidad sigue siendo un factor muy importante para la economía y la sociedad. De acuerdo con la FAO, el potencial agrícola de América Latina y el Caribe (LAC), viene siendo uno de los principales abastecedores de alimentos a nivel mundial [2]. Pero, en las últimas décadas, se tiene evidencias que los resultados en la producción de cultivos han sido variables, esto se debe en gran parte a las situaciones ambientales y climáticas [2]. Entre los años 2005-2015, este tipo de circunstancias han ocasionado pérdidas en el sector agrícola y pecuario de aproximadamente 13.000 millones de dólares en LAC. Mientras que solo en las leguminosas las pérdidas fueron de 8.000 millones de dólares [2].

En el transcurso del tiempo las condiciones atmosféricas, así como los factores climáticos en el sector agrícolas han

C. Guerrero-Andrade, and S. Martínez-Mosquera,
“Recognition of necrotic lesions for the detection of the thrips plague in peas using the deep learning model yolov4-tiny”,
Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 9, no. 1, 2022.

jugado un papel importante para que exista la presencia de plagas o enfermedades en los cultivos [3]. Donde los Kakothrips Robustus Uzel o también conocidos como thrips, es una de las principales plagas que ataca a la mayoría de las leguminosas [3]. Debido a que, causan diferentes síntomas en los cultivos como la deformación o el cambio estético en las hojas, tallos y frutos. Además, provocan la decoloración y la aparición de manchas de color plomo, marrón y negro en las diferentes partes del cultivo [3].

En vista al constante incremento de este tipo de plagas en la mayoría de leguminosas. Algunos sectores relacionados a la agricultura y entidades gubernamentales, han venido utilizando plaguicidas y pesticidas como parte esencial de la producción agrícola [4]. La aplicación directa de estos insumos, han permitido reducir las pérdidas de los cultivos en un 35%. Pero el uso frecuente y habitual de los plaguicidas es sumamente peligroso para los seres humanos y el medio ambiente [4].

B. Cultivo del guisante en Ecuador

En Ecuador, el Eje de Economía al Servicio de la Sociedad del Plan Nacional de Desarrollo (PND), expresan que, en los últimos años se han venido realizando grandes avances en el sector agrícola. Pero, el nivel del rendimiento de los productos básicos y de exportación sigue siendo muy bajo. Por este motivo, todavía existe el desafío de trabajar en la democratización de las distintas unidades productivas a través del fortalecimiento de programas de asistencia técnica, así como la capacitación y la innovación del sector agrícola [5].

Para el 2019, el sector agrícola del Ecuador aportó con el 8% de la producción total de la nación siendo esta la actividad que más empleos generó. A pesar de los grandes avances tecnológicos que se tiene actualmente para la producción de cultivos, el rendimiento en las parcelas agrícolas es bajo en relación con otros países [6].

En Ecuador, el guisante es una de las leguminosas más consumidas, debido a que es considerado como uno de los alimentos más importantes en la dieta de las personas. Por ejemplo, en el año 2017 la producción del guisante tierno disminuyó en un 39% respecto al 2016. De igual manera, la producción del guisante seco presentó un descenso de 32% [6]. Este comportamiento está relacionado con la reducción simultánea de la superficie en las cosechas, los factores climáticos, la calidad del cultivo, y el rendimiento del producto [6].

El guisante en Ecuador es cultivado en toda la región andina del país, siendo la provincia del Carchi la que mayor producción registra. Con un total de 9.462 hectáreas por año, que es igual a un rendimiento de 8 toneladas en promedio por hectárea y representa el 47,46% de la producción nacional [7].

C. Cultivo del guisante en la provincia del Carchi

En los últimos años, la producción del guisante en la provincia del Carchi ha presentado un crecimiento indeterminado en zonas comprendidas entre los 2.700 y 2.800 m.s.n.m. De esta manera, se ha convertido en uno de los

cultivos más importantes del sistema de producción de la región norte del país [8].

Entre las variedades del guisante de mayor producción está la Quantum que es cultivada entre los 2.600 a 2.900 m.s.n.m. Los cantones Bolívar, Espejo, y Montúfar son los que más producen este tipo de guisante. En cambio, la obonuco andina es cultivada entre los 2.700 a 3.300 m.s.n.m., y es cultivada más en los cantones Huaca, Tulcán, y parte de Montúfar [9].

A nivel cantonal, Bolívar es el cantón que más produce guisante como se indica en la Tabla.1.

TABLA I. CULTIVO DEL GUISANTE EN LA PROVINCIA DEL CARCHI [9]

Producto	Cantón	Extensión (Has)	Porcentaje (%)	Producción (TM)
Guisante (Pisum Sativum)	Bolívar	957	45,68	2.730,29
	Espejo	254	12,12	724,41
	Mira	224	10,72	640,73
	Montúfar	603	28,80	1.721,38
	Huaca	32	1,54	92,05
	Tulcán	24	1,14	68,14
Total		2.094	100,00	5.977,00

De acuerdo a las condiciones climáticas que presenta el cantón Bolívar, esta es considerada como una de las zonas idóneas en la región para la producción del guisante. Debido a que, cuenta con una superficie aproximada de 36.056 hectáreas y una altura aproximada de 2.503 m.s.n.m., además, de una temperatura promedio que varía entre 12 y 18°C [10].

Sin embargo, gran parte de la producción de este tipo de leguminosas ha presentado dificultades que están relacionadas a los factores climáticos como las heladas y en ocasiones las largas sequías. Además, los problemas fitosanitarios, las etapas de germinación y desarrollo del cultivo han provocado que exista una baja producción [8]. De la misma forma, las constantes precipitaciones en el sector y la alta humedad en los terrenos han causado en algunas ocasiones la pérdida total del guisante. Este tipo de situaciones crea las condiciones adecuadas para el desarrollo de plagas en los cultivos [8].

D. Trabajos relacionados a la investigación

Los siguientes trabajos de investigación, afrontan la temática planteada con la aplicación de diferentes modelos de *deep learning*.

La investigación desarrolla por R. Dalai y K. Kumar Senapati propone el empleo de un mecanismo de detección que está basado en la arquitectura de una *Region Based Convolutional Neural Networks* (RCNN) [11]. Además, utiliza una segmentación establecida en *deep learning*, mediante la implementación el extractor de características ResNet-50.

Otra investigación realizada por Ai, C. Sun, J. Tie y X. Cai, utiliza el modelo Inception-ResNet-v2, y el *dataset* público de *AI Challenger* de 27 imágenes de enfermedades de 10 tipos de cultivos [12]. Los resultados de los experimentos identificaron de manera eficaz los datos y alcanzaron una precisión del 86,1% en el reconocimiento del objeto de estudio.

H. Kuzuhara, H. Takimoto, Y. Sato y A. Kanagawa, en su investigación, proponen dos métodos de detección e identificación de pequeñas plagas, basados en CNN [13]. Además, se presenta una red basada en la arquitectura Yolov3 y un método de reidentificación usando el modelo Xception.

En la investigación efectuada por C. Chen, Y. Huang, Y. Li, Y. Chen, C. Chang e Y. Huang se empleó un vehículo aéreo no tripulado para fotografiar la plaga en los cultivos, y a través de la arquitectura CNN yolov3-tiny en un sistema integrado NVIDIA Jetson TX2, consiguieron realizar el reconocimiento de la plaga en tiempo real [14]. De esta manera, el vehículo agrícola rocía el pesticida, solo donde sea necesario reduciendo así el daño al medio ambiente y aumentando el rendimiento de los cultivos.

La investigación desarrollada por A. Chakravarthy y S. Raman presenta un estudio de la identificación temprana del tizón en el tomate, para este propósito se utilizaron las arquitecturas ResNet y Xception, alcanzando una precisión de clasificación del 99,95% [15]. Pero, la falta de información espacial para las hojas afectadas limitó de cierta manera avanzar hacia la detección de objetos por lo que decidieron emplear variantes como la arquitectura yolov3-SPP (tolerancia a fallos limitada) e yolov3-tiny (inferencia en tiempo real) [15].

Finalmente, K. Li, J. Zhu y N. Li en su investigación adoptaron una red de detección de objetivos basada en el modelo Yolov3 para realizar la detección de múltiples objetivos, y CSPDarknet-53 como red de extracción de características [16]. Además, utilizaron CIOU como la función de pérdida de la predicción de regresión y el algoritmo de agrupamiento de K-means, para otorgar prioridad al objeto sobre un conjunto de datos [16]. Los resultados de las experimentaciones muestran que el modelo alcanza una precisión del 90,62% [16].

La presente investigación propone la aplicación del modelo de *deep learning* para el reconocimiento de lesiones necróticas que son provocadas por la plaga thrips en los cultivos del guisante. Esta es una de las principales plagas que ataca a la mayoría de las leguminosas. Para el modelo planteado se implementó la arquitectura yolov4-tiny sobre una *Single Board Computer* (SBC), gracias al mejoramiento que ofrece respecto a la precisión y al tiempo de respuesta en relación a su predecesor Yolov3, el que mismo que fue utilizado en algunas de las anteriores investigaciones.

II. MARCO TEÓRICO

A. Plaga Thrips

Los thrips, como se muestra en la Fig.1, son pequeños insectos que tienen una textura es de forma cilíndrica,

alargada y su color puede variar de gris a negro, o de amarillo a marrón, y pertenecen a la familia de los tisanópteros [17]. Este tipo de patógenos puede desplazarse por el cultivo realizando pequeños vuelos o llevados por el viento [17]. Debido a su hábito alimenticio, los thrips suelen encontrarse en los tallos, hojas, flores y en el polen de las plantas en una gran variedad de cultivos donde se alimentan y se reproducen [17].



Fig.1. Plaga thrips del guisante o arveja

Los daños que causa la plaga thrips en el guisante pueden ser detectados principalmente en el fruto o vainas, debido a las lesiones o cicatrices necróticas que estás tienen [3]. Este tipo de lesiones se debe a que los thrips extraen los fluidos de las células vegetales, las cuales se llenan de aire y se vuelve de color gris [3]. Además, se pueden observar en las áreas afectadas puntos de color negro que es el excremento de la plaga [3].

Las lesiones necróticas que suelen presentarse en gran parte del cultivo son originadas por los thrips, estos patógenos son una de las principales causas de la reducción en la producción [3]. De igual manera, la presencia de secuelas como picaduras en el fruto provocan rechazo del cultivo para su comercialización, debido al estado actual y calidad del producto [3].

En la actualidad, existen algunos métodos que permiten realizar el control de la plaga thrips como el trapeo, el control biológico y químico. Pero, no se conoce de un método automático en el mercado. Aunque, existen algunas investigaciones relacionadas a la detección de otro tipo de plagas y enfermedades de diferentes cultivos, a través de la implementación de varias arquitecturas de CNN y métodos de *deep learning*. Estas tendencias tecnológicas han permitido realizar la identificación y clasificación de plagas, así como la revisión del estado actual del cultivo a partir de imágenes. Además, se puede efectuar de manera automática el seguimiento, la planificación y la predicción de cosechas.

B. Modelo Yolo

El modelo Yolo es un tipo de red R-CNN, que es utilizado para el reconocimiento de imágenes en tiempo real. Este modelo se distingue de los demás por ser extremadamente rápido y preciso en comparación a otros modelos que son utilizados para la detección de objetos [18].

C. Guerrero-Andrade, and S. Martínez-Mosquera, “Recognition of necrotic lesions for the detection of the thrips plague in peas using the deep learning model yolov4-tiny”, Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 9, no. 1, 2022.

La arquitectura original del modelo Yolo, como se indica en la Fig.2, se basa en la CNN GoogleNet que se compone de 24 capas convolucionales. Las capas iniciales se encargan de extraer las características más significativas de la imagen, en cambio que las capas completamente conectadas predicen las probabilidades de la salida y las coordenadas de la ubicación del objeto de estudio [18].

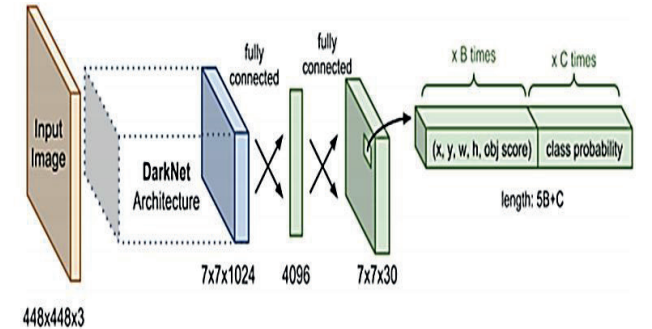


Fig.2. Arquitectura original de la red neuronal Yolo [19]

Con relación a otros modelos que utilizan clasificadores para el reconocimiento de objeto, el modelo Yolo encuadra la detección de objetos como un problema de regresión en cuadros delimitadores, separados espacialmente y con las probabilidades de las clases asociadas. Es capaz de procesar imágenes en tiempo real a una cantidad de 45 cuadros por segundo [20].

Para la versión 3, Yolo trae consigo algunas mejoras respecto a su versión original. Debido a que, cuenta con un extractor de características híbrido Darknet-53, el que está formado de 53 capas convolucionales 3x3, 1x1 y de algunas conexiones de acceso directo y capas residuales. Además, tiene 53 capas convolucionales adicionales apiladas las que son empleadas para la detección de objetos [18].

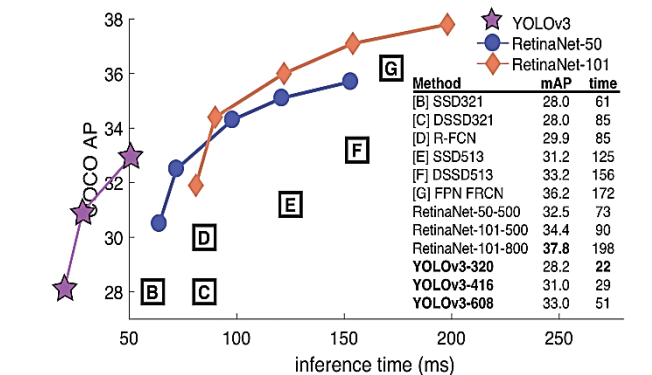


Fig.3. Comparación de Yolov3 con otros modelos empleados para la detección de objetos [21]

De esta manera, lo convierten en una arquitectura totalmente subyacente de 106 capas convolucionales, las que le han permitido posicionarse como uno de los modelos más rápidos y eficientes para la detección de objetos [18]. En la Fig.3, se observa el rendimiento de Yolov3 en comparación a otros modelos que son empleados para el mismo propósito.

La versión 4 del modelo Yolo presenta mejoras respecto a su predecesor Yolov3, en relación a la velocidad de interferencia y a su precisión en razón del 10 al 12% [22]. Pero, su arquitectura es más compleja debido a que se compone de tres partes esenciales que son:

1. El *backbone*: utiliza la red CSPDarknet53, la que se basa en la CNN ResNet y es empleada para que la red tenga profundidad y al mismo tiempo pueda aliviar el gradiente de desaparición [19].
2. El *neck*: la arquitectura Yolov4, emplea dos redes, la primera en la red de Agrupación de Pirámides Espaciales (SPP) que es utilizada para aumentar eficazmente la receptividad y ayudar a separar las características contextuales [19]. La segunda es la red de Agregación de Rutas (PANet), que permite acortar el camino que conecta la información de bajo y alto nivel, y los parámetros convergentes a diferentes niveles [19].
3. El *header*: la aquitecturaYolov4, hereda la estructura de la cabeza del modelo Yolov3 [19].

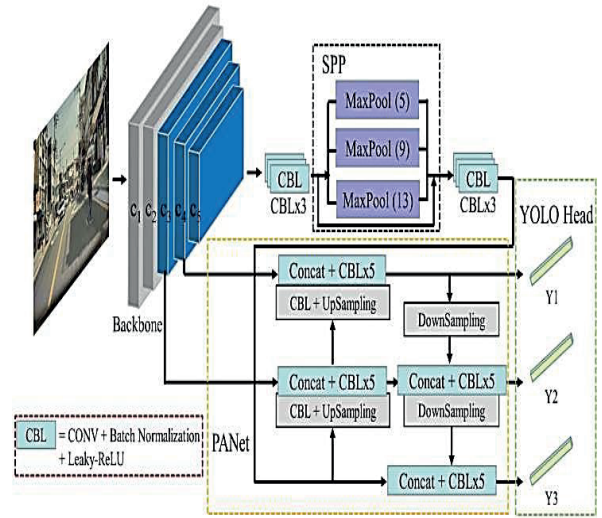


Fig.4. Arquitectura de la red neuronal Yolov4 [23]

Además, la arquitectura Yolov4 cuenta con una versión reducida que es la estructura Yolov4-Tiny. Este tipo de CNN es la compresión de Yolov4 y fue diseñada específicamente para simplificar la estructura de la red original.

La estructura yolov4-tiny es aproximadamente ocho veces mayor que su versión original respecto al procesamiento de las *Frames per Second* (FPS). Sin embargo, la precisión tiene una relación de 2/3 a la de Yolov4, sobre un conjunto de datos de alta densidad. Pero, para la detección de objetos yolov4-tiny, es la mejor opción debido a la rapidez de interferencia que alcanza en tiempo real.

III. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la presente investigación está constituida de las siguientes fases como se muestra en la Fig.5:

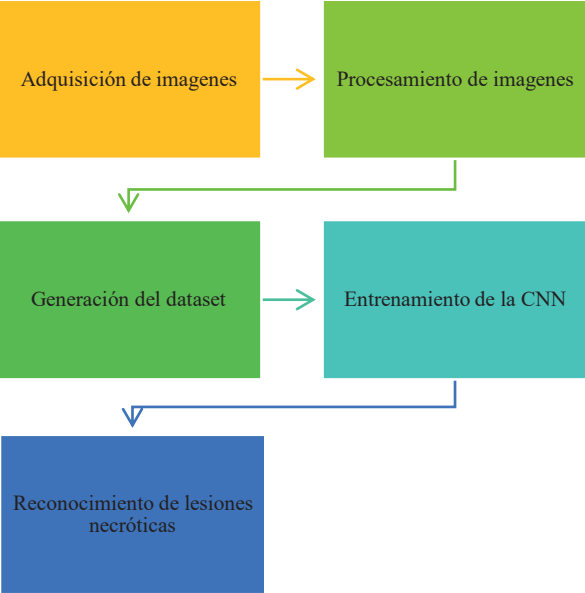


Fig.5. Diagrama de las fases de la metodología

A. Adquisición de imágenes

La adquisición de imágenes es la parte fundamental para el desarrollo de la propuesta planteada, debido a que dependen de la calidad que tengan y como sean presentadas para su análisis. Por ejemplo, si las lesiones necróticas que fueron causadas por la plaga thrips en el guisante, son visibles o no en cada una de las imágenes.

Todas las imágenes que se utilizaron en la investigación fueron capturadas desde las parcelas agrícolas del guisante como se muestra en la Fig.6.



Fig.6. Guisante con lesiones necróticas causadas por la plaga thrips

B. Procesamiento de imágenes

En esta fase, se trabaja directamente sobre las imágenes que fueron guardadas en formato JPG en un repositorio digital. Donde se identifican y etiquetan las características más significativas del objeto de estudio, mediante el uso de Roboflow. Este tipo de herramienta permitió aplicar atributos como: la orientación automática, redimensionamiento, rotación, saturación, brillo, exposición y difuminación. Con la finalidad de mejorar el reconocimiento de las lesiones necróticas en los cultivos como se muestra en la Fig.7.

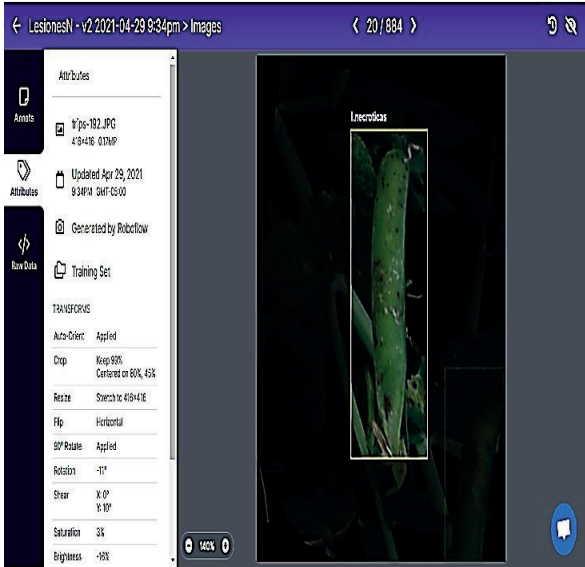


Fig.7. Aplicación de atributos y etiquetado de las imágenes

A partir del etiquetado de cada una de las características más significativas y la implementación de atributos en las imágenes se delimitó en área, donde se presentan las lesiones necróticas en el guisante, las mismas serán registradas en un archivo “.xlsx”. Este archivo contiene la ubicación o las coordenadas del objeto de estudio en las imágenes.

C. Generación del dataset

Para la creación del dataset, se utilizaron 502 imágenes a las que se aplicó cada uno de los atributos antes mencionados, donde se obtuvo un dataset de 944 imágenes en total. El que se compone de 884 imágenes para el entrenamiento, 40 imágenes para la validación y 20 imágenes para las pruebas como se observa en la Fig.8.

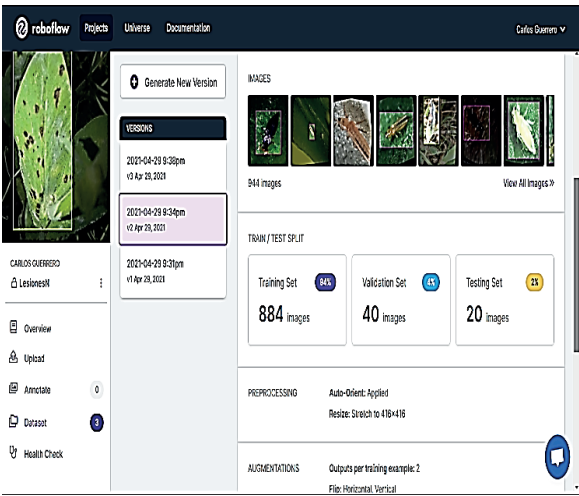


Fig.8. Tamaño del dataset creado para el entrenamiento y validación de la propuesta planteada

D. Entrenamiento de la CNN

Para el entrenamiento de la CNN se utilizó la estructura yolov4-tiny, esta es básicamente un algoritmo empleado para la detección de objetos, y se encuentra implementado sobre la red Darknet.

La arquitectura que fue empleada en el entrenamiento de la propuesta planteada es la red Darknet-29, debido a que utiliza un extractor híbrido para extracción de características

y detección de objetos. Esta es una estructura que se compone de 29 capas convolucionales sucesivas de 3x3, 1x1 y de algunas capas de interconexión como se muestra en la Fig.9.

Create cudnn-handle 0

conv	32	3 x 3/ 2	416 x 416 x 3 ->	208 x 208 x 32 0.075 BF
1 conv	64	3 x 3/ 2	208 x 208 x 32 ->	104 x 104 x 64 0.399 BF
2 conv	64	3 x 3/ 1	104 x 104 x 64 ->	104 x 104 x 64 0.797 BF
3 route	2		1/2 ->	104 x 104 x 32
4 conv	32	3 x 3/ 1	104 x 104 x 32 ->	104 x 104 x 32 0.199 BF
5 conv	32	3 x 3/ 1	104 x 104 x 32 ->	104 x 104 x 32 0.199 BF
6 route	5 4		->	104 x 104 x 64
7 conv	64	1 x 1/ 1	104 x 104 x 64 ->	104 x 104 x 64 0.839 BF
8 route	2 7		->	104 x 104 x 128
9 max		2x 2/ 2	104 x 104 x 128 ->	52 x 52 x 128 0.001 BF
10 conv	128	3 x 3/ 1	52 x 52 x 128 ->	52 x 52 x 128 0.797 BF
11 route	10		1/2 ->	52 x 52 x 64
12 conv	64	3 x 3/ 1	52 x 52 x 64 ->	52 x 52 x 64 0.199 BF
13 conv	64	3 x 3/ 1	52 x 52 x 64 ->	52 x 52 x 64 0.199 BF
14 route	13 12		->	52 x 52 x 128
15 conv	128	1 x 1/ 1	52 x 52 x 128 ->	52 x 52 x 128 0.839 BF
16 route	10 15		->	52 x 52 x 256
17 max		2x 2/ 2	52 x 52 x 256 ->	26 x 26 x 256 0.001 BF
18 conv	256	3 x 3/ 1	26 x 26 x 256 ->	26 x 26 x 256 0.797 BF
19 route	18		1/2 ->	26 x 26 x 128
20 conv	128	3 x 3/ 1	26 x 26 x 128 ->	26 x 26 x 128 0.199 BF
21 conv	128	3 x 3/ 1	26 x 26 x 128 ->	26 x 26 x 128 0.199 BF
22 route	21 20		->	26 x 26 x 256
23 conv	256	1 x 1/ 1	26 x 26 x 256 ->	26 x 26 x 256 0.839 BF
24 route	18 23		->	26 x 26 x 512
25 max		2x 2/ 2	26 x 26 x 512 ->	13 x 13 x 512 0.000 BF
26 conv	512	3 x 3/ 1	13 x 13 x 512 ->	13 x 13 x 512 0.797 BF
27 conv	256	1 x 1/ 1	13 x 13 x 512 ->	13 x 13 x 256 0.044 BF
28 conv	512	3 x 3/ 1	13 x 13 x 256 ->	13 x 13 x 512 0.399 BF
29 conv	21	1 x 1/ 1	13 x 13 x 512 ->	13 x 13 x 21 0.004 BF
30 yolo				

Fig.9. Estructura de la red Darknet-29

Para el entrenamiento se requiere esencialmente de la implementación de las librerías yolov4-tiny.conv.29¹ y darknet², las que se encuentran en el repositorio de GitHub AlexeyAB.

Además, se necesita de la integración del dataset que fue creado en Roboflow al entorno de entrenamiento. Igualmente, se requiere de la configuración de ciertos parámetros que son parte del entrenamiento del modelo yolov4-tiny como son: el número de épocas, el número de clases y la cantidad de filtros. La configuración de cada uno de los parámetros fue realizada desde el archivo yolov4-tiny-custom.cfg, como se indica en la Fig.10.

Finalmente, la red CNN yolov4-tiny fue entrenada para un total de 6000 épocas con ciertas variaciones, rotaciones y transformaciones que fueron recreadas por la librería OpenCV. De forma que, ofrezca variedad al entrenamiento y permita identificar las lesiones necróticas causadas por la plaga thrips en el guisante de manera rápida y precisa.

El entrenamiento de la red yolov4-tiny, obtuvo un rendimiento promedio del 81,6% en la detección del objeto de estudio, respecto al radio de aprendizaje como se indica en la Fig.11.

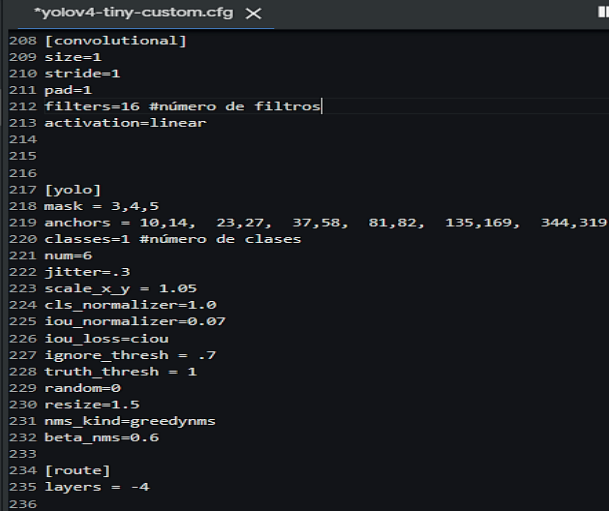


Fig.10. Estructura de la red Darknet-29

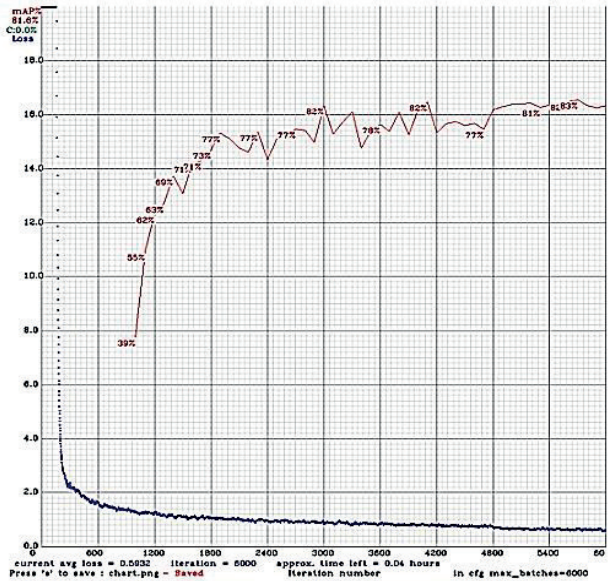


Fig.11. Rendimiento promedio de la red Yolov4-Tiny en el reconocimiento de lesiones necróticas

E. Reconocimiento de lesiones necróticas

En esta fase, se realiza la delimitación de cada uno de los objetos que fueron identificados en las imágenes. Para esta etapa el algoritmo Yolo realiza un recorrido por la imagen y se encarga de detectar las regiones, donde se encuentran el o los objetos de estudio. Este tipo de regiones o también conocidos como *anchors boxes*, no son más que cuadros de diferentes tamaños que se distribuyen por toda la imagen.

Debido a que la arquitectura YOLOv4, hereda la estructura del header de la red YOLOv3, que es la encargada de predecir el cuadro delimitador y de generar las coordenadas del centro, ancho y altura {*xcenter*, *ycenter*, *w*, *h*} de cada uno de los *anchors boxes* [24].

¹ https://github.com/AlexeyAB/darknet/releases/download/darknet_yolo_v4_pre/yolov4-tiny.conv.29

² <https://github.com/AlexeyAB/darknet>

Esta tarea se realiza mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

b_x = \sigma(t_x) + c_x \tag{1}

b_x = \sigma(t_y) + c_y \tag{2}

b_x = \rho_w \cdot e^{t_w} \tag{3}

b_h = \rho_h \cdot e^{t_h} \tag{4}

Donde p_w y p_h representan el ancho y el alto del cuadro delimitador, mientras que (c_x, c_y) es la coordenada de la esquina superior izquierda de la imagen como se observa en la Fig.12 [24]. En esta etapa, la red yolov4-tiny, efectúan miles de predicciones, donde solo se presentan aquellas que son objetos, a través del proceso de supresión máxima. De manera que, permita obtener el resultado de interferencia único en función de la probabilidad de la clase a la pertenece el objeto.

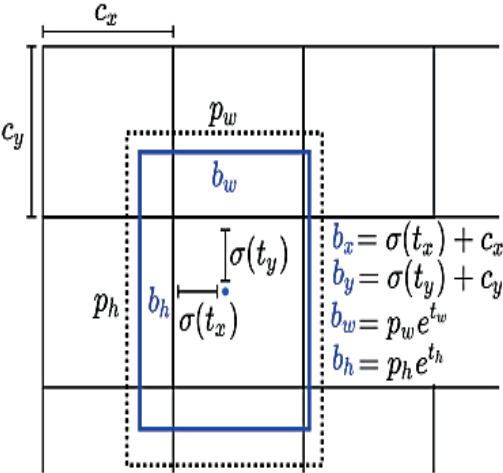


Fig.12. Conversión de cuadro delimitador verdadero y cuadro delimitador previsto [25]

Por ejemplo, si el anchors boxes en el que se encuentra el objeto de estudio no está centrado, la red yolov4-tiny ejecuta varios ajustes a estas regiones a través de predicciones. Donde efectúa el cálculo correspondiente y muestra él o los objetos que tienen el cuadro delimitador con mayor valor de IoU.

Para el reconocimiento del objeto de estudio se utilizó el modelo yolov4-tiny que fue previamente entrenado en la fase del entrenamiento de la CNN y de diferentes imágenes del cultivo específicamente las que presentaban algún tipo de secuela o lesiones necróticas provocadas por la plaga thrips.

En la Fig. 13, se muestra el reconocimiento de las lesiones necróticas.



Fig.13. Reconocimiento de lesiones necróticas en el cultivo del guisante con el modelo yolov4-tiny

El reconocimiento de las lesiones necróticas en los cultivos fue muy efectivo, debido a que los resultados alcanzados en detección del objeto de estudio tienen precisión promedio del 0.73%.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento del modelo propuesto para el reconocimiento de las lesiones necróticas en los cultivos del guisante, para la detección de la plaga thrips se realizaron, desde una SBC (Raspberry-Pi) la que está constituida de un procesador de cuatro núcleos de 1.5 GHz, una memoria 4GB LPDDR4 en RAM e interfaces de conectividad Wi-Fi con estándar 802.11ac, Bluetooth 5.0 y Gigabit Ethernet.

El modelo yolov4-tiny propuesto fue aplicado en 100 casos de cultivos, donde la mitad presentaban lesiones necróticas o secuelas de plaga thrips, mientras que el resto de se encontraban en buen estado. Para cada caso se consideraron criterios de inclusión y exclusión, respecto al estado actual en el que se encuentra el guisante.

Por ejemplo, en la Fig.14 las pruebas de funcionamiento fueron eficientes, debido a que pudo reconocer las todas las lesiones necróticas que tiene el guisante, con un porcentaje de presión que va desde el 0,49% hasta 0,92% en un tiempo de respuesta de 15,62 ms para cada detección del objeto de estudio.

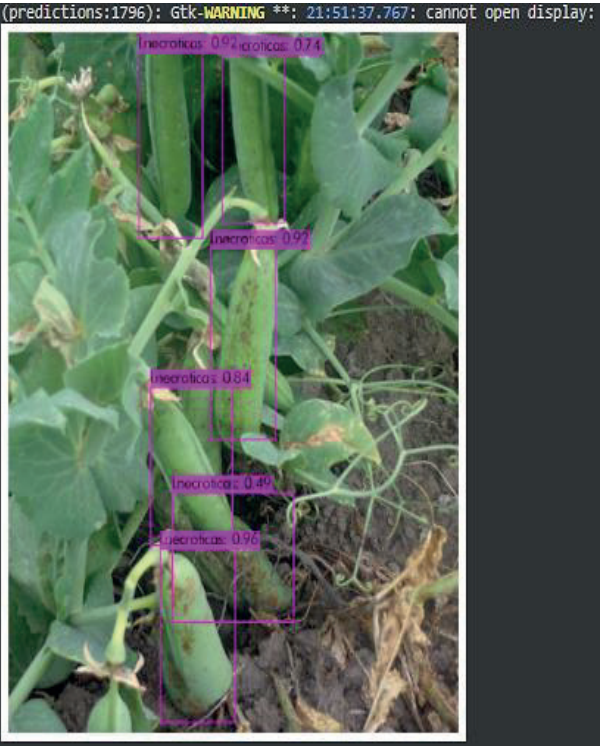


Fig.14. Pruebas de funcionamiento del modelo yolov4-tiny en las imágenes del guisante

Durante de la ejecución de las pruebas de funcionamiento fue necesario contar con un experto en la producción del cultivo. Debido a que, su criterio permitió evidenciar el nivel de confianza y precisión del modelo propuesto.

TABLA II. PRESIÓN DEL RECONOCIMIENTO DE LESIONES NECRÓTICAS Y TIEMPO DE RESPUESTA

Experimentos (día)	Reconocimiento de lesiones (%)	Tiempo de respuesta (ms)
1	78	15,62
2	69	15,62
3	54	15,62
4	84	15,62
5	88	15,62
6	98	15,62
7	72	15,62

La Tabla II muestra los experimentos que fueron realizados en siete días. Donde se indica el promedio de la probabilidad que el modelo alcanza en el reconocimiento de lesiones necróticas y el tiempo de respuesta.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de observar los resultados del reconocimiento de lesiones necróticas en los cultivos del guisante, se efectuó un análisis comparativo de los valores obtenidos de cada una de las pruebas de funcionamiento realizadas con el modelo yolov4-tiny propuesto. Se pudo verificar que existe una ligera variación entre los resultados que fueron entregados por

método en contraposición a los señalados por el experto. En la Fig.15, se muestra la comparación de los resultados del objeto de estudio.

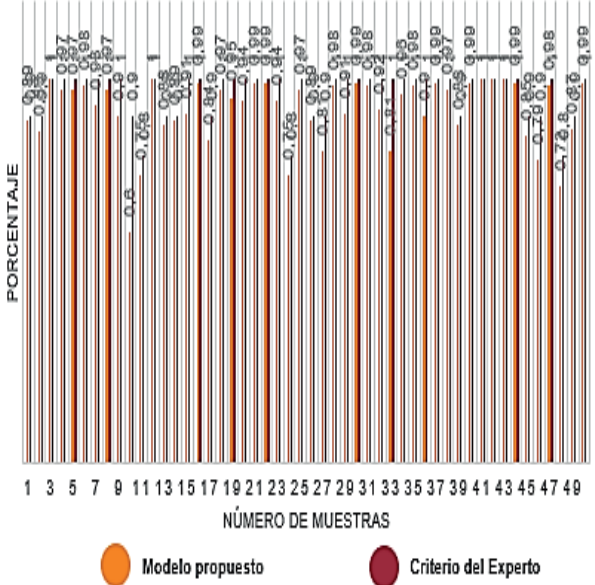


Fig.15. Comparación de los resultados del reconocimiento de lesiones necróticas en el guisante alcanzados por el modelo en contraposición al criterio del experto.

Respecto al desempeño del modelo propuesto, fueron evaluados los resultados que se obtuvieron en la matriz de confusión como se muestra en la Fig.16, sobre un conjunto de datos aleatorios.

La matriz de confusión del modelo propuesto, muestra las dos clases que son: guisante con lesiones (0) y guisante sin lesiones (1).

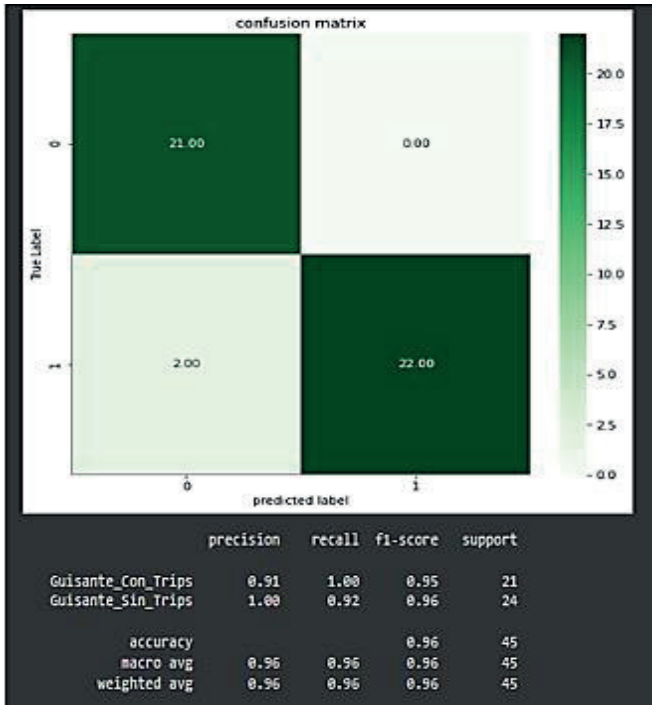


Fig.16. Diagrama de la matriz de confusión del modelo propuesto

En la Tabla III, se muestran algunos indicadores de la matriz de confusión para los datos de prueba que fueron

tomados aleatoriamente. En esta se observa que el modelo tiene una alta precisión y es capaz de identifica de forma correcta el objeto de estudio.

TABLA III. ESTADÍSTICAS DE LA MATRIZ DE CONFUCIÓN

Clases	Presición	Recall	F1-score	Support
Guisante con lesiones	0,91	1,00	0,95	21
Guisante sin lesiones	1,00	0,92	0,96	24

En las pruebas de desempeño del modelo, se utilizaron 20 imágenes en promedio, las mismas que fueron seleccionadas de forma aleatoria para cada una de las clases.

- El número de aciertos en la clase 1 son 21 de un total de 21 imágenes, que corresponde al 100% de precisión en la detección del objeto de estudio.
- En la clase 2 el número de aciertos es 22 de un total de 24 imágenes, que corresponde al 91% de precisión en la detección de objeto de estudio.

De acuerdo con los resultados entregados por la matriz de confusión, tiene un valor promedio de *accuracy* o precisión de 96%, lo que lo hace aceptable.

VI. CONCLUSIONES

La implementación de los modelos de aprendizaje profundo o *deep learning* en el desarrollo de sistemas aplicados a la agricultura de precisión, tienen un alto nivel de aceptación. Debido a los beneficios que ofrecen, por ejemplo, en esta investigación, se permitió efectuar de reconocimiento de lesiones necróticas provocadas por la plaga thrips en los cultivos del guisante de forma rápida y efectiva.

El entrenamiento de la estructura yolov4-tiny fue una solución eficiente, debido a que permitió alcanzar el 59,23% en el nivel de intersección sobre la unión (IoU), para una precisión media (mAP) de 81,60% en conjunto de datos o *dataset* de alta densidad.

Los resultados alcanzados en las pruebas de funcionamiento fueron satisfactorios gracias al nivel de precisión del método propuesto yolov4-tiny. En el reconocimiento de las lesiones necróticas, para la detección de la plaga thrips en los cultivos del guisante, es del 77,57% con un tiempo respuesta promedio de 15,62 ms para cada una de las detecciones realizadas.

El rendimiento del modelo propuesto es muy aceptable, debido a que, su valor promedio en la precisión (*accuracy*) es del 96%.

VII. TRABAJOS FUTUROS

En esta investigación, el modelo propuesto basado en la estructura yolov4-tiny es un gran aporte para el estudio del cultivo. El manejo de las lesiones necróticas de forma temprana ayudaría a reducir las pérdidas y mejorar del rendimiento del guisante. Un aporte fundamental en el futuro sería escalar la programación, para que el modelo propuesto realice la predicción sobre el estado actual en el que se encuentra el cultivo.

Adicionalmente, una investigación futura podría centrarse en la detección temprana de la plaga thrips en el guisante desde vehículos aéreos no tripulados, debido a que, la plaga thrips en el guisante se presenta en cualquier etapa y así poder sugerir un plan de prevención basada en el nivel de la enfermedad que tenga el cultivo.

REFERENCIAS

[1] CEPAL, «Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020,» 02 2020. [En línea]. Disponible: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/45111/CEPAL-FAO2019-2020_es.pdf. [Último acceso: 02 06 2021].

[2] CGSPACE, «Retos del Cambio Climático para la Agricultura en América Latina y el Caribe,» 11 2018. [En línea]. Disponible: <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/160740/retrieve>. [Último acceso: 06 06 2021].

[3] D. R. Prado Jiménez, «Identificación de las principales plagas del cultivo de arveja (Pisum sativum L.) en la comunidad de Canchaguano, cantón Montúfar, provincia del Carchi,» 2019. [En línea]. Disponible: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6873/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000205.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 08 06 2021].

[4] R. Bereinsten y Y. Edan, «Automatic Adjustable Spraying Device for Site-Specific Agricultural Application,» 02 03 2017. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7869323>. [Último acceso: 08 06 2021].

[5] Secretaría Técnica Planificación Ecuador, «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021,» 2017. [En línea]. Disponible: https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf. [Último acceso: 07 06 2021].

[6] MAGAP, «Boletín Situacional - Arveja 2017,» 13 11 2018. [En línea]. Disponible: <https://fliphtml5.com/ijia/dkgk/basic>. [Último acceso: 09 06 2021].

[7] A. Angulo Pérez, «Identificación de las principales plagas y enfermedades en el cultivo de arveja (Pisum sativum), parroquia Bolívar, cantón Bolívar, Provincia del Carchi,» 2019. [En línea]. Disponible: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6395/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000152.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 12 06 2021].

[8] C. G. Delgado Chamorro, «Efecto del ácido acetilsalicílico para activación de defensas en el cultivo de arveja (Pisum sativum), en el sector de Chapués, cantón Tulcán, Carchi –Ecuador,» 2014. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/240/1/199%20EFFECTO%20DEL%20C3%81CIDO%20ACETILSALIC%20C3%8DLCO%20PARA%20ACTIVACI%20C3%93N%20DE%20DEFENSAS%20EN%20EL%20CULTIVO%20DE%20ARVEJA%20C3%28PISUM%20SATIVUM%29%2C%20EN%20EL%20SECTOR%20DE%20CHAPU%20C3%89S%2>. [Último acceso: 10 06 2021].

[9] E. J. Tirira Tirira, «Estudio de factibilidad de un centro de acopio para la comercialización de arveja tierna (pisum sativum) en la provincia del Carchi,» 03 2018. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8114/1/03%20AGN%20032%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>. [Último acceso: 10 06 2021].

[10] GADM-Bolívar, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN BOLÍVAR,» 20 04 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.municipiobolivar.gob.ec/images/PDF/2015/04/pdot.pdf>. [Último acceso: 10 06 2021].

[11] R. Dalai y K. Kumar Senapati, «An Intelligent Vision based Pest Detection System Using RCNN based Deep Learning Mechanism,» 13 02 2020. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8995072>. [Último acceso: 23 11 2021].

[12] Y. Ai, C. Sun, J. Tie y X. Cai, «Research on Recognition Model of Crop Diseases and Insect Pests Based on Deep Learning in Harsh Environments,» 21 09 2020. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9201298>. [Último acceso: 23 11 2021].

[13] H. Kuzuhara, H. Takimoto, Y. Sato y A. Kanagawa, «Insect Pest Detection and Identification Method Based on Deep Learning for Realizing a Pest Control System,» 02 11 2020. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9240458>. [Último acceso: 23 11 2021].

[14] C.-J. Chen, Y.-Y. Huang, Y.-S. Li, Y.-C. Chen, C.-Y. Chang y Y.-M. Huang, «Identification of Fruit Tree Pests With Deep Learning on Embedded Drone to Achieve Accurate Pesticide Spraying,» 21 02 2021. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9343827>. [Último acceso: 23 11 2021].

[15] A. S. Chakravarthy y S. Raman, «Early Blight Identification in Tomato Leaves using Deep Learning,» 27 04 2020. [En línea]. Disponible: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9077010/authors#author_s. [Último acceso: 23 11 2021].

[16] K. Li, J. Zhu y N. Li, «Insect Detection and Counting Based on YOLOv3 Model,» 16 06 2021. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9450898>. [Último acceso: 23 11 2021].

[17] C. E. Toledo Perdomo y H. A. Sagastume Mena, «Diversidad de los tisanopteros (Insecta: Thysanoptera) presenta en el cultivo de arveja china (Pisum sativum L.), Santa Apolonia, Guatemala,» 06 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/238/224>. [Último acceso: 12 06 2021].

[18] O. A. Zavala Salas, «Detección simultánea, por medio de CNN, de multiples robots NAO dentro de un campo de fútbol con aplicación a RoboCup,» 02 2020. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utm.mx/bitstream/123456789/303/1/2020-MR-OAZS.pdf>. [Último acceso: 14 06 2021].

[19] Aprende Machine Learning, «Modelos de Detección de Objetos,» 21 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.aprendemachinelearning.com/modelos-de-deteccion-de-objetos/>. [Último acceso: 15 06 2021].

[20] D. Sanz Cabrereros, «Desarrollo e implementación IoT de un sistema de reconocimiento de imágenes a nivel industrial,» 17 02 2019. [En línea]. Disponible: Desarrollo e implementación IoT de un sistema de reconocimiento de imágenes a nivel industrial. [Último acceso: 13 06 2021].

[21] viso.ai, «YOLOv3: Algoritmo de detección de objetos en tiempo real (¿Qué hay de nuevo,» 25 02 2021. [En línea]. Disponible: <https://viso.ai/deep-learning/yolov3-overview/>. [Último acceso: 15 06 2021].

[22] R. Ruz Gómez y A. Simón Rodríguez, «Evaluación de algoritmos de Machine Learning para la conducción,» 2020. [En línea]. Disponible: https://eprints.ucm.es/id/eprint/61910/1/Ruz_Gomez_Entrega_memoria_TFG_Evaluacion_de_algoritmos_para_la_conduccion_4398577_1208955137.pdf. [Último acceso: 14 06 2021].

[23] ResearchGate, «Estructura general de Yolov4,» www.researchgate.net, 08 2021. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/figure/Overall-structure-of-YOLOv4-including-CSPDarknet-backbone-SPPnet-PANet-and-3-YOLO_fig2_344919620. [Último acceso: 25 08 2021].

[24] B. Gong, D. Ergu, Y. Cai y B. Ma, «A Method for Wheat Head Detection Based on Yolov4,» 07 10 2020. [En línea]. Disponible: https://assets.researchsquare.com/files/rs-86158/v1_covered.pdf?c=1631843117. [Último acceso: 24 11 2021].

[25] L. Heinsius, «Real-Time YOLOv4 FPGA Design with Catapult High-Level Synthesis,» 18 06 2021. [En línea]. Disponible: http://essay.utwente.nl/86465/1/Heinsius_MA_EEMCS.pdf. [Último acceso: 24 11 2021].

AUTHORS



Carlos Guerrero-Andrade

Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte(2017), actualmente me encuentro finalizando la maestría de Telecomunicaciones en Instituto de Postgrados de la Universidad Técnica del Norte. Desde el 2015 trabaja en el desarrollo y ejecución proyectos relacionados a las áreas de las redes de información, seguridad informática y telecomunicaciones para instituciones pública y privadas de la región norte del país. Además, cuenta con certificaciones a nivel técnico en diferentes herramientas de seguridad como: ESET Technnical Certified Security Management Center (ETCSMC), Sophos Certified Engineer y Certified Professional(Kaspersky Endpoint Security and Management).



Silvia Martínez-Mosquera

DIANA MARTINEZ-MOSQUERA es Ingeniera en Electrónica y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, en 2008. Recibió su Doctorado en Informática por la Universidad de Alicante, España, en 2021. Ella tiene alrededor diez años de experiencia como ingeniero de soporte de sistemas de gestión informática.

Actualmente, ella trabaja como profesor e investigador del Laboratorio de Análisis de Datos de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional. Es autora de varias publicaciones en congresos y revistas internacionales.

Sus principales temas de investigación incluyen big data, modelado de datos no estructurados, bases de datos NoSQL, y análisis de datos.

ORCID: 0000-0002-0573-8640

Digital Compression in Medical Images

Compresión Digital en Imágenes Médicas

ARTICLE HISTORY

Received 19 October 2021
Accepted 23 November 2021

Alex Cazañas-Gordón

Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
acazanas@deec.uc.pt
ORCID: 0000-0002-4597-6328

Esther Parra-Mora

Department of Electrical and Computer
Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
eparra@deec.uc.pt
ORCID: 0000-0002-4597-6328

Digital Compression in Medical Images

Compresión Digital en Imágenes Médicas

Alex Cazañas-Gordón
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
acazanas@deec.uc.pt
ORCID: 0000-0002-4597-6328

Esther Parra-Mora
Department of Electrical and Computer Engineering
University of Coimbra
Coimbra, Portugal
eparra@deec.uc.pt
ORCID: 0000-0002-4597-6328

Abstract—Imaging technology has long played a principal role in the medical domain, and as such, its use is widespread in the diagnosis and treatment of numerous health conditions. Concurrently, new developments in imaging techniques and sensor technology make possible the acquisition of increasingly detailed images of several organs of the human body. This improvement is indeed advantageous for medical practitioners. However, it comes to a cost in the form of storage and telecommunication infrastructures needed to handle high-resolution images reliably. Ordinarily, digital compression is a mainstay in the efficient management of digital media, including still images and video. From a technical point of view, medical imaging could take full advantage of digital compression technology. However, nuances unique to medical data impose constraints to the application of digital compression in medical images. This article provides an overview of digital image compression applied to medical imaging, along with a brief discussion on the regulatory implications associated with its use.

Keywords—digital, compression, medical, imaging, JPEG, DICOM

Resumen—La Imagenología desempeña un papel protagonista en el campo médico, siendo su uso ampliamente generalizado en el diagnóstico y tratamiento de numerosos trastornos de la salud. Nuevos desarrollos en la adquisición de imágenes y en la tecnología de sensores hacen posible obtener imágenes más detalladas de varios órganos del cuerpo humano. Tal mejora es ciertamente ventajosa para la práctica médica, pero supone un encarecimiento de los recursos tecnológicos necesarios para manejar imágenes de alta resolución de manera confiable. Comúnmente, el manejo eficiente de medios digitales se apoya principalmente en la compresión digital. Desde un punto de vista técnico, las imágenes médicas podrían aprovechar las ventajas de la compresión digital. Sin embargo, peculiaridades de los datos médicos imponen restricciones a su uso. Este artículo presenta un vistazo a la compresión digital en el contexto de las imágenes médicas, y una breve discusión de los aspectos regulatorios y legales asociados a su uso.

Palabras clave—digital, compresión, imagenología, JPEG, DICOM

I. INTRODUCTION

Medical imaging has a critical role in contemporary clinical diagnosis. Among the many advantages of the technology, the possibility of avoiding patients from going through hazardous ordeals, such as exploratory surgery and other invasive procedures, stands out. Previous research has linked imaging technology to longer life expectancy, declines

in mortality and hospital admissions, as well as shorter hospital stays [1]. Furthermore, the ever-increasing volume of digitized medical data allows the collection of large datasets, which, in conjunction with novel machine-learning algorithms, are paving the way for the emergence of computer-aided diagnosis (CAD) systems [2-7].

Ordinarily, medical images produce large data volumes and thus require large storage spaces. The data size depends on the resolution, digitization method, or scanning approach, but as a rule of thumb, the data volume increases with the resolution of the images. Consequently, archiving, processing, distributing, and consuming high-resolution images require specialized information systems. Such systems, known as Picture Archiving and Communication Systems (PACS), are at the core of imaging management in modern hospitals.

Medical imaging technology is in constant evolution and refinement. While novel image modalities emerge, existing modalities frequently improve resolution and detail. For instance, current computer tomography (CT) technology can image at a sub-millimeter spatial resolution. Whereas twenty years ago, a CT scanner would top at a resolution of an order of magnitude lower [8]. Given the increasing detail of medical images, efficiency becomes critical for storage and transmission. Thus, image compression becomes instrumental in the effective management of medical data in PACS.

The application of digital compression to medical imaging has motivated a great deal of research. On the one hand, a significant portion of the works has focused on developing suitable methods to compress medical images and biological signals [9-12]. On the other hand, extensive research has concentrated on technological infrastructure such as information management systems [13], storage technology [14], and communication protocols [15]. All these works provide in-depth discussions of the technical aspects concerning digital compression. However, they left out relevant issues related to applying digital compression to medical data. This paper does not discount previous work but builds upon it to present a broader picture of digital compression in the context of medical images and its associated regulatory and legal implications.

The remaining part of the paper proceeds as follows, Section II introduces common imaging modalities and related technological requirements. Section III presents an overview of current standards for compression of medical images.

Section IV discusses regulatory and legal implications concerning compression and medical data. Lastly, section V presents the conclusions and recommendations for future work.

II. BACKGROUND

A. Characteristics of medical images

Medical imaging encompasses a wide range of techniques that generate visual representations of the human body. These visual representations are typically still images generated through the acquisition and processing of biomedical signals. Depending on the imaging technology, clinicians have access to structural, morphological, and physiological information at different anatomical levels such as cellular, tissue, or organ. This information plays a prominent role in diagnosing, monitoring, and treating illnesses and injuries.

The acquisition method and the anatomical part under study determine the features of medical images. The chemical and physical characteristics of the examined tissue determine the data encoded in every pixel or voxel. In general, imaging mechanisms corresponding to physiological phenomena, such as spontaneous contrast, fluid motion, or metabolic exchanges. These mechanisms lead to a wide variety of features that differ from one type of image to another.

Compared to natural images, medical images have more intensity levels and thus, use more bits to encode each pixel or voxel. For instance, a CT image (Fig. 1) utilizes 16 bits to store up to 3000 unique intensity values, whereas a photograph uses 8 bits to encode up to 256. The spatial resolution depends on the acquisition method and ranges from micrometers in ultrasound to centimeters in nuclear imaging. Table I summarizes typical spatial resolution, temporal resolution, file size, and depth of a representative sample of imaging modalities.

B. The DICOM Standard

Given that images are produced by diverse imaging equipment, with most having trademarked communication protocols and file formats, interoperability is only possible by integrating imaging equipment and PACS through a non-proprietary standard.

Nowadays, the dominant standard in medical image communications is the Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) standard [16]. DICOM aims to provide platform-independent methods for interconnecting medical imaging devices over standard computer networks. The standard defines a file format and a network protocol based on the TCP/IP protocol that enables interchanging medical data between PACS and imaging devices, such as scanners, servers, workstations, and printers.

In addition, DICOM defines a comprehensive set of algorithms for compressing medical images. The standard

refers to these algorithms as “Transfer syntaxes” and in its current version it specifies compressed transfer syntaxes for a wide variety of compressing algorithms which includes: JPEG, Run Length Encoding, Lossless/near-lossless JPEG, and JPEG-2000 [17]

III. ALGORITHMS FOR MEDICAL IMAGE COMPRESSION

A. Run Length Encoding (RLE)

Run-length encoding defines a very straightforward approach to lossless compression. The RLE algorithm encodes a sequence (or run) of identical pixels as the symbol in the run and the length of the run. RLE can provide high compression ratios in medical images showing large uniform areas, such as ultrasound images (Fig. 2). However, it might result in larger data streams than the uncompressed data when it is applied in images exhibiting complex structures, and/or noise.

Compared to other compressing algorithms, RLE is relatively easy to implement and has a low time complexity but is rarely used on its own. In the context of DICOM, RLE is used as compressing algorithm mainly for ultrasound images, and as a data transformation with other image modalities.



Fig. 1 CT scan in the coronal (C), axial (A) and sagittal (S) planes. Credit [18]

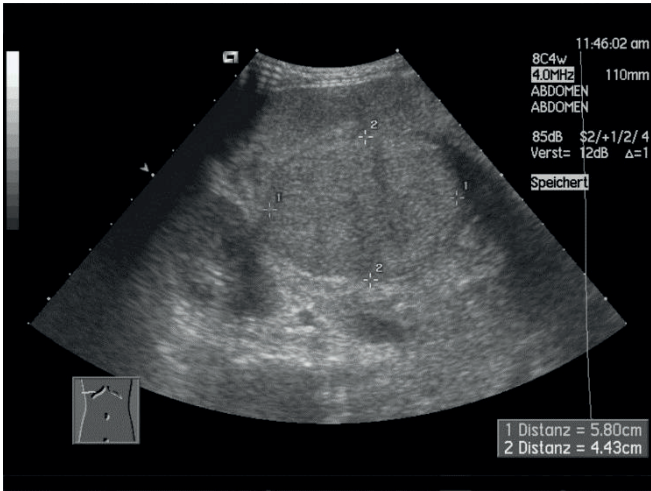


Fig. 2 Ultrasound single frame image showing large areas of constant value around the region of interest. Credit: [19]

TABLE I. SUMMARY OF TYPICAL FEATURES OF COMMON IMAGE MODALITIES [8]

Modality	Organ	Image size	Bits per pixel	Slices/frames	File size
Radiography	Thorax	2060x2060	10-16	-	8 MB
Computerized tomography	Brain	512x512	12-16	≈ 300	150 MB
	Abdomen	512x512	12-16	≈ 500	250 MB
	Heart	512x512	12-16	126x16 frames	1 GB
Magnetic resonance imaging	Brain	512x512	12-16	≈ 20x6 sets	10 to 60 MB
	Abdomen	512x512	12-16	≈ 30	15 MB
	Heart	256x256	12-16	20x20 frames	50 MB
Positron emission tomography	Whole body	128x128	16	350	10 MB
	Heart	128x128	16	47x16 frames	24 MB
	Brain	256x256	16	47	6 MB
Ultrasound	Standard	512x512	8	50 images/sec	12.5 MB/sec
	Doppler	512x512	(RGB) 3x8	50 images/sec	37.5 MB/sec

B. Joint Photographic Experts Group (JPEG)

JPEG is the primary compression method in DICOM. This standard was jointly developed by the International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC) through the working group ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1, informally known as the “Joint Photographic Experts Group” —hence the standard acronym.

The standard provides lossy and lossless compression techniques which are suitable for different imaging

modalities. One of the DICOM standard lossy medical image storage formats uses JPEG compression at file size reductions (compression ratios) of 6:1 or lower [20]. Despite its popularity JPEG has significant limitations such as low efficiency in lossless compression and blocking artifacts at high compression ratios in lossy compression. In addition, the

lossy mode is limited to inputs of up to 12 bits which renders it unsuitable for some imaging modalities.

C. Lossless JPEG

JPEG lossless compression specifies a compressing method based on differential pulse-code modulation to reduce redundancy. The algorithm reduces repetition by predicting the value of one pixel with the values of neighboring pixels. Later, the difference between the actual value and the prediction is encoded using variable-length codes such as Huffman or arithmetic coding.

Lossless-JPEG compression supports images with bit-depths between 2 and 16 bits and performs reasonably well despite its simplicity. Regardless of its modest performance, lossless JPEG mode is widespread in medical imaging.

D. Lossless/near-lossless JPEG-LS

JPEG-LS comprises a set of lossless and near-lossless compression methods designed for coding continuous-tone, greyscale, or color still images. This single-pass coding technique uses predictive coding and context-based adaptive Rice-Golomb coding scheme.

The near-lossless mode of JPEG-LS guarantees that any sample value in the reconstructed image is within a predefined amount β of its original value. This specification is achieved by quantizing the prediction error in slots with size $2\beta + 1$ and using reconstruction level at the center of the interval.

With a moderate increase in computational complexity, JPEG-LS performance is considerably better than the performance of lossless JPEG with Huffman coding with fixed tables (

TABLE II). Compared to JPEG with arithmetic coding, JPEG-LS matches its performance but with less computational complexity.

TABLE II. AVERAGE COMPRESSION RATIO ON MEDICAL IMAGES [21]

Image modality	Lossless JPEG	JPEG-LS
Computerized radiology	2.24	2.74
Computerized tomography	2.14	2.79
Magnetic resonance	2.37	2.75
Nuclear medicine	2.55	3.68
Ultrasound	2.02	2.90

E. JPEG-2000

The JPEG2000 algorithm leverages a discrete wavelet transform (DWT) to decompose an image on either scale or

resolution components. The general principle of DWT is that it handles the image as a succession of waves, organizing the image information into peaks and dips, where each color channel (red, green, and blue) is represented by an individual wave.

The image can also be broken into tiles for facilitating the processing. Provided that the wave is centered at zero, the algorithm computes coefficients representing the distance from the points of the wave to the zero line; and then averages adjacent coefficient to obtain a simplified version of the wave. As a result, the image resolution gets halved. The procedure (decomposition) is repeated over and over for producing simpler waves. As coefficients are averaged and differences are recorded, smaller differences (slight variations in the sequence) are selected for smoothing and simplification.

On the other hand, larger differences signal more significant variations that should be preserved. As the decomposition progress, it generates increasingly lower-resolution versions of the original wave that approximate the general shape and color of the image. Fig. 3 shows a DWT decomposition of a brain image acquire through MRI.

JPEG2000 uses a multilevel DWT with octave-scaled decomposition in baseline that achieve a better image quality than JPEG. Wavelet transformation improves compression performance of JPEG allowing compression ratios of up to 40:1 without perceptible loss in radiology images [22]. This makes wavelet-based coding a suitable compression approach for telemedicine and picture archiving. DICOM added support for the use of JPEG2000 in 2009 defining several transfer syntaxes to allow lossless (bit preserving) and lossy compression schemes [23]. Relevant features of JPEG2000 for medical imaging include:

- Supports bit depths of up to 38 bits per channel and up to 16384 channels.
- Lossless and lossy compression.
- Region of Interest (ROI) encoding. Allows compressing of irrelevant data with higher ratios while keeps relevant features for diagnosis.
- Support for metadata embedding within the compressed files.
- Interactive transmission and decoding. Allows to change coding parameters during transmission at convenience.
- Support for three-dimensional data compression. Suitable for spatially correlated modalities such as CT and MRI.
- Error resilience for more reliable transmission of images through wireless networks.
- Security features including authentication, access control, and IPR protection both for storage and transmission.

IV. REGULATORY AND LEGAL IMPLICATIONS

Worldwide, image compression in medical imaging is subject to regulation by government bodies and professional organizations. The Food and Drug Administration (FDA) in

the United States, the Royal College of Radiologists (RCR) in the United Kingdom, the Deutsche Röntgengesells (DRG) in Germany, and the Royal Australian and New Zealand College of Radiologists all have released guidelines for image compression of diagnostic imaging [24-27]. Although regulators coincide with the definition of limits for lossy compression, there is no consensus on the compression ratios. For example, while the FDA does not permit compressing digital mammography, the RCR and the DRG recommend compression ratios of 15 to 1 and 20 to 1 (Table III).

While advances in lossy compression methods allow more efficient storage and transmission of large medical image datasets, clinical practice refrains from taking full advantage of these techniques, particularly lossy compression methods. The rationale behind the hesitation, is that irreversible loss of information may be instrumental in disputing medical diagnosis in a court of law. To illustrate this, suppose a

physician detects a small abnormality immediately after acquisition and reaches a diagnosis based on that finding. Then, the image undergoes lossy compression before it gets stored in the PACS. In this circumstance, it is plausible that small details were not visible in the compressed image. This would place the physician in a bad predicament in case of legal dispute, because the clinician will be unable to recover the finding upon which they determined their diagnosis [28].

The discussion about lossy compression has also echoed in academia, where there is a considerable amount of studies stressing that a conservative selection of compression ratios lead to inefficient compression [29-33]. Alternatively, other studies propose coding algorithms based on subjective performance metrics, e.g. perceptual quality [34, 35]. These methods are inspired on properties of the human vision and focus on visual quality rather than image content.

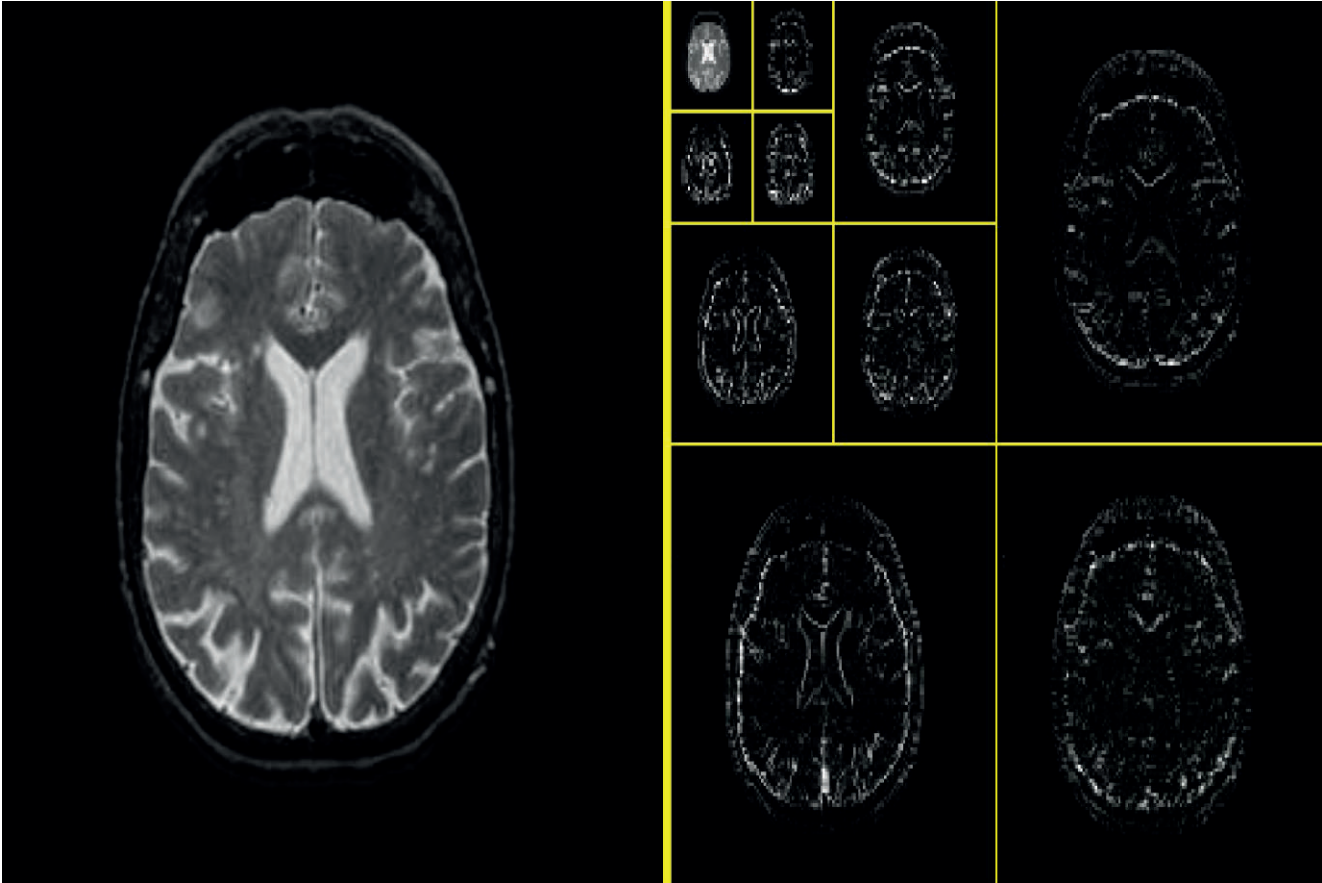


Fig. 3 DWT decomposition of a brain MRI. Credit:[36]

V. CONCLUSIONS

The widespread use of medical imaging has been instrumental in improving the quality of clinical diagnosis but at the same puts pressure on technological infrastructure.

Digital compression is a valuable tool for efficient archiving and transmission of medical images in modern healthcare information systems.

International standards for medical imaging such as DICOM recognize the need for efficient compression of medical images by incorporating in their specifications a variety of lossless and lossy compression techniques.

Even though lossy compression techniques allow higher ratios of compression than those of lossless techniques, clinical practice refrains to use lossy compression because of the legal ramifications that might involve the loss of critical information.

Aiming to assure the safe use of digital compression in sensible medical images, several government bodies and professional organizations recommend limiting the amount of lossy compression on medical imaging.

On the other hand, considerable amount of research has devoted to making a case for the use of lossy compression by studying the impact of information loss in the perceived visual quality of compressed medical images.

The issue of lossy compression in medical image remains an open problem pointing to further research on methods that balance compression efficiency and the preservation of critical information for accurate diagnosis in clinical practice.

TABLE III. COMPARISON OF ACCEPTABLE LOSSY COMPRESSION RATIOS ISSUED BY THE ROYAL COLLEGE OF RADIOLOGISTS (RCR) AND THE GERMAN SOCIETY OF RADIOLOGY (DRG)

Imaging Modality	RCR	DRG
Mammography	20:1	15:1
Radiography	10:1	10:1
Ultrasound	10:1	-
Angiography	10:1	6:1
Computerized tomography	5:1	8:1
Magnetic Resonance	5:1	7:1
Radio Fluoroscopy	-	6:1

REFERENCES

[1] R. Duszak, "Medical imaging: is the growth boom over," in "Neiman Report, Harvey L. Neiman Health Policy Institute, Reston, Virginia," 2012.

[2] R. Zhang *et al.*, "Diagnosis of coronavirus disease 2019 pneumonia by using chest radiography: Value of artificial intelligence," *Radiology*, vol. 298, no. 2, pp. E88-E97, 2021.

[3] Y. Xie *et al.*, "Early lung cancer diagnostic biomarker discovery by machine learning methods," *Translational oncology*, vol. 14, no. 1, p. 100907, 2021.

[4] G. Abate *et al.*, "A conformation variant of p53 combined with machine learning identifies Alzheimer disease in preclinical and prodromal stages," *Journal of personalized medicine*, vol. 11, no. 1, p. 14, 2021.

[5] X. Tang *et al.*, "Image-Based Machine Learning Algorithms for Disease Characterization in the Human Type 1 Diabetes Pancreas," *The American Journal of Pathology*, vol. 191, no. 3, pp. 454-462, 2021.

[6] R. Bharti, A. Khamparia, M. Shabaz, G. Dhiman, S. Pande, and P. Singh, "Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, 2021.

[7] E. Parra-Mora, A. Cazañas-Gordón, R. Proença, and L. A. da Silva Cruz, "Epiretinal Membrane Detection in Optical Coherence Tomography Retinal Images Using Deep Learning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 99201-99219, 2021.

[8] A. Nait-Ali and C. Cavarro-Menard, *Compression of Biomedical Images and Signals*. Wiley-IEEE Press, 2008.

[9] S. S. Parikh, D. Ruiz, H. Kalva, G. Fernández-Escribano, and V. Adzic, "High bit-depth medical image compression with hevcc," *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 22, no. 2, pp. 552-560, 2017.

[10] V. Sanchez, F. Auli-Llinas, R. Vanam, and J. Bartrina-Rapesta, "Rate control for lossless region of interest coding in HEVC intra-coding with applications to digital pathology images," in *2015 IEEE International*

Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015: IEEE, pp. 1250-1254.

[11] N. M. Banu and S. Sujatha, "3D medical image compression: a review," *Indian Journal of Science and technology*, vol. 8, no. 12, p. 1, 2015.

[12] H. Oh, A. Bilgin, and M. W. Marcellin, "Visually lossless encoding for JPEG2000," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 1, pp. 189-201, 2012.

[13] F. Valente, L. A. B. Silva, T. M. Godinho, and C. Costa, "Anatomy of an extensible open source PACS," *Journal of digital imaging*, vol. 29, no. 3, pp. 284-296, 2016.

[14] I. C. Stoica, S. Mogos, A. Draghici, and R. Cergan, "The medical and medicolegal use of the radiological image storage PACS for an orthopedic hospital," *Rom J Leg Med*, vol. 25, pp. 235-238, 2017.

[15] L. Yan, "DICOM standard and Its Application in PACS system," *Medical Imaging Process & Technology*, vol. 1, no. 1, 2018.

[16] A. Cazañas-Gordón and E. Parra-Mora, "The Internet of Things in Healthcare. An Overview," *Latin-American Journal of Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 86-99, 2020.

[17] National Electrical Manufacturers Association (NEMA). "PS3.5 2016b—Data Structures and Encoding." <http://dicom.nema.org/medical/Dicom/current/output/chtml/part05/PS3.5.html> (accessed accessed on July 25th 2018, 2018).

[18] Wikimedia Commons. "File: CT of rectus sheath hematomas.png." Online. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:CT_of_rectus_sheath_hematomas.png&oldid=446354390 (accessed 18-oct, 2021).

[19] Wikimedia Commons. "File:Ultrasound abdomen - liver cirrhosis - 10.jpg - Wikimedia Commons." Online. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Ultrasound_a_bdomen_-_liver_cirrhosis_-_10.jpg&oldid=451304677 (accessed 17-October, 2021).

[20] W. A. Pearlman and A. Said, "Digital Signal Compression: principles and practice," Cambridge University Press, 2011, pp. 251-252.

[21] J. Kivijärvi, T. Ojala, T. Kaukoranta, A. Kuba, L. Nyúl, and O. Nevalainen, "A comparison of lossless compression methods for medical images," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 22, no. 4, pp. 323-339, 1998.

[22] M.-M. Sung *et al.*, "Clinical Evaluation of Compression Ratios using JPEG2000 on Computed Radiography Chest Images," *Journal of Digital Imaging*, vol. 15, no. 2, pp. 78-83, 2002, doi: 10.1007/s10278-002-0007-6.

[23] DICOM Standards Committee. Working Group 4 Compression, "Supplement 61: JPEG2000 transfer syntaxes," 2009.

[24] J. T. Norweck *et al.*, "ACR–AAPM–SIIM technical standard for electronic practice of medical imaging," *Journal of digital imaging*, vol. 26, no. 1, pp. 38-52, 2013.

[25] The Royal College of Radiologists. "The adoption of lossy image data compression for the purpose of clinical interpretation." https://www.rcr.ac.uk/sites/default/files/docs/radiology/pdf/IT_guidance_LossyApr08.pdf. (accessed 12-07-2020, 2020).

[26] R. Loose, R. Braunschweig, E. Kotter, P. Mildnerberger, R. Simmler, and M. Wucherer, "Kompression digitaler Bilddaten in der Radiologie—Ergebnisse einer Konsensuskonferenz," in *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 2009, vol. 181, no. 01: © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart· New York, pp. 32-37.

[27] The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists. "Guideline for the Use of Image Compression in Diagnostic Imaging." https://www.ranzcrr.com/documents-download/doc_download/574-a-guideline-for-the-use-of-image-compression-in-diagnostic-imaging (accessed 12-07-2021, 2021).

[28] M. Abramoff and C. N. Kay, "Chapter 6 - Image Processing," in *Retina*, vol. 1, S. J. Ryan *et al.* Eds., 5th ed. London: W.B. Saunders, 2013, pp. 151-176.

[29] D. Dennison and K. Ho, "Informatics Challenges—Lossy Compression in Medical Imaging," *Journal of Digital Imaging*, vol. 27, no. 3, pp. 287-291, 2014, doi: 10.1007/s10278-014-9693-0.

[30] European Society of Radiology (ESR). "Usability of irreversible image compression in radiological imaging. A position paper by the European Society of Radiology (ESR)," *Insights into Imaging*, journal article vol. 2, no. 2, pp. 103-115, April 01 2011, doi: 10.1007/s13244-011-0071-x.

[31] J. P. Fritsch and R. Brennecke, "Lossy JPEG Compression in Quantitative Angiography: the Role of X-ray Quantum Noise," *Journal of Digital Imaging*, vol. 24, no. 3, pp. 516-527, 2011, doi: 10.1007/s10278-010-9275-8.

[32] A. Fidler, B. Likar, and U. Skalerič, "Lossy JPEG compression: easy to compress, hard to compare," *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 35, no. 2, pp. 67-73, 2006, doi: 10.1259/dmfr/52842661.

[33] D. A. Koff and H. Shulman, "An overview of digital compression of medical images: can we use lossy image compression in radiology?," *Canadian Association Of Radiologists Journal*, vol. 57, no. 4, pp. 211-217, 2006.

[34] F. Liu, M. Hernandez-Cabronero, V. Sanchez, M. W. Marcellin, and A. Bilgin, "The Current Role of Image Compression Standards in Medical Imaging," *Information*, vol. 8, no. 4, p. 131, 2017.

[35] D. M. Chandler, N. L. Dykes, and S. S. Hemami, "Visually lossless compression of digitized radiographs based on contrast sensitivity and visual masking," in *Medical Imaging 2005: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*, 2005, vol. 5749: International Society for Optics and Photonics, pp. 359-373.

[36] Y. Zhang, Z. Dong, L. Wu, S. Wang, and Z. Zhou, "Feature Extraction of Brain MRI by Stationary Wavelet Transform," in *2010 International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science*, 23-25 April 2010 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICBECS.2010.5462491.

AUTHORS



Alex Cazañas-Gordón

Alex Cazañas-Gordón received the B.E. degree in electrical engineering from the National Polytechnic School, Quito, Ecuador in 2003, and the MSc in Information Technology from the University of Queensland, Brisbane, Australia in 2015.

He is currently pursuing the Ph.D. degree in electrical and computer engineering at the University of Coimbra, Coimbra, Portugal.

Since 2018, he has been a researcher with the Multimedia Signal Processing Lab at the Department of Electrical and Computer Engineering of the University of Coimbra, Coimbra, Portugal. His research interests include signal processing, deep learning, optical coherence tomography, scanning laser ophthalmoscopy, and fundus photography.



Esther Parra-Mora

Esther Maria Parra-Mora received her bachelor's degree in Electronics and Information Networks from the National Polytechnic School, Quito, Ecuador in 2007, and her master's degree in Computer Science from The University of Queensland, Brisbane, Australia in 2015.

Since October 2017, she has been a Ph.D. student and researcher with the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Coimbra, Coimbra, Portugal. Her research focuses on automatic diagnosis of retinal diseases using deep learning techniques and different modalities of retinal images.

Extended Evaluation of Loss-Based TCP Variants Performance Over Optical Burst Switching (OBS) Networks for Case

$$W_x = W_{max}$$

Evaluación Extendida del Desempeño de las Variantes de TCP Basadas en Pérdidas sobre Redes de Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS, Optical Burst Switching) para el Case de

$$W_x = W_{max}$$

ARTICLE HISTORY

Received 30 September 2021

Accepted 23 November 2021

Antonio Venegas

Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Quito, Ecuador
toni.venegas78@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4981-1045

Paola Venegas

Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Quito, Ecuador
pao_vl87@hotmail.com

Vinicio Freire

Sin afiliación
Quito, Ecuador
vini_freire@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-3995-4704

Evaluación Extendida del Desempeño de las Variantes de TCP Basadas en Pérdidas sobre Redes de Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS, Optical Burst Switching) para el Case de $W_x=W_{max}$

Extended Evaluation of Loss-Based TCP Variants Performance Over Optical Burst Switching (OBS) Networks for Case $W_x=W_{max}$

Antonio Venegas
Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Quito, Ecuador
toni.venegas78@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4981-1045

Paola Venegas
Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Quito, Ecuador
pao_vl87@hotmail.com

Vinicio Freire
Sin afiliación
Quito, Ecuador
vini_freire@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-3995-4704

Resumen: Este artículo pretende mostrar un análisis extendido de un estudio anterior realizado por los autores, donde se abordó el desempeño de TCP sobre un modelo de red OBS basado en los procesos regenerativos y la teoría de renovación de Markov, y su evaluación mediante simulación con el programa network simulator ns-2. Sin embargo, en este nuevo estudio, se aporta con una versión ampliada del throughput de TCP sobre redes OBS para fuentes de velocidad genéricas, considerando una ventana de tiempos de ensamblado de $\pm 10\%$, en referencia al tiempo de ensamblado óptimo para el caso particular de $W_x = W_{max}$, que en un estudio previo quedó abierto para trabajos futuros. Este nuevo análisis se realiza utilizando las versiones más comunes del protocolo TCP basadas en pérdidas, tales como Reno, NewReno y SACK, cuyos resultados se contrastan mediante simulación por computador, en términos del throughput de TCP y sus correspondientes errores teórico y experimental, teniendo presente las expresiones analíticas obtenidas en un artículo previo y en el análisis original sobre el que se basan estos estudios, dadas las diferencias encontradas en cuanto al desarrollo matemático del tiempo de ensamblado óptimo; manteniendo también el análisis para los escenarios con y sin la opción de ACK retardado, para un estudio comparativo entre dichas versiones.

Palabras Clave: TCP, throughput, congestión, conmutación óptica de ráfagas, probabilidad de pérdida de ráfagas, simulador de redes ns-2.

Abstract: This article aims to show an extended analysis of the previous study carried out by authors, where the TCP performance on an OBS based network model was addressed based on regenerative processes and Markov renewal theory, and its evaluation by means of simulation using the network simulator program ns-2. However, in this new study, an expanded version of TCP throughput over OBS networks is provided for generic speed sources, taking into account an assembly time window of $\pm 10\%$, in reference to the optimal assembly time for the particular case of $W_x = W_{max}$, which in a previous study was left open for future work. This new analysis is performed using the most common versions of the loss-based TCP protocol, such as Reno, New Reno and SACK, whose results are contrasted by means of computer simulation, in terms of the performance of TCP and its corresponding theoretical and experimental errors, bearing in mind the analytical expressions obtained both in a previous article and the original analysis on which these studies are based, given the differences found in terms of its mathematical development on optimal assembly time expression; also maintaining the analysis for the scenarios with and without the delayed ACK option, for a comparative study between versions

Keywords: TCP, throughput, congestion, Optical Burst Switching (OBS), Burst Loss Probability (BLP), network simulator ns-2.

I. INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado en los estudios previos [1][2], la tecnología OBS que se encuentra en estado de desarrollo e investigación, se podría visualizar como una alternativa prometedora para dar los primeros pasos hacia un Internet

A. Venegas, P. Venegas, and V. Freire,
“Extended Evaluation of Loss-Based TCP Variants Performance Over Optical Burst Switching (OBS) Networks for Case $W_x=W_{max}$ ”, Latin-American Journal of Computing (LAJC), vol. 9, no. 1, 2022.

Óptico de nueva generación, y que podría adoptarse en el mediano plazo, dado que las constantes demandas de tráfico continuamente crecientes exigen cada vez nuevas soluciones más robustas y flexibles, que permitan transmitir grandes bloques de información a nivel 100% óptico, para garantizar una completa adaptación con el ritmo al que se incrementa la velocidad de transmisión a nivel óptico, en comparación con el dominio electrónico, donde a pesar de los avances tecnológicos que han surgido en los últimos años con el fin de incrementar cada vez más su capacidad de transmisión y procesamiento de la información, todavía continúa siendo un cuello de botella en comparación con su contraparte óptica.

En este sentido, las redes OBS ofrecen una solución atractiva para el Internet Óptico de próxima generación, ya que a través de un plano de control que requiere un reducido procesamiento electrónico y un plano de datos que utiliza bloques de información de mayor tamaño denominados ráfagas, constituidas de bloques agregados de datos (payload) que se transmiten de extremo a extremo a nivel todo óptico, pueden manejar de una forma más flexible y eficiente el tráfico por naturaleza a ráfagas de Internet, gracias a que aprovecha el beneficio de la multiplexación estadística, empleado en esta tecnología, la misma que se ubica en un nivel medio entre la conmutación de circuitos OCS (*Optical Circuit Switching*) y la conmutación de paquetes OPS (*Optical Packet Switching*).

Por otro lado, como es conocido que aproximadamente un 90% del tráfico que cursa a través de Internet utiliza TCP como protocolo de transporte [1], es importante su análisis en conjunto con nuevas tecnologías de conmutación ópticas como es el caso de OBS. En este sentido, y al igual que en el estudio previo, se utilizan las mismas variantes de TCP basadas en pérdidas como TCP Reno, TCP New Reno y SACK con indicaciones de TD y TO que suponen un nivel de congestión leve y severo respectivamente, y cuya principal diferencia radica en las fases de retransmisión y recuperación rápida (*fast retransmit/fast recovery*).

Este nuevo alcance se realiza con el fin de ampliar en la misma línea de investigación, el estudio del throughput de este protocolo para el caso particular de $W_x = W_{max}$ empleando rangos de tiempos de ensamblado de $\pm 10\%$ en referencia a sus valores óptimos para una fuente TCP con velocidad de acceso $B_a = 200$ Mbps y sus correspondientes niveles de pérdida, a diferencia del estudio previo realizado por [2] que contempló únicamente el tiempo de ensamblado óptimo con un único valor para ($p_b = 0.01$ y $B_a = 200$ Mbps); esto teniendo en cuenta que de acuerdo a las expresiones matemáticas definidas en los estudios previos de [1][3], el tiempo de ensamblado óptimo no es constante para cualquier nivel de pérdida como el caso de $W_x < W_{max}$, y sólo depende del tiempo de ida y vuelta sin ensambladores de ráfagas, RTT_0 , mientras que para el caso de $W_x = W_{max}$ el tiempo de ensamblado depende a más del RTT_0 , del nivel de pérdidas de ráfagas, p_b , el ancho de banda de acceso, λ , y el tamaño máximo de la ventana de TCP, W_{max} , por lo que se resulta ser más complejo; y es así que el hecho de esta nueva investigación, es justamente validar el impacto de la variación en los tiempos de ensamblado en torno a sus valores óptimos, con el fin de

determinar si el mismo es importante o puede ser despreciable, puesto que en un ambiente real sería más complicado implementar una solución que ajuste el tiempo de ensamblado en base al nivel de pérdidas experimentado.

En vista de que los resultados entre las diferentes variantes es similar para el caso de $W_x = W_{max}$, este análisis extendido se realizará con énfasis en la variante de TCP SACK, considerando que es la que mejor desempeño presenta en escenarios con múltiples pérdidas y además que, según las expresiones matemáticas obtenidas en los estudios previos, la expresión analítica que define el tiempo de ensamblado está asociada a dicha variante, cuyo análisis está centrado al régimen de estado estacionario del ciclo de vida de TCP cuando el throughput alcanza en su mayor parte la ventana de transmisión máxima, lo cual evidentemente se da cuando el nivel de probabilidad de pérdidas de ráfagas (BLP, *Burst Loss Probability*) es muy bajo ($< 1 \times 10^{-3}$).

El desarrollo de esta investigación se justifica técnicamente porque plantea esencialmente un estudio extendido a trabajos previos efectuados por [1][2], complementando el fundamento teórico con un módulo práctico que consiste en la implementación de un escenario basado en simulación, que aparte de extender la comprensión de esta tecnología, permitirá modelar un determinado sistema en función de las nuevas condiciones de operatividad a fin de obtener un comportamiento estimado que podría presentarse en un entorno real, donde el principal aporte es evaluar el nivel de impacto y variación del throughput de TCP en las cercanías del valor óptimo del tiempo de ensamblado para diferentes valores de pérdidas de ráfagas, dado que el modelo matemático define para el caso de $W_x = W_{max}$, valores fijos de tiempos de ensamblado para un solo valor de pérdidas de ráfagas, mientras que en un ambiente real, normalmente se experimentarán ciertas variaciones o nivel de desviación con respecto a un determinado valor central.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El método utilizado para el desarrollo de esta investigación extendida se basa en: 1) un módulo descriptivo derivado de estudios anteriores, que han conducido al desarrollo y definición de expresiones matemáticas que representan un modelo general para fuentes de velocidad genérica del protocolo TCP sobre redes OBS, para cada una de las variantes clásicas más conocidas basadas en pérdidas como TCP Reno, TCP New Reno y TCP SACK; y 2) un modelo práctico que emplea el simulador de redes ns-2, para la evaluación del throughput de TCP sobre este tipo de redes y así poder contrastar los resultados con los modelos analíticos utilizados, a fin de analizar las diferencias encontradas, y determinar el grado de aproximación alcanzado para el caso particular de $W_x = W_{max}$, considerando esta vez un rango de tiempos de ensamblado de $\pm 10\%$ en referencia a los valores óptimos obtenidos en función de niveles de BLP definidos entre 0.00001 y 0.0006, utilizando una fuente TCP con una distribución de tráfico exponencial y una velocidad de acceso $B_a = 200$ Mbps, la misma que para el estudio se considera como una fuente de velocidad rápida, que puede alcanzar en su mayor parte del ciclo de

vida de TCP, el valor máximo de la ventana de transmisión W_{max} .

A. Método analítico de TCP basado en pérdidas

Esta sección muestra el modelo analítico desarrollado a partir del principio de los procesos regenerativos o teoría de renovación de Markov con respecto a las implementaciones más comunes de TCP basadas en pérdidas analizadas, y su impacto en el throughput de TCP BLP (*Burst Loss Probability*) y el RTT para el caso de fuentes de velocidad genérica [4]:

$$S = \min(\lambda T_b + I, W_{max}) \quad (1)$$

Donde,

S: Tamaño de la ráfaga medido en segmentos
 λ : Ancho de banda de acceso expresado en segmentos por segundo (con $\lambda = B_a/8/L$, siendo L el tamaño del segmento)
 T_b : Tiempo de ensamblado medido en segundos
 W_{max} : Tamaño máximo de la ventana TCP expresada en segmentos

Para mayor comprensión de las siguientes expresiones analíticas, se exponen a continuación ciertas notaciones relacionadas con un flujo TCP:

Para esquematizar un resumen en cuanto a las diferencias encontradas en las expresiones analíticas en los estudios previos de [1][2] con respecto al trabajo original realizado en [3], en la Fig. 1 se presenta un ejemplo del throughput de TCP SACK para una fuente con velocidad $B_a = 200$ Mbps considerando un $T_b = 50$ ms para $W_x < W_{max}$ y un $T_b = 0.049$ ms (con $p_b = 0.001$) para $W_x = W_{max}$, que permite visualizar la región y variables involucradas: throughput de TCP $B(p_b, T_b)$ y el tiempo de ensamblado T_b .

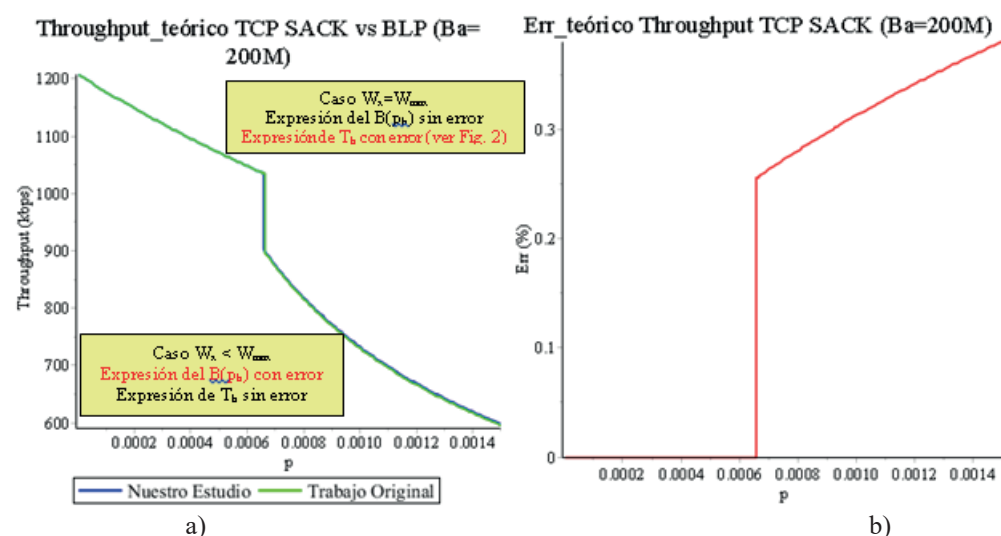


Fig. 1: Throughput TCP SACK con una fuente de velocidad $B_a=200$ Mbps para: a) casos $W_x = W_{max}$ y $W_x < W_{max}$; y b) error teórico del throughput para los mismos casos

TDP: Período de pérdidas por tiple ACK duplicados, que consiste en un período entre dos de estos eventos
 $[TDP_i]$: Duración del i-ésimo TDPi (en segundos)
 Y_i : Número de segmentos enviados en un TDPi
 Y_a : Número de nuevos segmentos enviados en las rondas de envío adicionales que siguen a X_i
 X_i : Número de rondas enviadas en un TDPi
 W_j : Tamaño de la ventana de transmisión en la j-ésima ronda (en segundos) en un TDPi
 TOP : Período de Time Out (TO)
 $[TOP_i]$: Duración del i-ésimo TOPi (en segundos)
 H_i : Número de segmentos enviados en un TOPi
 Q : Probabilidad de que la indicación de pérdida en la que termina un TDP sea un TO
 RTT_0 : Tiempo de ida y vuelta en segundos sin considerar los tiempos de ensamblado
 RTT : Tiempo de ida y vuelta en segundos considerando los tiempos de ensamblado
 RTO : Valor del temporizador de retransmisión por TO
 α_i+1 : Primer segmento de la $(\beta+1)$ -ésima ráfaga perdida en un TDPi
 γ : Número de segmentos adicionales enviados en la misma ronda después de que se pierde la $(\beta+1)$ -ésima ráfaga
 p_b : Probabilidad de pérdida de ráfagas
 b : Número de rondas transmitidas antes de recibir un acuse de recibo (ACK).

De hecho, en el estudio previo de [2] se analizó el impacto de estas diferencias en cuanto al throughput para el caso de $W_x < W_{max}$ y un caso particular para $W_x = W_{max}$, que en este nuevo estudio la idea es ampliarlo a un rango de valores en base a ciertos T_b óptimos, definidos para determinados niveles de pérdidas de ráfagas.

1) TCP SACK

Se toma como punto de partida la expresión inicial general base para el cálculo del throughput de un flujo para cualquier variante de TCP en una red OBS, basada en el modelo de [5], con pérdidas tanto por TD como por TO, que se presenta a continuación:

$$B = \frac{E[Y] + Q \cdot E[H]}{E[TDP] + Q \cdot E[TOP]} \quad (2)$$

Donde,

B: Throughput de TCP en segmentos por segundo.

$E[Y]$: Media del número de segmentos transmitidos en el período TDP

$E[H]$: Media del número de segmentos transmitidos en el período TOP

$E[TDP]$: Media de la duración del período TDP (con $E[X]$ igual a la media del número de rondas enviadas en el período TDP).

$E[TOP]$: Media de la duración del período TOP

Así como también ciertas ecuaciones y variables aleatorias definidas en los estudios previos, se puede obtener la expresión completa, definida para el throughput de TCP SACK sobre redes OBS, como:

$$B(p, T_b) = \begin{cases} \frac{\frac{3}{2} E[W_x] + \frac{1-p_b}{p_b} S + Q(E[W_x]) \frac{p_b}{1-p_b}}{RTT \left(\frac{b}{2} E[W_x] + 1 \right) + Q(E[W_x]) RTO \frac{f(p_b)}{1-p_b}} & \text{para } E[W_x] < W_{max} \\ \frac{\frac{3}{2} W_{max} + \frac{1-p_b}{p_b} S + Q(W_{max}) \frac{p_b}{1-p_b}}{RTT \left(\frac{S}{p_b W_{max}} + \frac{W_{max}}{8} + \frac{1}{2} + S \right) + Q(W_{max}) RTO \frac{f(p_b)}{1-p_b}} & \text{para } E[W_x] = W_{max} \end{cases}$$

2) TCP New Reno

Teniendo como referencia que el número total de paquetes transmitidos en un TDP es similar que en SACK, pero el TDP en New Reno contiene S rondas adicionales, de manera análoga al caso anterior, se obtiene la siguiente expresión completa para el throughput de TCP New Reno sobre redes OBS:

$$B(p, T_b) = \quad (4)$$

$$\begin{cases} \frac{\frac{3}{2} E[W_x] + \frac{1-p_b}{p_b} S + Q(E[W_x]) \frac{p_b}{1-p_b}}{RTT \left(\frac{b}{2} E[W_x] + S \right) + Q(E[W_x]) RTO \frac{f(p_b)}{1-p_b}} & \text{para } E[W_x] < W_{max} \\ \frac{\frac{3}{2} W_{max} + \frac{1-p_b}{p_b} S + Q(W_{max}) \frac{p_b}{1-p_b}}{RTT \left(\frac{S}{p_b W_{max}} + \frac{W_{max}}{8} + \frac{1}{2} + S \right) + Q(W_{max}) RTO \frac{f(p_b)}{1-p_b}} & \text{para } E[W_x] = W_{max} \end{cases}$$

3) TCP Reno

Se considera de manera independiente el caso de pérdidas por TD y el de pérdidas mixtas por TD y TO, además el análisis realizado por [3], y las redefiniciones explicadas en [5], se consigue la siguiente expresión general del throughput de TCP New Reno sobre redes OBS:

$$B(p, T_b) = \begin{cases} \frac{\frac{S}{p_b}}{RTT \left(\sqrt{\frac{2bS}{p_b}} + S \right) + o \left(\frac{1}{\sqrt{p_b}} \right)} & \text{para } \log_2 E[W_x] > S \text{ o } \log_2 \sqrt{\frac{2S}{bp_b}} > S \\ \frac{\frac{S}{p_b}}{RTT \left(\sqrt{\frac{2bS}{p_b}} + \log_2 \sqrt{\frac{2S}{bp_b}} \right) + RTO + o \left(\frac{1}{\sqrt{p_b}} \right)} & \text{para } \log_2 E[W_x] < S \text{ o } \log_2 \sqrt{\frac{2S}{bp_b}} < S \end{cases}$$

4) Tiempo óptimo de ensamblado para TCP SACK

A diferencia del estudio previo realizado por [2], donde para el caso $W_x = W_{max}$, se consideró únicamente el tiempo de ensamblado óptimo para una condición en particular ($p=0.0001$ y $B_a=200$ Mbps), este nuevo análisis mantiene la velocidad de la fuente TCP de $B_a=200$ Mbps pero cubre un espectro ampliado en cuanto a los tiempos de ensamblado con una ventana de $\pm 10\%$ con respecto a los valores óptimos basados en distintos niveles de pérdidas definidos, con valores muy bajos, que conducen a un escenario donde las pérdidas de segmentos durante el ciclo de vida de una sesión TCP es mínimo, de manera que el throughput alcanza el máximo de la venta de transmisión de TCP. En este sentido, se expone a continuación la ecuación definida en cuanto al tiempo de ensamblado óptimo, que difiere significativamente de la expresión presentada en [3], como se puede apreciar en la Fig. 2; por lo que el error en la expresión original se puede deducir que es producto de una falla en cuanto a su desarrollo matemático:

T_b óptimo rectificado del presentado en [3], para el caso de $W_x = W_{max}$:

$$T_b^{opt} = \sqrt{\frac{p_b W_{max}}{2\lambda} RTT_0 \left(\frac{W_{max}}{8} + \frac{3}{2} \right)} \quad (6)$$

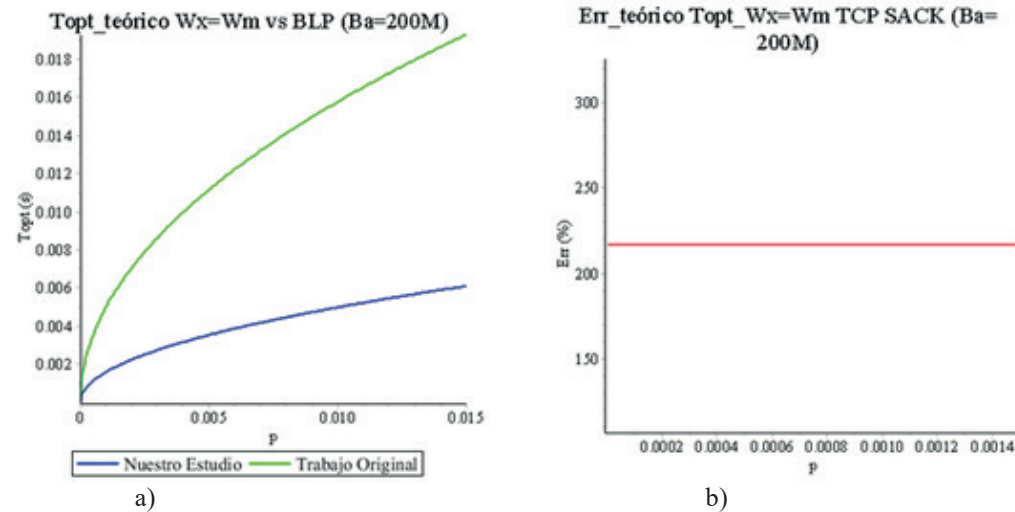


Fig. 2. Comparación T_{opt} Nuestro Estudio vs Trabajo Original para el caso $W_x=W_{max}$: a) Expresión analítica; y b) Error teórico

B. Método práctico basado en simulación por ordenador

Para la simulación por ordenador se utilizó la herramienta ns-2, con el módulo obs-0.9a, que fue adaptado en el estudio previo realizado por [6], donde se modificó principalmente el rango de pérdidas y sus correspondientes tiempos de ensamblado para el análisis.

En cuanto al procesamiento de la información obtenida del simulador ns-2, se emplearon funciones en lenguaje awk para filtrar los datos y variables de interés, fijando el tiempo de ensamblado a través de los rangos seleccionados, conjuntamente con programación sobre la herramienta gnuplot para construir gráficos en 3D que muestran el throughput en función de la BLP (*Burst Loss Probability*) y el tiempo de ensamblado T_b .

En la Fig. 3 se presenta el modelo a ser simulado, basado en el estudio realizado por [7]; mientras que en la Tabla 1 se indican los valores de los parámetros de configuración definidos, para la ejecución y posterior análisis de los resultados de la simulación.



Fig. 3. Modelo básico para la evaluación de TCP Reno, NewReno y SACK

TABLA 1 PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN

Parámetro	Valor
Esquema de ensamblado	Mixto, a diferencia del basado en temporizador utilizado en [3]
Ancho de banda red de acceso	200 Mbps
Retardo red de acceso	10 ms
Tamaño máximo del segmento	552 bytes
Ventana máxima de transmisión	70656 bytes (128 segmentos)
Versión de TCP	Reno, NewReno y SACK
Tipo de tráfico	TCP distribución Exponencial
Número de canales de control	2
Número de canales de datos	8
Ancho de banda por canal	1 Gbps
Tiempo de propagación	30 ms
Tiempo de ensamblado	0.1419 - 1.343 ms
Tamaño máximo de ráfaga	100000 bytes
Probabilidad de pérdida de ráfagas	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-4}$
Tiempo de simulación	1000 seg por muestra

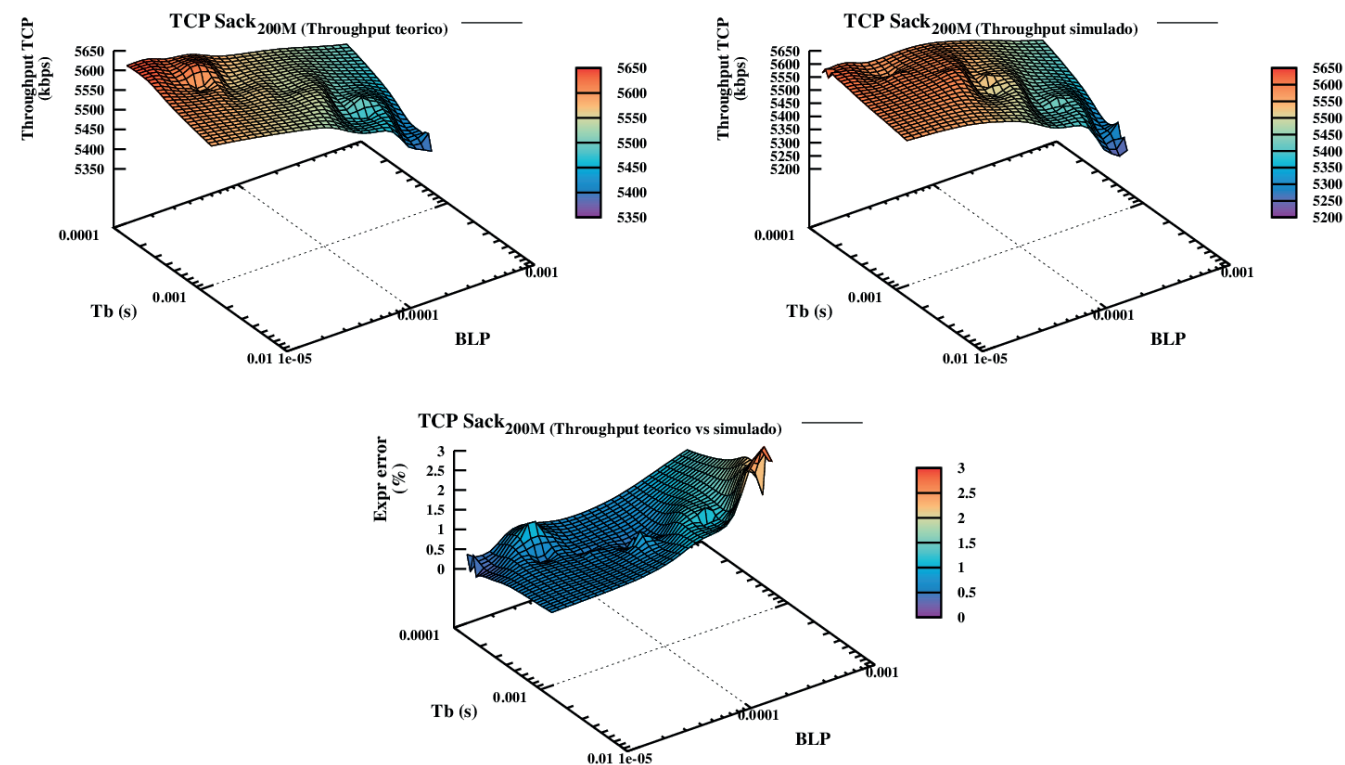
Sobre este modelo de red se realizaron simulaciones en el rango de pérdidas establecido, considerando rangos de T_b con referencia a los tiempos de ensamblado óptimos obtenidos de la ecuación (6) para $B_a = 200$ Mbps y diferentes niveles de pérdida definidos de $p_b = 0.00001, 0.0025, 0.0005, 0.0001, 0.00025$ y 0.0006 , correspondientes a puntos centrales desde los cuales se generan rangos de $\pm 10\%$ para obtener sus correspondientes rangos de T_b , con el fin de evaluar el throughput de TCP en las cercanías del punto más idóneo dentro de una ventana de $\pm 10\%$ de los T_b óptimos antes mencionados, para analizar sus diferencias, teniendo presente que en una implementación real siempre existen variaciones que pueden fluctuar entre un rango de valores. Además, se pretende encontrar el impacto de dicha variación, en cuanto al nivel de diferencia encontrado en el estudio previo, derivado de la divergencia en las expresiones matemáticas que se mencionaron anteriormente.

A. Análisis sin la opción de ACK retardado

A continuación, se presenta en la Fig. 4, el throughput de TCP en función de la BLP y los rangos de T_b obtenidos de los niveles de BLP (*Burst Loss Probability*) seleccionados, tanto a nivel teórico empleando las ecuaciones antes definidas, así como a nivel práctico según

las estadísticas adquiridas por simulación, contrastando estos resultados para TCP SACK, TCP Reno y TCP New Reno. En el análisis, se hace énfasis en TCP SACK puesto que los diferentes valores de T_b óptimos están relacionados con esta variante.

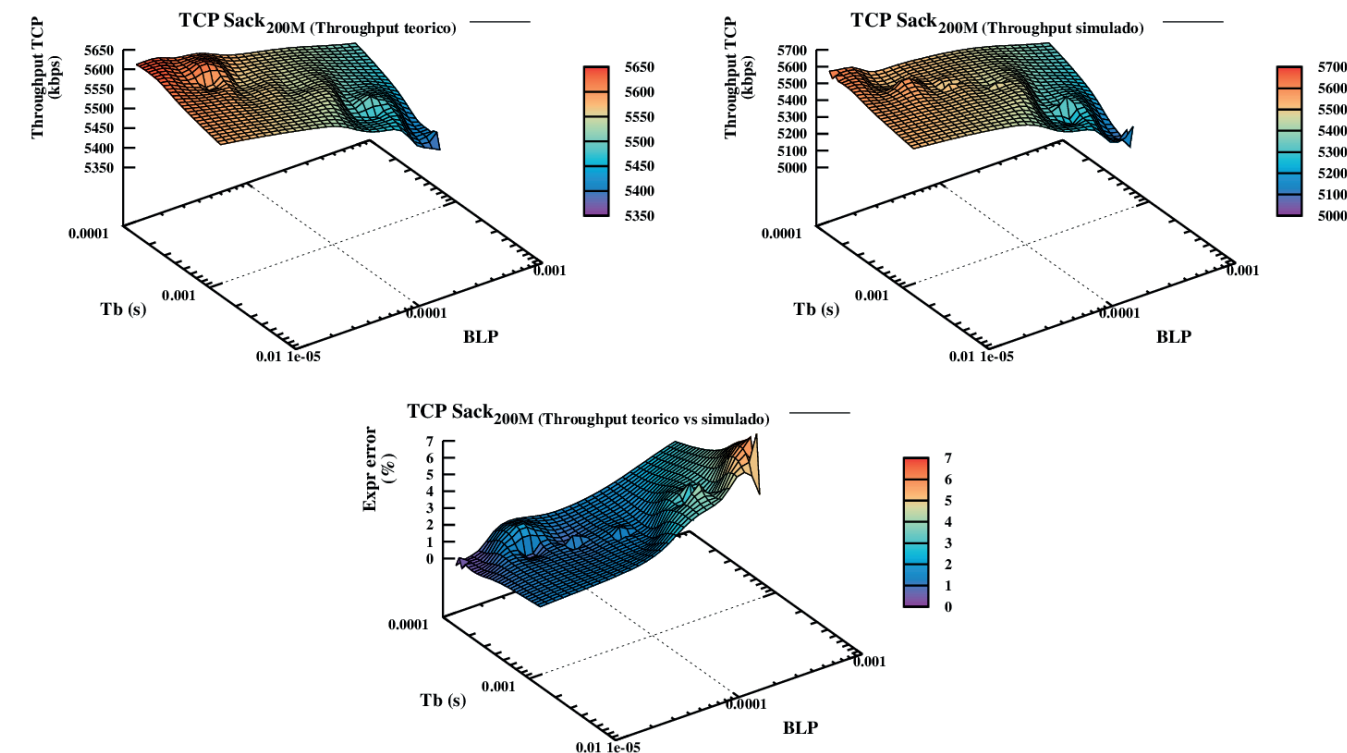
Por otro lado, se presenta también el error experimental comparando la expresión analítica del throughput con los valores simulados, que para niveles de pérdidas inferiores al 1×10^{-4} son menores al 0.7% y por lo tanto el modelo analítico es bastante cercano al ambiente de simulación. Adicionalmente, al comparar la diferencia del error experimental entre el obtenido para el T_b óptimo y los valores cercanos de $\pm 10\%$, se encontró que la diferencia es muy pequeña con valores inferiores al 0.15%, por lo que se puede considerar que el impacto de la variación de T_b con respecto a su valor óptimo es prácticamente nulo. Por otra parte, para valores de pérdidas mayores a 1×10^{-4} y cercanos al límite superior de 0.00063 el error experimental es inferior del modelo analítico en comparación con los resultados simulados incrementa a cerca del 4%, mientras que la diferencia entre el error experimental entre el obtenido para el T_b óptimo y los valores cercanos de $\pm 10\%$ incrementa a valores entre el 0.9% y el 1.4%, que todavía podrían ser aceptados.

Fig. 4. Throughput de TCP y error teórico/experimental en función de BLP y T_b para TCP SACK con $B_a=200$ Mbps sin ACK retardado

B. Análisis con la opción de ACK retardado

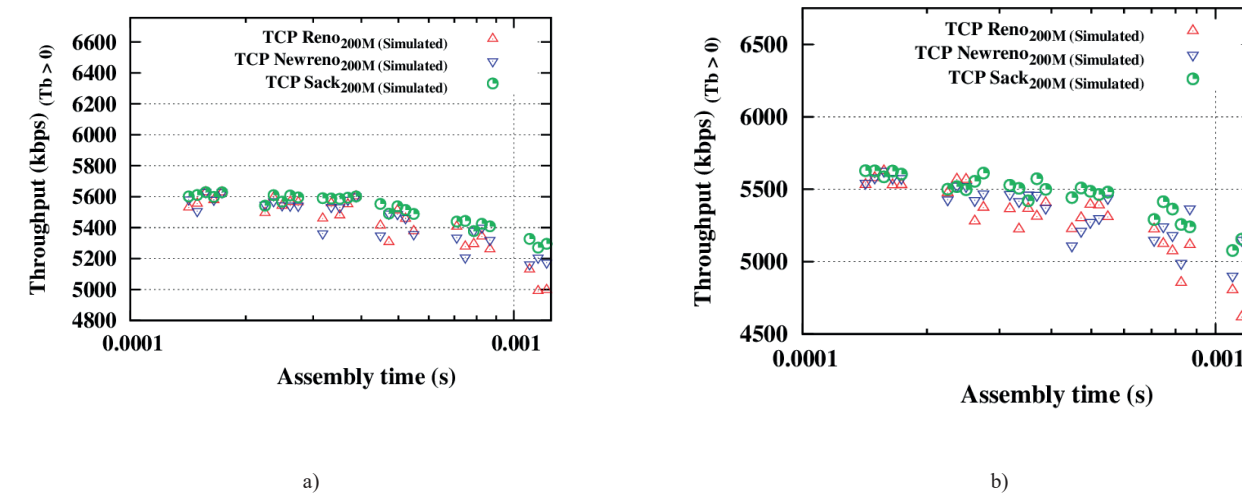
Al igual que en el caso anterior, en la Fig. 5 se presentan los resultados de las mismas simulaciones antes mencionadas para el caso de TCP SACK, con la diferencia de que se utilizó la opción de ACK retardado, que se emplea usualmente en los sistemas actuales para reducir el overhead de los reconocimientos o acuses de recibo, y que dentro del desempeño de TCP sobre redes OBS, se observa una reducción mínima inferior al 1.1% para valores de pérdidas inferiores a 1×10^{-4} , que por el contrario se incrementa a valores considerables de entre el 2% y 6% para niveles de BLP (*Burst Loss Probability*) superiores, que se puede deducir se deben al mayor impacto de la BLP en el throughput sumado al tiempo adicional que tiene que esperar el emisor para recibir los ACKs, y por ende, que los mismos se puedan ensamblar en el router de edge de la red OBS, dando lugar a un menor throughput; además se presenta el error experimental comparando la expresión

analítica del throughput con los valores simulados, que para niveles de pérdidas inferiores a 1×10^{-4} son menores al 1.7% y por lo tanto el modelo analítico es bastante cercano a los datos obtenidos del ambiente de simulación. Adicionalmente, al comparar la diferencia del error experimental entre el obtenido para el T_b óptimo y los valores cercanos de $\pm 10\%$, se encontró que la diferencia es muy pequeña con valores inferiores al 0.1%, por lo que se puede considerar que el impacto de la variación de T_b con respecto a su valor óptimo es prácticamente nulo. Por otra parte, para valores de pérdidas mayores a 1×10^{-4} y cercanos al límite superior cercano a 0.00063, el error experimental del modelo analítico en comparación con los resultados simulados se incrementa a cerca del 5%, mientras que la diferencia entre el error experimental entre el obtenido para el T_b óptimo y los valores cercanos de $\pm 10\%$ se incrementa a valores entre el 0.3% y el 4%, que ya no se tornan despreciables, y por ende no se pueden considerar aceptables.

Fig. 5. Throughput de TCP y error teórico/experimental en función de BLP y T_b para TCP SACK con $B_a=200$ Mbps con ACK retardado

Finalmente, podemos ver en la Fig. 6, una comparación entre todos los resultados de simulación de las variantes de TCP, donde tanto para el caso sin ACK retardado como para el caso con ACK retardado, si el nivel de pérdidas es muy bajo (< 0.00025) todas las variantes presentan resultados similares, con un throughput cercano al máximo en el rango de valores de $\pm 10\%$ en el que varía el tiempo de ensamblado respecto de sus valores óptimos para cada nivel de pérdidas definidos, siendo evidente que para el segundo caso, el throughput de todas las variantes de TCP es menor, debido a un menor número de segmentos transmitidos, ya que la tasa con la que se inyectan los segmentos a la red, depende de la tasa de recepción de ACKs (menor número con ACK retardado).

Por otro lado, a medida que las pérdidas se incrementan, TCP SACK presenta un rendimiento superior al resto de versiones, debido a que esta implementación es más robusta frente a múltiples pérdidas, dado su mecanismo recuperación selectiva de segmentos, a diferencia del esquema de recuperación acumulativa que utilizan las demás variantes, de TCP Reno y NewReno. De igual manera en la mayoría de los casos, TCP Reno presenta el menor desempeño de las tres variantes debido a que no se puede recuperar frente al caso de múltiples pérdidas.

Fig. 6. Comparativo del rendimiento de TCP por simulación, entre las tres variantes basadas en pérdidas para el rango elegido de T_b en los valores de p_b definidos, con $B_a = 200$ Mbps considerando: a) sin ACK retardado; y b) con ACK retardado

IV. CONCLUSIONES

En comparación con el estudio anterior, se puede apreciar que para niveles de pérdidas bajos ($< 1 \times 10^{-4}$) el modelo analítico presenta un buen grado de aproximación en contraste con los datos obtenidos del ambiente de simulación, dado que la expresión analítica del throughput cae dentro del régimen de estado estacionario del ciclo de vida de un flujo TCP, donde el nivel de correlación es alto y en su mayor parte la ventana de TCP es igual a la ventana de transmisión máxima, y además que TCP se puede recuperar de las pérdidas aleatorias presentas, ya que no se llega al estado de inicio lento (*slow start*), donde se reinicia la transmisión. Las diferencias principales se evidencian para valores de mayor nivel de pérdida (> 0.0006) y se deben a que para una BLP (*Burst Loss Probability*) alta, el valor del tamaño de la ráfaga se reduce significativamente, conduciendo a que el valor de ecuación se encuentre entre los valores máximo y mínimo, debido a que la ventana de TCP se reinicia a la fase de inicio lento (*slow start*), la cual no se considera en este análisis, que está enfocado en el régimen de estado estacionario de TCP.

El throughput de TCP experimenta una disminución mínima, inferior al 1.1% cuando se utiliza la opción de ACK retardado, para niveles de pérdidas bajos ($< 1 \times 10^{-4}$), mientras que se incrementa entre un 2% y 6% para niveles de pérdidas mayores, debido al mayor impacto de la BLP sumado a la reducción de tasa de transmisión de ACKs, que resultan en el envío de un menor número de paquetes por ráfaga, acentuando en mayor medida esta diferencia.

Para las versiones de TCP analizadas, se encontró que SACK ofrece normalmente un mayor throughput que las demás variantes, dado el esquema de reconocimiento selectivo que le permite recuperarse más eficientemente de las pérdidas que podrían presentarse en la red de manera aleatoria, debido a las contenciones que se pueden experimentar en este nuevo paradigma de OBS.

REFERENCIAS

[1] A. Venegas & M. Jimenez, “Evaluación del Desempeño de las Variantes de TCP basadas en pérdidas sobre Redes de Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS, Optical Burst Switching)”. Maskana. ISSN: 1390-6143. Número Especial, pag. 133-148. Actas del IV Congreso Ecuatoriano de Tecnologías de la Información y Comunicación – TIC.EC 2018.

[2] A. Venegas, P. Venegas, and J. Freire, “Extended Evaluation of Loss-Based TCP Variants Performance over Optical Burst Switching (OBS) Networks case of $W_x < W_{max}$ and a particular case of $W_x = W_{max}$ ”, International Conference on Intelligent Information Technology (pp. 294-305). Springer, Cham, 2020.

[3] Yu, X., Qiao, C., Liu, Y., & Towsley, D.: Performance evaluation of TCP implementations in OBS networks. Tech. Rep. 2003-13, 2003.

[4] Venkatesh, T., Murthy, C. S. R., & Murthy, C. S. R.: An analytical approach to optical burst switched networks (Vol. 2010). New York: Springer, 2010.

[5] Padhye, J., Firoiu, V., Towsley, D., & Kurose, J.: Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation. In Proceedings of the ACM SIGCOMM'98 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, pp. 303-314, 1998

[6] Martinez-Yelmo, I., Soto, I., Larrabeiti, D., & Guerrero, C.: A simulation based study of TCP performance over an Optical Burst Switched backbone with 802.11 access. In Meeting of the European Network of Universities and Companies in Information and Communication Engineering (pp. 120-127). Springer Berlin, Heidelberg , 2007.

[7] Detti, A. & Listanti, M.: Impact of segments aggregation on TCP Reno flows in optical burst switching networks. In INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE Vol. 3, pp. 1803-1812, 2002.

AUTHORS



Antonio Venegas

MSc. Ing. Antonio Javier Venegas López, Ingeniero Electrónico con Especialización en Automatización y Control, graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con una Maestría en Redes de Comunicaciones obtenida en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, donde se hizo acreedor a un reconocimiento como mejor "Graduado de Posgrado" del programa de Maestría correspondiente al año académico 2017-2018. En su etapa inicial trabajó como profesor hora clase en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en las Facultades de Ingeniería Electrónica, hoy Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, e Ingeniería de Sistemas, hoy Departamento de Ciencias de la Computación, impartiendo asignaturas como Programación Visual, Métodos Numéricos y Control Industrial, y, participando además como co-director en direcciones de tesis de Ingeniería.

Con más de 18 años de experiencia en la industria de las telecomunicaciones, ha desempeñado diversos cargos técnicos en empresas del sector como CELEC EP - TRANSELECTRIC y TRANSNEXA S.A. EMA "EN LIQUIDACIÓN", como Profesional Técnico I, II, III, Ingeniero de Proyectos, Ingeniero de Servicios, e Ingeniero de Desarrollo y Soporte a Clientes, en áreas desde el NOC (Network Operation Center), Operación, Administración y Mantenimiento de Redes de Fibra Óptica, Preventa y Posventa para soluciones Técnicas y Comerciales enfocadas principalmente a clientes del sector portador, eléctrico, y de acceso a Internet, tanto a nivel nacional como internacional. En la actualidad desempeña el cargo de Leader Of Transmission en la empresa Ufinet - NEDETEL S.A.

Su experiencia en investigación inició a partir del desarrollo de su tesis de Magíster titulada "Estudio y Evaluación del Desempeño de TCP sobre OBS Mediante un Prototipo basado en Simulación", donde exploró un primer estudio de esta tecnología que se encuentra en estado de desarrollo e investigación, y del cual se han derivado algunos artículos presentados en diferentes Congresos Académicos de Tecnología e Investigación, publicados en algunas revistas indexadas en Latindex como Maskana y Latin American Journal of Computing, así como también en Springer.



Paola Venegas

MSc. MBA. Ing. Betty Paola Venegas López, Ingeniera Electrónica con Especialización en Telecomunicaciones, graduada en el año 2011 en la Universidad Politécnica de las Fuerzas Armadas del Ecuador ESPE, cuenta con una Maestría en Redes de Comunicaciones y una Maestría en Administración de Empresas con mención en Gerencia de la Calidad y Productividad, graduada en los años 2014 y 2017, respectivamente, ambas maestrías obtenidas en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Con más de 10 años de experiencia en el sector de las telecomunicaciones, inicialmente trabajó como ingeniera en proyectos en el área de soterramiento de redes en la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda del Municipio de Quito; posteriormente trabajó como Jefe de la Unidad de Reordenamiento de Redes en la Empresa Eléctrica Quito; luego desempeñó sus funciones como Coordinadora de Regulación, ordenamiento y soterramiento de redes en Telconet; posterior se desempeñó como Subsecretaria de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, desempeñando también subrogaciones como Viceministra de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información y Comunicación; y actualmente trabaja como Coordinadora de Contratos Públicos en Telconet.

Durante su trayectoria profesional, ha combinado sus funciones como docente a nivel de pre grado y postgrado en materias tanto técnicas como administrativas, prestando sus servicios en la Universidad de las Américas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Universidad Técnica del Norte, entre sus actividades docentes realizó algunos artículos publicados en revistas indexadas en Latindex como Latin American Journal of Computing, al igual que una publicación también en Springer.



Vinicio Freire

José Vinicio Freire Rumazo, Ingeniero Electrónico con Especialización en Telecomunicaciones, graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con una Maestría en Seguridad Informática obtenida en la Universidad Internacional de la Roja de España, una Maestría en Gerencia de Seguridad y Riesgo obtenida en de las Fuerzas Armadas ESPE de Ecuador y una Maestría en Gerencia de Seguridad y Riesgo obtenida en de las Fuerzas Armadas ESPE de Ecuador. El inicio de las actividades profesionales estuvieron enmarcadas en el análisis de la Voice over IP VoIP para llamadas internacionales a través de ciber cafés y profesor encargado de la materia Electrónica I, en la carrera de pregrado de Ingeniería Electrónica.

Con 19 años de experiencia en el sector de regulación de las telecomunicaciones, ha participado en la elaboración de normativas para el sector, tanto técnicas como administrativas. Los ámbitos de especialización profesional para la regulación y control son la seguridad de redes de telecomunicaciones y telefonía móvil.

Las actividades de investigación técnica y bibliográfica se iniciaron con el interés en el mundo de la seguridad de la información, y posteriormente tanto como alumno y profesor invitado en programas de posgrado.

A proposal to Assist the Mashup Co-evolution when web APIs evolve

Una propuesta para asistir a la Coevolución de Mashup cuando las APIs web evolucionan

ARTICLE HISTORY

Received 01 September 2021
Accepted 23 November 2021

Sandra Casas

GISP - Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Río Gallegos - Santa Cruz
sicasas@uarg.unpa.edu.ar

Graciela Vidal

GISP - Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Río Gallegos - Santa Cruz
gvidal@uarg.unpa.edu.ar

Franco Herrera

GISP - Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Río Gallegos - Santa Cruz
fherrera@uarg.unpa.edu.ar

Una propuesta para asistir a la Coevolución de Mashup cuando las APIs web evolucionan

A proposal to Assist the Mashup Co-evolution when web APIs evolve

Sandra Casas
GISP – Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia
Austral
Río Gallegos – Santa Cruz
sicajas@uarg.unpa.edu.ar

Graciela Vidal
GISP – Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia
Austral
Río Gallegos – Santa Cruz
gvidal@uarg.unpa.edu.ar

Franco Herrera
GISP – Instituto de Tecnología Aplicada
Universidad Nacional de la Patagonia
Austral
Río Gallegos – Santa Cruz
fherrera@uarg.unpa.edu.ar

Resumen—A medida que evolucionan las interfaces de programación de aplicaciones web (APIs), los contratos establecidos previamente cambian y por lo tanto, pueden afectar el comportamiento, funcionamiento y ejecución de aplicaciones de consumo como Mashup. En estos casos, estas aplicaciones necesitan ser actualizadas para seguir funcionando, es un proceso llamado coevolución. Identificar y localizar las operaciones que se ven afectadas por la evolución de las APIs web y estimar el impacto que generan son tareas necesarias que ayudan al desarrollador a actualizar el código. Este trabajo presenta una propuesta para asistir a la coevolución de Mashup. Específicamente a partir de un grafo de operaciones de mashup identificamos y ubicamos las operaciones afectadas por algunos cambios en las APIs web. También proponemos un conjunto de métricas simples, las que permiten estimar el impacto de estos cambios en el mashup. El grafo y las métricas de operaciones de Mashup ayudan a los desarrolladores web en las tareas de coevolución. La propuesta fue aplicada a dos mashup que actualmente se encuentran disponibles en la web. Los resultados preliminares muestran que la propuesta es aplicable.

Index Terms— *impacto del cambio de API, APIs web, co-evolución, web mashup*

Abstract— As web application programming interfaces (APIs) evolve, previously established contracts change and therefore can affect the behavior, operation, and execution of consumer applications such as Mashup. In these cases, these applications need to be updated to continue working, it is a process called coevolution. Identifying and locating the operations affected by the evolution of web APIs and estimating the impact they generate are necessary tasks that help the developer to update the code. This work presents a proposal to assist the coevolution of Mashup. Specifically, from a mashup operations graph we identify and locate the operations affected by some changes in the web APIs. We also propose a set of simple metrics, which allows us to estimate the impact of these changes on the mashup. Mashup's graph and operations metrics assist web developers in coevolution tasks. The proposal was applied to two mashups that are currently available on the web. Preliminary results show that the proposal is applicable.

Index Terms— *API change impact, web APIs, co-evolution, web mashup*

I. INTRODUCCIÓN

Las APIs (Interfaz de Programación de Aplicaciones) permiten reutilizar componentes de software en el contexto del desarrollo de software y así mejorar la productividad [1][2]. En particular las APIs web facilitan el intercambio de datos inter e intra organizacionales disponibles a través de puntos finales específicos (URL) [3].

Los Mashups [4] invocan a las APIs web mediante el envío de solicitudes HTTP a una URL dedicada utilizando alguno de sus métodos HTTP compatibles; los datos requeridos son enviados como parámetros. De esta forma, la aplicación consumidora accede a servicios web, utilizando APIs web, invocadas a través de la red que dependen de tecnologías web como protocolos de transporte o XML (eXtensible Markup Language) y JSON (Javascript Object Notation) como formatos de datos. En la práctica, estas APIs son a menudo del estilo arquitectónico REST (Transferencia de Estado representativo) [5].

El extendido uso de APIs ha mostrado nuevos problemas a estudiar y resolver en relación a la documentación, usabilidad, seguridad, etc [6][7][8][9], y el que atañe a esta propuesta, la asistencia a la coevolución de los Mashups ante cambios y evolución de las APIs web.

Se ha denominado coevolución [10], cuando el software del cliente debe modificarse para mantenerse compatible con los cambios de las APIs. En el caso de APIs web, puede ser crítico, en tanto las aplicaciones clientes pueden perder la robustez, disponibilidad y confiabilidad, si la evolución tiene efectos conocidos como “breaking changes” y requiere que se reescriba el código correspondiente [11][12]. Los cambios de metadatos o cambios sintácticos y cambios semánticos, pueden requerir un esfuerzo significativo de reparación e incluso descubrimiento a partir del fallo.

Por otro lado, varias plataformas facilitan el desarrollo de mashups simples al ofrecer entornos visuales que permiten a los usuarios seleccionar componentes predefinidos y combinarlos, tales como PIPES, DeployPlace y Netvibes, entre otras. También es posible desarrollar mashups a partir de frameworks web o lenguajes como Javascript o PHP. Mientras las herramientas mashups se enfocan principalmente

en modelar el flujo de datos y el desarrollo rápido, se observa que existen menos enfoques y herramientas dedicados a la resolución de aquellos problemas que se ocasionan debido a la evolución de los componentes externos [13].

Con el objetivo de facilitar la coevolución de mashups, como consecuencia de la evolución de las APIs web, este trabajo propone asistir a desarrolladores en la identificación y cuantificación de los efectos de los cambios. En concreto se propone:

(i) identificar los impactos a partir de un grafo de operaciones y flujos de datos, que representa la funcionalidad del mashup que consume las APIs web;

(ii) estimar el impacto de los cambios a partir de dicho grafo, mediante la aplicación de un conjunto de métricas.

En cuanto a los tipos de cambios, ocasionados por la evolución de las APIs, se ha escogido un subconjunto, reportados en otros estudios [14][15]. Esta propuesta no está vinculada directamente a una herramienta específica de desarrollo o edición, aun así, se presenta una herramienta prototipo que automatiza el proceso de identificación de operaciones impactadas y la estimación basada en métricas.

En la Sección II se exponen algunos problemas que motivan este trabajo, en la Sección III se describe el enfoque propuesto, en la Sección IV se aplica el enfoque a dos mashups disponibles en la web, en la Sección V se mencionan los trabajos relacionados y en la Sección VI se desarrollan la discusión y las conclusiones.

II. PROBLEMAS Y MOTIVACIONES

La evolución de las APIs web es un área de estudio muy reciente [10]. La criticidad de la problemática radica en el hecho de que cuando una solicitud se dirige a una URL que no existe o envía datos que no cumplen con los requisitos de la API web, se produce un error en tiempo de ejecución. Este mecanismo de invocación frecuente para las APIs web, no permite la verificación de seguridad de tipos. Diversos cambios producto de la evolución de las APIs web [14][15] [16] [17] han sido reportados.

A. Escenarios y problemas

Supongamos un web mashup muy simple e imaginario, que consiste en que dada una personalidad, se rastrea su actividad reciente en las redes sociales Facebook y Twitter. El gráfico de la Figura 1 muestra una secuencia de operaciones posibles que requiere el desarrollo de la situación propuesta.

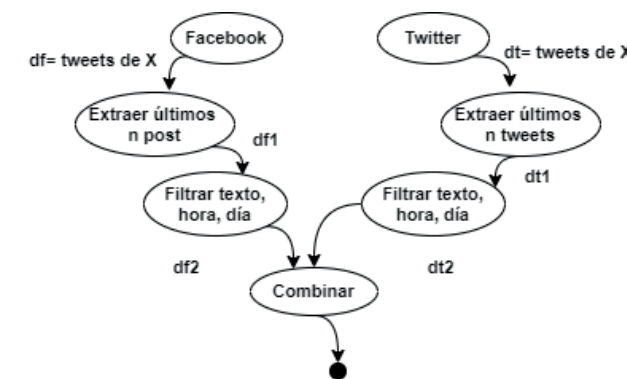


Fig.1 Representación de operaciones de un mashup

La implementación del mashup inicia con las peticiones de los posteos y tweets de una personalidad (X), a continuación en cada caso se extrae una determinada cantidad de ítems (n) de la respuestas (df y dt) en JSON o XML, y posteriormente se filtran los datos que en particular interesan (texto, hora y día de los posteos y tweets), para finalmente generar la salida, producto de la combinación resultante.

En la Figura 2, se han transcritto parcialmente las peticiones a las APIs web de Facebook y Twitter y sus respuestas en formato JSON. En caso de Facebook (a), la petición indica el identificador de la página y el post requeridos, por defecto la respuesta (b) incluye los campos created_time, message e id, sin embargo el usuario puede especificar los campos. En el caso de Twitter (c), la petición retorna una colección de tweets relevantes que coinciden con el screen_name solicitado (nombre del usuario). La respuesta (d) incluye no solo los tweets del usuario, sino también los retweets y replicas en cada caso. En ambos casos se requiere la misma información pero las peticiones son diferentes, y aunque retornan los resultados en JSON, las estructuras y contenidos de las respuestas no son compatibles. Algunas situaciones que pueden generar fallos o errores en la ejecución de este simple e imaginario mashup son las siguientes:

(i) alguna de las URL de las peticiones no funciona debido a que el proveedor cambió la ruta;

(ii) cierta petición no funciona dado que la lista de parámetros enviada no coincide con la lista esperada;

(iii) las operaciones de filtrado no funcionan porque los valores de mes y/o año cambiaron de formato;

(iv) alguna de las operaciones de filtrado no funciona debido a que se ha eliminado alguno de los campos que requiere el mashup;

(v) la operación combinar no se puede ejecutar en razón que una de las entradas ha producido un error.

```
FB.api(
  "/(page_id)/post_id/",
  function(response){
    if(response && !response.error){
      /* handle the result*/
    }
  }
);
(a)

{
  "data": [
    {
      "created_time": "2017-12-08T01:08:57+0000",
      "message": "Love this puzzle. One of my favorite puzzles",
      "id": "post-id"
    },
    {
      "created_time": "2017-12-07T20:06:14+0000",
      "message": "You need to add grape as a flavor.",
      "id": "post-id"
    }
  ]
}
(b)

https://api.twitter.com/1.1/statuses/
user_timeline.json?screen_name=twitterapi&count=2
(c)

{
  "created_at": "Thu Apr 06 15:28:43 +0000 2017",
  "id": "850007368138018817",
  "id_str": "850007368138018817",
  "text": "RT @TwitterDev: 1/ Today we're sharing our vision for the future of the Twitter API platform! https://t.co/XweGnmX1P", "truncated": false,
  (d)
```

Fig.2 Solicitud y respuesta de las APIs web de Facebook y Twitter

Además de lidiar con estos cambios externos, otra dificultad que se presenta a la hora de gestionar la coevolución se refiere a la localización de las operaciones afectadas en el código del mashup. Las operaciones de acceso

a las fuentes, filtrar, extraer, combinar u otras, están inmersas en la codificación de diferentes formas, podrán ser cada una modularizada o no, en funciones o métodos, situación que varía según las herramientas de desarrollo usadas (lenguaje de script, frameworks, etc.) y por sobre todo, el estilo de programación del programador.

B. Cambios y evolución de APIs web

El estudio de [17] encontró que un número significativo de aplicaciones móviles fallará a la luz de los cambios en las APIs web que consumen. En [6] se enfatiza la necesidad de generar soluciones al soporte mediante herramientas para desarrolladores que escriben código que usan APIs web, automatización de tareas manuales, tediosas y propensas a errores, sobre los cuales hay algunas propuestas [18], aún insuficientes.

En particular para este trabajo, se escoge un subconjunto de cambios, que posteriormente será ampliado. A continuación, se describen brevemente:

- (i) Remoción de campos (RC) [17]. Consiste en la eliminación de uno o más campos de la respuesta de la API web.
- (ii) Cambios en los tipos de datos (CTD) [16]. Consisten en dos tipos de cambios, reemplazar un entero por un string o la operación inversa. Esto genera un problema especialmente si el mashup está codificado en un lenguaje tipado o los datos se van a aplicar a operaciones de tipo (aritméticas u otras).
- (iii) Modificación de los puntos finales (MPF) [14]. Los proveedores de API exponen recursos al proporcionar puntos finales para acceder a ellos. Los proveedores pueden desconectar los puntos finales (eliminar), agregar nuevos, cambiar la ruta o incluso reemplazar un punto final existente por uno nuevo.
- (iv) Modificación de los parámetros (MP)[14]. Los parámetros se utilizan para refinar recursos, pueden ser parámetros de ruta o de consulta. Los parámetros pueden ser opcionales u obligatorios. Los proveedores de API pueden agregar nuevos parámetros a los recursos, los existentes se pueden eliminar, renombrar, cambiar el tipo o incluso cambiar de opcional ha requerido, y viceversa.
- (v) Cambios en los niveles de autoridad (CA) [14]. Para interactuar con recursos específicos, los usuarios deben tener el nivel de autoridad requerido. El conjunto de niveles de autoridad para un recurso puede cambiar agregando nuevos niveles, eliminando o simplemente cambiando la autoridad necesaria.

III. ASISTENCIA A LA COEVOLUCIÓN DE MASHUP

La propuesta tiene por objetivo descubrir qué operaciones y sectores de la implementación del mashup consumidor pierden robustez o se quiebran ante un cambio en la respuesta de la API del proveedor. Los artefactos que la integran son un grafo denominado Grafo de Operaciones Mashup (GOM) y un conjunto de métricas. El grafo representa operaciones propias de los entornos de desarrollo rápido tales como Yahoo Pipes, Pipes Digital o Microsfy Popfly.

A. Grafo de Operaciones Mashup

De manera general y simplificada se define el Grafo de Operación de Mashup (GOM), $G = \langle O, F \rangle$ como un grafo

dirigido y acíclico que expresa las dependencias de datos y operaciones implementados en un mashup, donde,
- O es un conjunto finito de operaciones $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$, y n es el número de operaciones y $n > 2$;
- F es un conjunto finito de flujos de datos entre las operaciones del mashup $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$, y m es el número de dependencias y $m > 1$.

Las operaciones, que constituyen los nodos o vértices del grafo, tienen su propia semántica, pero es posible en cada caso definir las como tuplas que se describen al menos por los siguientes elementos, $o = \langle \text{tipo}, \text{identificador}, DE, DS, PREC, \text{código} \rangle$. Donde *tipo* define el comportamiento de la operación específica en un conjunto previamente establecido. En este caso, *tipo* = *source* o *combine* o *filter* o *extract* o *merge* o *duplicate* o *build doc*, *identificador* es un atributo que identifica a la operación particular, *DE* y *DS* son conjuntos de flujos de datos de entrada y salida respectivamente. Por lo general *DE* y *DS* son colecciones de estructuras de datos compuestas por datos simples, pueden implementarse de diferentes formas (XML, JSON, vector, variables, u otro). *PREC* es un conjunto de condiciones o restricciones que deben cumplirse para que la operación *o*, se pueda ejecutar, las mismas están acotadas al *tipo* de operación y a los flujos de datos de entrada, *DE*. Por último, *código* es la referencia a la implementación de la operación en el mashup, pudiendo ser los identificadores de clase, método, función u otro. Este último atributo es el que permite ubicar o localizar a la operación en los programas específicos independientemente de las herramientas usadas (Javascript, PHP, Java, etc.).

El grafo siempre inicia con operaciones que acceden a las APIs web y luego se aplican las diferentes operaciones que procesan estas entradas, generando salidas diversas. Las operaciones representadas en el GOM son:

- (i) Source: Entrada de datos externa (APIs, RSS, etc.). Se debe especificar la URL sobre el cual se obtienen los datos en un formato determinado (XML, JSON). Las condiciones refieren a que la URL y listas de parámetros deben ser válidas y los niveles de autorización son adecuados.
- (ii) Duplicate: genera dos estructuras idénticas al *DE* sin realizar manipulación de los datos.
- (iii) Combine: Combina dos o más flujos de datos de entrada en una sola salida. Se requiere que las estructuras de los *DE* sean consistentes (contenido, orden y cantidad de elementos).
- (iv) Merge: Combina los ítems de dos flujos de datos de entrada, uno a continuación del otro respetando el orden de las entradas. Se requiere que las estructuras de los *DE* sean consistentes (contenido, orden y cantidad de elementos).
- (v) Extract: Extrae contenido de un flujo de datos de entrada a partir de un elemento indicado por el desarrollador. Todos los elementos coincidentes serán el contenido del flujo de datos de salida de esta operación. Se requiere que los elementos de la comparación existan en *DE* y mantengan el formato.
- (vi) Filter: A partir de una palabra clave o una expresión regular y un campo especificado, filtra información de un flujo de entrada. Se requiere que el término de búsqueda se encuentre disponible en el *DE* y no vacío.
- (vii) Build Doc: A partir de varios flujos de entrada de los cuales se seleccionan diferentes contenidos, se crea una salida específica. Se requiere que al menos deben existir dos *DE* entradas disponibles y en el formato esperado.

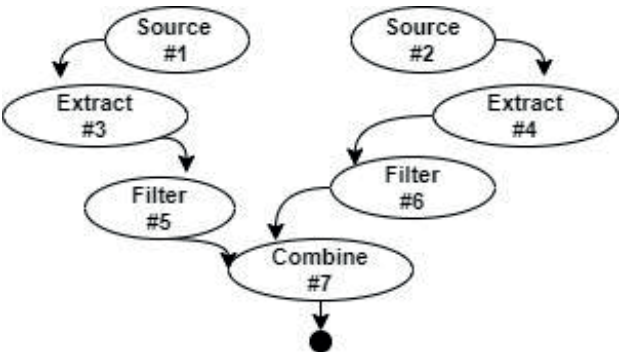


Fig.3. Representación de un Mashup a través de un GOM

Es un mashup de siete operaciones, dos de entrada (Source #1:Facebook y Source #2:Twitter) y el resto de procesamiento (filter, extract, etc). Suponiendo que se produce un cambio, en el API web de Twitter, coincide con la operación Source #2, a partir de allí, se analiza el camino, ($\langle \text{Extract}\#4, \text{Filter}\#6, \text{Combine}\#7 \rangle$). Para cada una de las operaciones de este camino se considera su vulnerabilidad ante el cambio (Tabla I). Si el cambio rompe alguna de las precondiciones de Extract#4, entonces se consideran todos los caminos para calcular como afecta el cambio. Resultando, $QOM = 7$, $QOMP = 5$ ($\langle \text{Extract}\#3, \text{Extract}\#4, \text{Filter}\#5, \text{Filter}\#6 \text{ y } \text{Combine}\#0 \rangle$), $QI = 3$ ($\langle \text{Extract}\#4, \text{Filter}\#6 \text{ y } \text{Combine}\#7 \rangle$), QID es 1 ($\langle \text{Extract}\#4 \rangle$), QII es 2 ($\langle \text{Filter}\#6 \text{ y } \text{Combine}\#7 \rangle$). Luego $IT = 0,43$, $ID = 0,14$, $II = 0,29$ y $IP = 0,6$.

C. Implementación del GOM y cálculo de métricas

Se ha desarrollado una herramienta prototipo, que implementa el GOM mediante una matriz de adyacencia. Las operaciones son objetos que disponen de todos los datos definidos en la sección 3.A, $o = \langle \text{tipo}, \text{identificador}, DE, DS, PREC, \text{código} \rangle$. En el caso de la operación Source, además se describe la API web y como precondición la URL base o el punto final al cual se realizan las solicitudes, pueden ser más de uno. Los cambios también son objetos que describen ciertos aspectos tales como el API web que lo produce, el tipo de cambio y atributos del mismo, como se explicó en la sección 2.B.

El prototipo automatiza la identificación de la/s operación/es impactadas por un determinado cambio y el cálculo de las métricas. Entonces, dado un GOM y un cambio determinado, el algoritmo primero ubica la operación afectada. Para ello, inicia evaluando todas las operaciones de tipo “source”, hasta identificar la coincidencia con el API web del cambio. A partir de este vértice, luego recorre todos los caminos que desde el mismo se inician. En el recorrido de cada camino se analiza por cada operación incluida (vértice), si es afectada por el tipo de cambio (Tabla I). En el caso que la operación es vulnerable al cambio, entonces se verifica el cumplimiento de las precondiciones. A partir de estas evaluaciones se determinan los cálculos de las métricas. Para ello, solo es necesario continuar recorriendo los caminos. Por último, como cada operación del grafo, también referencia el código de la implementación, además de identificar la operación se identifica el sector en los programas que la contiene y que deberán ser examinados.

La Figura 4 muestra la interfaz de la herramienta, en la parte superior se visualiza el grafo de operaciones que representa el

En la Tabla I, se detalla que tipo de cambio puede afectar a cada operación si no se cumplen las precondiciones definidas para cada operación.

TABLA I. RELACIÓN OPERACIONES Y TIPOS DE CAMBIO

Operación	Tipo de cambio
Source	Modificación de puntos finales (MPF) Modificación de los parámetros (MP) Cambio nivel de autoridad (CNA)
Duplicate	---
Combine	Remoción de Campos (RC) Cambio en los tipos de datos (CTD)
Merge	Cambio en los tipos de datos (CTD) Remoción de Campos (RC)
Extract	Remoción de Campos (RC) Cambio en los tipos de datos (CTD) Modificación de los parámetros (MP)
Filter	Remoción de Campos (RC) Cambio en los tipos de datos (CTD)
Build Doc	Cambio en los tipos de datos (CTD) Remoción de Campos (RC)

B. Métricas para analizar el impacto

Para dimensionar los efectos que un cambio c_i ocasiona en un mashup se proponen un conjunto de métricas calculadas a partir del GOM, las cuales son presentadas en la Tabla II.

TABLA II. METRICAS

Métrica	Descripción
QOM	Cantidad de operaciones del mashup
QOMP	Cantidad de operaciones del mashup de procesamiento (excluye a las entradas)
QI (c_i)	Cantidad de operaciones impactadas por el cambio c_i .
QID (c_i)	Cantidad de operaciones directamente impactadas por el cambio c_i
QII (c_i)	Cantidad de operaciones indirectamente impactadas por el cambio c_i
IT(c_i)	Impacto de cambio c_i . Se obtiene de QI/QOM
ID (c_i)	Impacto directo del cambio c_i . Se obtiene de QID/QOM
II (c_i)	Impacto indirecto del cambio c_i . Se obtiene de QII/QOM
IP(c_i)	Impacto en la operaciones de procesamiento (excluye las entradas) $QI/QOMP$

Donde QI equivale a $QID + QII$, e IT a $ID + II$. Las operaciones impactadas por un cambio c_i (QI) es un conjunto formado por operaciones en las que el cambio ocasiona que no se cumpla al menos una de las precondiciones (*PREC*) establecidas (operaciones directamente impactadas - QID) y el conjunto de operaciones sucesoras o adyacentes a esta (operaciones indirectamente impactadas - QII) en el grafo dirigido.

En cuanto a las métricas IT , ID , II e IP , son proporciones que se establecen de manera simple en relación con la/s operación/es impactadas y todas las operaciones del grafo. Este conjunto de métricas permite analizar y dimensionar el efecto y propagación de un determinado cambio. La cantidad de operaciones impactadas (QI) proporciona una estimación de la cantidad de código y/o partes de código a rever y modificar. Los valores de IT , ID , II e IP oscilan entre $0 \leq x \leq 1$, resultando más grave cuanto más se acerque a 1. Lo que implicaría que más código del mashup debe ser revisado y modificado ante un cambio.

Para ilustrar el esquema presentado, la Figura 3 representa al GOM de la situación planteada en la sección II.

mashup en estudio, luego las referencias a las operaciones. A continuación, se presenta el tipo de cambio que se ha realizado (texto azul), que incluye la API en la cual se produjo y las condiciones modificadas. El prototipo además muestra las operaciones afectadas directamente por el mismo y una referencia al código que debe ser revisado (texto rojo). Finalmente, se listan los resultados de las métricas que permiten analizar el impacto del cambio realizado en la API web sobre el mashup.

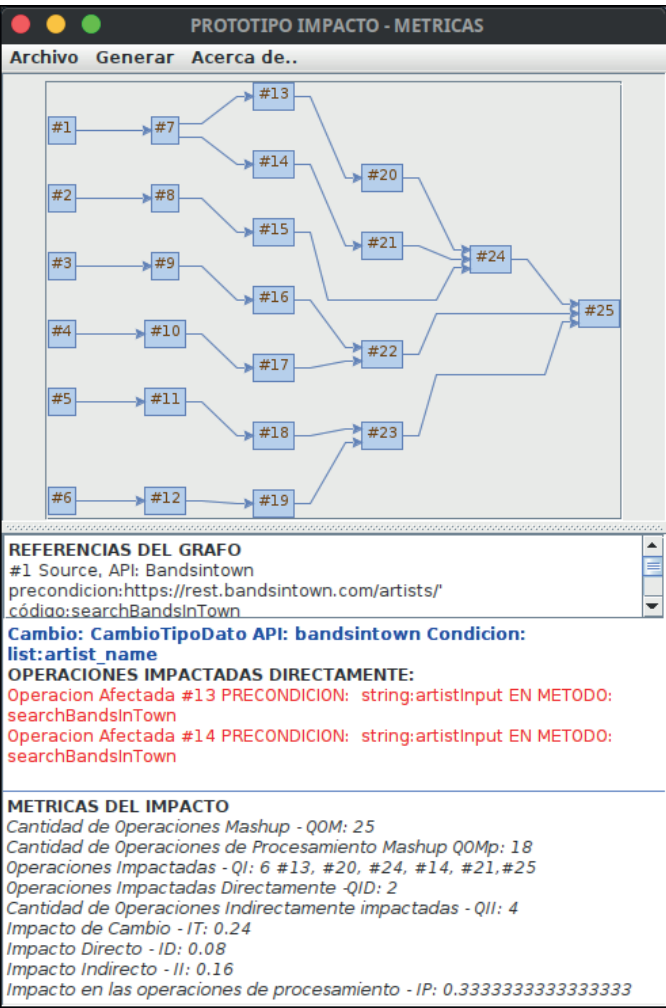


Fig.4. Automatización del GOM y cálculo de métricas

IV. APLICACIONES

En esta sección, se representa la aplicación de la propuesta a dos mashups. En ambos casos se ha analizado manualmente la implementación de estas aplicaciones para la generación de los GOM, las mismas están disponibles en el repositorio GitHub (<https://github.com>) y están implementadas en HTML y Javascript.

Kiteflite

La web mashup Kiteflite (<https://clayjuneau.com/Kiteflite>) es un proyecto desarrollado en la Universidad de Texas A&M, esta aplicación integra las APIs web OpenWeatherMap, SkyScanner y Yelp. Kiteflite permite al usuario encontrar la ubicación ideal (20 estados de EEUU) para volar una cometa, según las condiciones climáticas.

En la Figura 5, se presenta el GOM que representa las operaciones del mashup Kiteflite. El grafo consta de veinte

operaciones, de las cuales 2 son de tipo source, 4 realizan copia de los datos de entrada (duplicate) y catorce son de procesamiento.

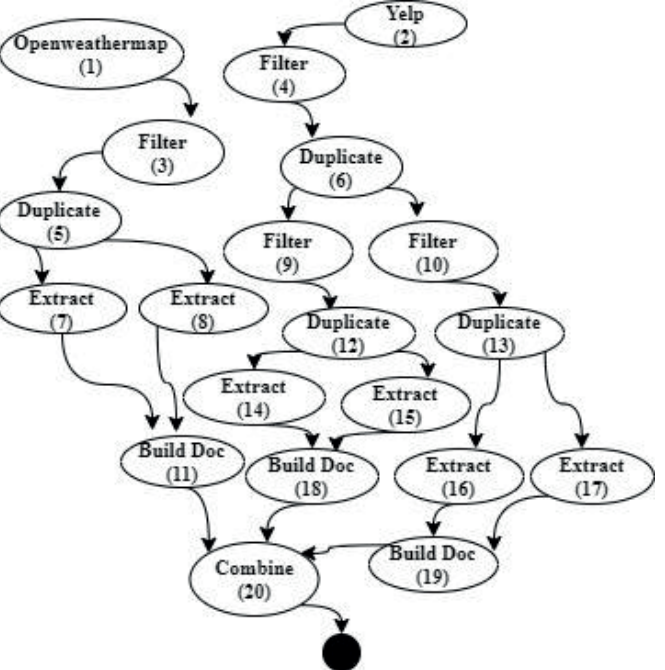


Fig.5. GOM correspondiente al mashup Kiteflite

Se han analizado los cambios #1, #2 y #3 sobre el GOM, que afectan directamente las operaciones 11, 4 y 20, del mashup kiteflite. En la Tabla III se presentan los detalles.

TABLA III. ANALISIS DE CAMBIOS	
CAMBIO #1	
Tipo: Remoción de Cambio	
API: OpenWeatherMap	
Condición: {campo = speed ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Build Doc,	
Identificador:#11,	
PREC: {campo = speed ∈ DE }	
Código: weather.js - index.htm	
CAMBIO #2	
Tipo: Cambio de Tipo de Dato	
API: YELP	
Condición: {campo = city, tipo = String ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Filter,	
Identificador:#4,	
PREC: {campo = city, tipo= String ∈ DE}	
Código: yelp.js, yelp-bundle.js, index.html	
CAMBIO #3	
Tipo: Remoción de campo	
API: YELP	
Condición: {campo = businesses ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Combine,	
Identificador:#20,	
PREC: {campo = businesses ∈ DE}	
Código: yelp.jss, index.html	

La operación Build doc (11) requiere el campo *speed* dentro de su estructura, el cual ya no está disponible. En este caso será necesario examinar el código de weather.js e index.html. La operación Filter (4) utiliza el campo city de

tipo String, sin embargo este tipo de dato cambia, por lo tanto no será posible obtener la información de la ciudad requerida y esto afectará a otras 12 operaciones que procesan la información resultante. El código que debe ser analizado es yelp.js, yelp-bundle.js e index.html. El cambio #3 sobre Combine (20), remoción del campo *businesses* no permitirá el acceso a este dato. Esto significa que debe verificarse el código de yelp.js e index.html. En la Tabla IV, se presentan los resultados de las métricas.

TABLA IV. DETALLE DE MÉTRICAS CALCULADAS POR CAMBIO			
Cambio	#1	#2	#3
QOM	20	20	20
QOMP	14	14	14
QI	2	13	1
QID	1	1	1
QII	1	12	0
IT	0,1	0,65	0,05
ID	0,05	0,05	0,05
II	0,05	0,6	0
IP	0,14	0,93	0,07
Código	weather.js index.html	yelp.js,yelpbundle.js, index.html	yelp.js index.html

Ilovesmusic

En esta sección, se representa la aplicación de la propuesta al mashup Ilovesmusic (<http://ilovemusic.mariomelchor.com/>) Este mashup permite a los usuarios realizar búsquedas de artistas y acceder a las últimas noticias, lanzamientos y próximos eventos. La aplicación utiliza diversas APIs web como Bandsitown, Wikipedia, Youtube, Spotify y Facebook e Instagram.

En la Figura 6, se representa el GOM del web mashup en estudio, cuenta con 25 operaciones, de las cuales seis son fuentes de información (APIs web), 18 son de procesamiento de información y un (duplicate) realiza una copia de los datos sin modificarlos.

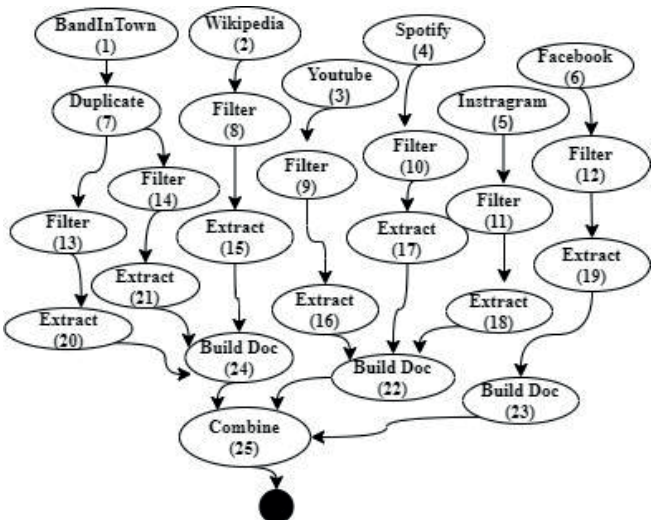


Fig.6. GOM correspondiente al mashup Ilovesmusic

Entre las operaciones de procesamiento se identifican filter, este caso está basado en artistas ingresados por el usuario, esta operación se realiza sobre cada una de las fuentes utilizadas. Otra operación es extract que permite seleccionar determinados campos tales como la biografía del artista de la fuente Wikipedia. Luego, se

utiliza la operación build doc la cual permite seleccionar campos específicos que forman parte del documento de salida. Finalmente, combine permite unir estas salidas en un documento final. A continuación se describen tres posibles cambios y sus efectos sobre las operaciones de Ilovesmusic.

En la Tabla V, se detallan el análisis de 3 cambios; el cambio #1 sobre source BandsInTown (1), modificación de punto final no permitirá acceder a la fuente de información. Lo cual también afectará a las operaciones duplicate (7), filter (13), filter (14), extract (20), extract (21), build doc (24), y combine (25) y por lo tanto a los resultados finales de la consulta. El código a revisar se encuentra en la función searchBandsInTown(). El cambio #2 sobre extract (17), remoción de campo, ya que el campo *artistname* no existe en la respuesta. Lo cual también afectará a las operaciones build doc (22), combine (25) y por lo tanto a los resultados finales. El código a revisar es la función Spotifysearch() e index.html. El cambio #3 sobre combine (25), modificación en el tipo de dato del campo *videoId* no permitirá el acceso a este dato para ser presentado en los resultados finales. El código de los archivos youtube.js e index.html deberá ser analizado ante este cambio.

TABLA V. ANALISIS DE CAMBIOS	
CAMBIO #1	
Tipo: Modificación de Punto Final	
API: BandsInTown	
Condición: {Path=https://rest.bandsintown.com/artists/{artistname} ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Source	
Identificador:#1,	
PREC: {Path=https://rest.bandsintown.com/artists/{artistname} ∈ DE}	
Código: searchBandsInTown()	
CAMBIO #2	
Tipo: Remoción de campo	
API: Spotify	
Condición: {campo = artistname ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Extract	
Identificador:#17,	
PREC: {campo = artistname ∈ DE}	
Código: Spotifysearch(), index.html	
CAMBIO #3	
Tipo: Modificación de Tipo de Dato	
API: Youtube	
Condición: {campo = videoId, tipo = Int ∈ DE}	
OPERACIÓN AFECTADA	
Tipo: Combine	
Identificador:#25,	
PREC: {campo = videoId, tipo = Int ∈ DE}	
Código: youtube.js index.html	

En la Tabla VI, se muestran los resultados de las métricas obtenidos para cada uno de los cambios detallados.

TABLA VI DETALLE DE MÉTRICAS CALCULADAS POR CAMBIO			
Cambio	#1	#2	#3
QOM	25	25	25
QOMP	18	18	18
QI	8	3	1
QID	1	1	1

QII	7	2	0
IT	0,32	0,12	0,04
ID	0,04	0,04	0,04
II	0,28	0,08	0,17
IP	0,44	0,16	0,05
Código	searchBandsInTown()	spotifySearch(index.html)	youtube.js, index.html

V. TRABAJOS RELACIONADOS

La evolución del software y el impacto de los cambios es un área de investigación de la ingeniería de software de importancia, diversas líneas se relacionan a este trabajo. En cuanto a los cambios producto de la evolución de las APIs, existen estudios sobre los cambios de las APIs locales (una API sin interacción de red) y el impacto en las aplicaciones que las usan, pero tanto las características de los cambios como las alternativas propuestas para su manejo (refactoring, migración, etc.) no son directamente aplicables al contexto de APIs web o al paradigma de servicios, según [16].

La revisión sistemática [19] analiza 60 estudios sobre el análisis y la propagación del impacto en los dominios BPM (Business Process Analysis) y SOA (Service Oriented Architecture). Según los autores, las soluciones del análisis de impacto basadas en la dependencia dominan claramente, y las técnicas que usan grafos son las adoptadas con más frecuencia, mientras que técnicas que permitan la cuantificación del impacto del cambio a través de ciertas métricas no han recibido tanta atención. Los autores resaltan que predominan los estudios de análisis y propagación del impacto a nivel inter-servicio e intra-servicio, lo que acentúa las diferencias con nuestra propuesta dirigida a mashup de datos. También en el dominio SOA, en [20] analizan que la evolución de los web services genera cambios en la interface de los servicios, cambios en el código del cliente y cambios en la utilidad del servicio, y proponen métricas para estos aspectos individualmente, para ello usan los WSDL (lenguaje descripción de servicios web) para los cálculos.

En lo referente a la coevolución de mashup por cambios en los componentes externos, no existen demasiados estudios. En [21] se presenta un estudio en el cual se identifican las dependencias en un mashup (de unión y de intersección de datos) desde la perspectiva orientada a patrones. A partir de un grafo que representa las operaciones y la definición de probabilidad de influencia, calculan el impacto de un cambio, la propuesta se implementa en torno a la plataforma Mashroom de desarrollo rápido y casual de mashup.

En [22] se presenta un enfoque para la depuración paso-a-paso y el mantenimiento de mashups declarativos, basado en la plataforma WS-Aggregation, lo que facilita la automatización de la propuesta. Esta herramienta es un framework que ofrece plantillas que permiten generar automáticamente las consultas a las APIs web.

Dada la importancia de migrar los programas de los clientes, se ha dedicado investigación a esta área y se han propuesto diferentes enfoques [6][13] para automatizar el proceso de migración. Sin embargo, en la práctica, rara vez se observa que estos enfoques se adopten en la migración de clientes de APIs web. La mayoría de las migraciones aún se realizan manualmente, sin soporte automatizado.

Otros aspectos del mantenimiento de mashups han sido abordados. Los mashups de servicio de datos son una clase especial de aplicación mashup que combina información “on

the fly” de varias fuentes de datos. El problema de cómo lograr el mejor rendimiento con el mínimo costo de mantenimiento, cuando se actualizan las fuentes de datos primitivas, y la caché debe actualizarse, es tratado por [23][24] [25]. También sobre el mantenimiento de mashups, en [26] se presentan técnicas que ayudan a los desarrolladores de mashup a mantener las aplicaciones identificando cuándo y cómo cambian las IU de las aplicaciones originales, pero las técnicas que principalmente se utilizan son para buscar los widgets que mejor se adaptan al cambio. Las técnicas están soportadas al entorno de edición MashDesk.

Otra línea que se desprende de la coevolución, refiere a las áreas de adaptación de APIs, o de procesos de negocio, o de la composición de servicios web para cambiar el flujo de trabajo / procesos de negocio [27][28][29]. Nuestra propuesta no aborda este tipo de problemas.

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La propuesta presenta resultados preliminares que permiten en esta instancia conocer todas las operaciones que directa y/o indirectamente son afectadas ante determinados cambios ocasionados por la evolución de las APIs web y así asistir a las tareas de revisión y corrección de código.

En el dominio de servicios BPM y SOA, existen diversos trabajos sobre análisis del impacto de los cambios y su propagación [19]. Aquí observamos que difieren los mecanismos de la composición, mientras que BPM y SOA usan esquemas bien estructurados, como WSDL, en los mashup la composición se hace desde las aplicaciones que se ejecutan en el servidor y/o en el cliente, no siendo estructurada. En consecuencia, ocasiona diferencias en la forma de identificar

ar, representar y analizar los cambios y su propagación, ya que no se dispone de un mecanismo estructurado para calcular métricas como en [20].

Las principales diferencias de [21] con nuestro trabajo, están en la categorización de las operaciones del mashup, y en que no se consideran los tipos de cambios que pueden generar impactos. Consideramos algunos puntos en común con [22], ya que analizan las dependencias de los datos externos a partir de un grafo, se aplica el concepto de “anomalía” en lugar de cambios y se identifican potenciales puntos de fallos según aserciones, en lugar de operaciones. Sin embargo, no se estima cuantitativamente los efectos de las anomalías.

La decisión de definir operaciones en un sentido abstracto pero con una semántica relacionada a las funcionalidades de los mashups, resulta del objetivo de no limitar el enfoque a herramientas determinadas. Siendo esta, la principal razón por lo que en esta instancia el GOM no se genera automáticamente. Sin embargo, al asociar las operaciones a los sectores de código que la implementan, la ubicación real se mantiene. Esta decisión más allá de ser una limitación, resulta una ventaja, en tanto las estrategias pueden integrarse a herramientas o editores existentes, que cuentan con estas operaciones o similares, como Yahoo Pipes, Pipes Digital y Microsoft Popfly. Se logrará ampliar la funcionalidad de las mismas, en tanto no impone restricciones importantes y pueden generarse automáticamente el GOM y calcularse las métricas. Lo que constituye una diferencia con otros trabajos que hemos relacionado, que son diseñados en función de

determinadas herramientas (MashDesk, WS-Aggregation, Mashroom, etc.).

Las métricas que se han propuesto aportan información cuantitativa sobre los efectos del cambio, sin embargo, un análisis del grafo junto con estas métricas ofrecen una visión general del verdadero alcance de un cambio sobre el mashup. Una discusión se plantea entre la clasificación de impacto directo e impacto indirecto. Esta diferenciación surge en tanto aún no es posible precisar que el cambio se propaga *necesariamente*, o bien, considerando que luego de reparada la operación que directamente es afectada, tal vez no sea necesario modificar el resto de las operaciones que le suceden. Las métricas apuntan a considerar operaciones, en lugar de líneas de código, es decir, acompañan el nivel conceptual de abstracción.

La propuesta está centrada particularmente en mashup web que consumen APIs web de datos. Otros tipos de mashup que consumen otros tipos de recursos no han sido considerados, por lo que las conclusiones no los abarcan, aunque se pueda asumir que con adaptaciones y / o extensiones el enfoque es aplicable a dichos modelos.

La investigación relacionada a la evolución de las APIs web y sus cambios es reciente, existen diversas líneas de trabajo en curso. En tanto estas líneas están abiertas y los resultados existentes sean incompletos para formular una teoría o modelo, los aportes para la co-evolución son también incompletos, ya que son dependientes en cierta medida de tipos, características y efectos de la evolución de las APIs. Desde esta perspectiva nuestra propuesta no está cerrada.

El trabajo futuro está orientado a completar el enfoque propuesto, en particular interesa ampliar el tipo de operaciones y de cambios para lograr una más completa asistencia a la co-evolución. Otro objetivo es integrar el enfoque a herramientas de desarrollo de aplicaciones web y refinar el conjunto de métricas aportadas.

REFERENCIAS

[1] R. Robbes, M. Lungu and A. Janes. “API fluency” ICSE-NIER '19: Proceedings of the 41st International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results. pp 97–100, 2019.

[2] W. Maalej and M. P. Robillard, “Patterns of knowledge in API reference documentation,” IEEE Trans. Softw. Eng., vol. 39, no. 9, pp. 1264–1282, 2013.

[3] U. Dekel and J. D. Herbsleb, “Reading the documentation of invoked API functions in program comprehension” ICPC’09, pp. 168–177, 2009.

[4] R. Trapero Burgos, D. Suarez Fuentes, José Del Alamo and A. Leon Martin. "Next Generation Mashups: How to Create my Own Services in a Convergent World," in IEEE Latin America Transac-tions, vol. 7, no. 3, pp. 390-394, 2009.

[5] R. T. Fielding, “Architectural styles and the design of network-based software architectures,” Ph.D. dissertation, U. of California, Irvine, 2000.

[6] E. Wittern, A. T.T. Ying, Y. Zheng, J. Laredo, J.Dolby, Ch. Young and A. Slominski., "Opportunities in Software Engineering Research for Web API Consumption," 1st International Workshop on API Usage and Evolution (WAPI), Buenos Aires, pp. 7-10, 2017

[7] A. Cummaudo, R. Vasa and J. Grundy, "What should I document? A preliminary systematic mapping study into API documentation knowledge", International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM), Brazil pp. 1-6, , 2019

[8] D. Nam, A. Horvath, A. Macvean, B. Myers and B. Vasilescu, "MARBLE: Mining for Boilerplate Code to Identify API Usability

Problems," 34th International Conference on Automated Software Engineering, USA, pp. 615-627, 2019

[9] C. Sadowski, K. T. Stolee and S. Elbaum, “How developers search for code: a case study,” in Proceedings of the 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering. ACM, pp. 191–201, 2015

[10] A.M. Eilertsen and A.H. Bagge. “Exploring API/ Client Co-Evolution”, Gothenburg, Sweden 2nd International Workshop on API Usage and Evolution.2018

[11] K.Jezek and J.Dietrich. “API Evolution and Compatibility: A Data Corpus and Tool Evaluation”. Journal of Object Technology, 2:1–23, 2017

[12] L. Xavier, A. Brito, A. Hora and M. T. Valente. “Historical and Impact Analysis of API Breaking Changes: A Large-Scale Study”. IEEE 24th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER). 2017.

[13] C. Prehofer and I. Gerostathopoulos. “Modeling RESTful Web of Things Services: Concepts and Tools”. Managing the Web of Things. Chapter 3, pp. 73-104, ISBN 9780128097649, 2017

[14] R. Koçi, X. Franch, P. Janovic. and A. Abelló. “Classification of Changes in API Evolution”. 23rd International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC) 2019

[15] T. Espinha, A. Zaidman, and H.-G. Gross, “Web API growing pains: Stories from client developers and their code,” Software Evolution Week - IEEE Conference on Software Maintenance, Reengineering, and Reverse Engineering. IEEE CS, pp. 84–93, 2014

[16] J. Li, Y. Xiong, X. Liu and L. Zhang, “How does web service API evolution affect clients?” 20th Conf. on Web Services. IEEE, pp. 300–307, 2013

[17] T. Espinha, A. Zaidman and H.-G. Gross, “Web API Fragility: How Robust is Your Mobile Application?” Proceedings MOBILESoft, pp. 12–21, 2015

[18] E. Wittern, A. T. T. Ying, Y. Zheng, J. Dolby and J. A. Laredo, "Statically Checking Web API Requests in JavaScript," 39th International Conference on Software Engineering (ICSE), pp. 244-254, 2017

[19] Alam, K.A., Ahmad, R., Akhunzada, A., Nasir, M. and Khan, S. “Impact analysis and change propagation in service-oriented enterprises: A systematic review”. Inf. Syst., 54, 43-73 (2015).

[20] R. Kohar and N. Parimala. “A metrics framework for measuring quality of a web service as it evolves”. International Journal of System Assurance Engineering and Management 8, 1222–1236, 2017

[21] W. Ding, G. Wang, Y. Han and J. Wang. “A Pattern-Oriented Impact Analysis Approach for Mashups”. Fifth IEEE International Symposium on Service Oriented System Engineering 978-0-7695-4081-8/10 , 2010

[22] W. Hummer, P. Leitner and S. Dustdar. “A step-by-step debugging technique to facilitate mashup development and maintenance.” Mashups '09/'10. Cyprus, 2010.

[23] O. Hassan, L. Ramaswarny and J. Miller. “The MACE Approach for Caching Mashups”. International Journal of Web Services Research 7(4), pp 64–88, 2010.

[24] P. Zhang, H. Han and G. Wang. “An Efficient Data Maintenance Strategy for Data Service Mashup Based on Materialized View Selection”. ICSOC , LNCS, vol 7759. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

[25] G. Wang and F. Zhang, "Freshness-Aware Sensor Mashups Based on Data Services," International Conference on Green Computing and Communications and Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, Beijing, pp. 2018-2023, 2013

[26] M. Shevteralov and S. Mancoridis. “On the maintenance of UI-integrated Mashup Applications”. 27th International Conference on Software Maintenance, pp. 203–212, 2011

[27] R. Oberhauser.”A hypermedia-driven approach for adapting processes via adaptation processes”. 8th International Conference on Advanced Software Engineering & Its Applications. pp. 73{80. IEEE (2015)

[28] H.A. Nguyen, T.T. Nguyen, G. Wilson Jr, A.T Nguyen, M. Kim and T.N. Nguyen. “A graph-based approach to api usage adaptation”. ACM Sigplan Notices 45(10), 302-321 (2010)

[29] R. Bustamante and K. Garcés. “Managing Evolution of API-driven IoT Devices through Adaptation Chains”.CIBSE 2020.

AUTHORS



Sandra Casas

Sandra Casas es Dra. en Ingeniería de Software. Es Profesora en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Argentina, desde el año 1995. Sus líneas de trabajo principales son, técnicas de desarrollo para mejorar la modularización y reutilización de software y calidad de aplicaciones software.



Graciela Vidal

Graciela Vidal es Magister en Informática y Sistemas, egresada de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Se desempeña como docente e investigadora en el GISP desde el año 2007. Sus trabajos de investigación se orientan a desarrollar estrategias y lineamientos que mejoren el proceso de desarrollo de aplicaciones web que son tendencia en la actualidad.



Franco Herrera

Franco Herrera es Licenciado en Sistemas, egresado de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Se desempeña como docente e investigador en el GISP desde el año 2005. Sus trabajos de investigación se enfocan a la automatización de desarrollo de software.

Geofences application development for assisting people through monitoring

Desarrollo de aplicaciones con geovallas para la asistencia de personas mediante el monitoreo

ARTICLE HISTORY

Received 13 October 2021
Accepted 23 November 2021

Pablo Martín Vera

CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
pablomartin.vera@uai.edu.ar
ORCID: 0000-0002-6450-6161

Rocío Andrea Rodríguez

CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
rocioandrea.rodriguez@uai.edu.ar
ORCID: 0000-0002-4221-5726

Cesar Daniel Delgado

CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
cesar.delgado@alumnos.uai.edu
ORCID: 0000-0001-9400-1407

Desarrollo de Aplicaciones con Geovallas para la Asistencia de Personas mediante el Monitoreo

Geofences Application Development for Assisting People through Monitoring

Pablo Martín Vera
CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
pablmartin.vera@uai.edu.ar
ORCID: 0000-0002-6450-6161

Rocío Andrea Rodríguez
CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
rocioandrea.rodriguez@uai.edu.ar
ORCID: 0000-0002-4221-5726

Cesar Daniel Delgado
CAETI (Centro de Altos Estudios en
Tecnología Informática)
Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Buenos Aires, Argentina
cesar.delgado@alumnos.uai.edu.ar
ORCID: 0000-0001-9400-1407

Resumen—Los dispositivos móviles actuales cuentan con una amplia variedad de componentes y sensores que pueden ser aprovechados para el desarrollo de las aplicaciones. Puntualmente, la posibilidad de geolocalizar al portador del dispositivo genera una gran variedad de aplicaciones, por ejemplo, mapas con recorridos según el tránsito, posibilidad de encontrarse con gente cercana, pedidos de opiniones sobre lugares que el usuario ha visitado entre tantos otros. Otra aplicación que se destaca es poder detectar cuando el usuario entra o sale de una zona determinada lo que se conoce como geovallas (del inglés geofencing). Las geovallas son cercas o límites virtuales determinados por coordenadas geográficas. Si bien esta técnica tiene una gran variedad de aplicaciones, en este trabajo se hace hincapié en su utilización para el monitoreo activo de personas ya sean adultas con algún problema de salud o niños. Se presentan dos aplicaciones que actualmente están siendo desarrolladas por el grupo de investigación y desarrollo, explicando sus características y posibles usos.

Palabras Clave—geovallas, dispositivos móviles, GPS

Abstract—Today's mobile devices have a wide variety of components and sensors that can be used for application development. Specifically, the possibility of geolocating the device user, generates a great variety of applications, for example routing on maps according to traffic, the possibility of meeting nearby people, requests for opinions on places that the user has visited, among many others. Another application that stands out is being able to detect when the user enters or leaves a certain area, what is known as geofencing. Geofences are virtual fences or boundaries determined by geographical coordinates. Although this technique has a wide variety of applications, this work emphasizes its use for the active monitoring of people, whether they are adults with a health problem or children. Two applications that are currently being developed by the research and development team are presented, explaining their characteristics and possible uses.

Keywords—geofencing, mobile devices, GPS

I. INTRODUCCIÓN

La alta inserción de dispositivos móviles, principalmente teléfonos celulares, ha cambiado la forma en que las personas se comunican y también generó la posibilidad de desarrollar nuevas aplicaciones. Los dispositivos móviles son cada vez más sofisticados, tienen un gran poder de cómputo y forman parte de la vida cotidiana [1]. Hay aproximadamente 4,32 mil millones de internautas que ingresan desde dispositivos móviles, esto representa un 92,6% de todos los internautas globales. A su vez cabe destacar que el 91,5% de los usuarios de internet ingresan desde un Smartphone [2]. Se desprende de estos porcentajes que en su mayoría los teléfonos móviles desde los que se accede a internet son Smartphones.

Los smartphones cuentan con una gran cantidad de sensores que permiten enriquecer las nuevas aplicaciones. Tomando en cuenta su uso masivo y las posibilidades de hardware, componentes y sensores, es importante planificar el desarrollo de aplicaciones innovadoras que aprovechen dicho hardware [3]. Los dispositivos móviles son objeto de interés para el desarrollo de aplicaciones tanto en el ámbito académico como en la industria [4].

El GPS y brújula pueden utilizarse para poder tener la ubicación actual del usuario y el sentido en que está apuntando en su posición. El acelerómetro puede utilizarse para conocer con que velocidad se mueve y se podría saber si está caminando o va en un vehículo. El barómetro permite detectar cambios en la altura por ejemplo si escaló una montaña, o subió algunos pisos. Todos estos sensores disponibles en la mayoría de los smartphones permiten tener mayor conocimiento de las actividades de los usuarios de estos dispositivos. Por otra parte, además de los sensores estos dispositivos suelen contar con otros componentes como cámara y micrófono, en algunos casos lector de huella, NFC (Near-field communication [5]), etc.

Al construir aplicaciones existe la posibilidad de realizar un desarrollo nativo (para un sistema operativo en particular), y en dicho caso se tiene el acceso total a todos estos sensores

y componentes. Pero también es factible construir una solución web ya que, gracias a los estándares del W3C (Consortio Web Internacional [6]), el acceso al hardware también está asegurado, aunque en menor medida desde la web.

El avance de los servicios basados en la localización (LBS [7]), ha arrojado el concepto de geofencing (geovallas) que permite que las aplicaciones brinden servicio, disparen alertas o arrojen determinada información según si el usuario entra o sale de dichas vallas virtuales.

Este artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección II se explica el concepto de las geovallas, en la sección III los campos en los que puede ser aplicado el concepto de geofencing, en la sección IV se presentan dos aplicaciones que hemos desarrollado haciendo uso de geofencing, finalizando en la sección V con las conclusiones alcanzadas.

II. GEOVALLAS

Los servicios basados en la localización (LBS) han sido desarrollados desde hace mucho tiempo, por ejemplo, ya en 1997 donde puede observarse la aparición de un trabajo académico [8] en el que se planteaba que el GPS (sistema de posicionamiento global) sería a futuro ampliamente utilizado permitiendo una amplia variedad de servicios que dependen de la ubicación, como la indicación de direcciones y la navegación. Con el pasar de los años surgieron otros artículos que dieron paso a otras posibilidades de trabajar con notificaciones cuando se acercan a un lugar determinado, por ejemplo, una persona cuando llega al supermercado podría recibir su lista de compras [9]. Esto derivó a la posibilidad de definir vallas o cercas virtuales, en las que no se trata de punto en particular sino de una zona de interés, esta zona puede ser un círculo, un cuadrado o una forma irregular montada en forma virtual sobre un mapa real.

Geofencing consiste en definir una reducida área geográfica la cual será considerada como referencia para disparar un evento en el momento que el usuario ingresa o sale de dicha área denominada geovalla, [11]. Esa área, se trata de un perímetro virtual, dentro del cual se monitorea al usuario con algún objetivo concreto por ejemplo ofrecer servicios o enviar notificaciones. Ese perímetro puede estar definido con una línea, un círculo, o formas más complejas. El perímetro virtual puede tener diversas formas definidas mediante polígonos. [12].

El término de Geofencing o Geovalla, es muy popular en base a las búsquedas realizadas en Google asociadas con ambos términos (inglés y castellano) puede observarse la Fig. 1 que diversos países han buscado frecuentemente este concepto. Esta figura fue obtenida usando Google Trends [10], muestra los países donde fue mayor el interés de búsqueda de dichos términos (el color más oscuro representa mayor intensidad de búsquedas), los tres lugares donde hay mayor interés en la búsqueda del término en estos últimos 5 años fueron: Pakistán, Santa Elena y Estados Unidos.

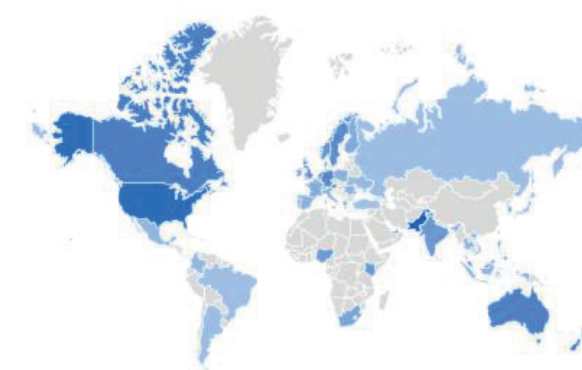


Fig. 1. Regiones con la mayor cantidad de búsquedas del término Geofencing en los últimos 5 años

El desarrollo de aplicaciones, que permitan establecer y hacer usos de las vallas virtuales, puede realizarse tanto de forma nativa como en una aplicación web. En los entornos de desarrollo para aplicaciones nativas se provee de APIs, existiendo documentación que permite ver como se crean y administran las vallas virtuales (por ejemplo, la guía completa de Android se encuentra en [13] y la de iOS en [14]). Si en vez de optar por un desarrollo nativo se considera realizar un desarrollo web existen distintos servicios disponibles en la web que permiten administrar las Geovallas, algunos ejemplos de ellos son: Proximi.io [15], Radar.io [16], TomTom Geofencing API [17], estas plataformas disminuyen los costos de desarrollo.

III. CAMPOS DE APLICACIÓN

Existen distintos campos de aplicación en los que se requiere únicamente que el usuario cuente con un dispositivo móvil. Geofencing es una de las tecnologías centrales para los servicios basados en la localización (LBS), incluida la publicidad, el seguimiento y la gestión de riesgos [18]. A continuación, se presentan campos de aplicación donde la aplicación de Geovallas ha resultado imprescindible.

A. Publicidad

La publicidad más tradicional (carteleros de tiendas, avisos en la vía pública, en medios masivos como diarios, televisión y radio) no parecen ser suficiente para atraer nuevos clientes o fidelizar los existentes. La publicidad digital permite segmentar al público en base a sus intereses o incluso que la publicidad llegue a sus dispositivos móviles en el momento que está cerca de la tienda [19]. Se trata de publicidad de proximidad y ha sido un tema de gran interés producto del cual existen diversos trabajos interesantes [20], incluso uno de ellos plantea el uso de publicidad de proximidad, para una campaña electoral [21]. Este tipo de publicidad permite detectar por ejemplo cuando un potencial cliente se encuentra cerca de determinado negocio y enviarle ofertas y promociones para captar su atención de forma inmediata. La proximidad hace la facilidad del consumo del producto/servicio que se quiera ofrecer por lo que es un fuerte argumento de venta. Existe una gran diversidad de aplicaciones en lo que respecta a publicidad de proximidad.

B. Servicios Turísticos

Del mismo modo que la publicidad de proximidad, también se puede contar con una aplicación que por cercanía ofrezca distintos puntos turísticos, podría personalizarse según los sitios de interés de cada usuario (Museos, Teatros, Lugares históricos, etc.), también se podrían a través de Geovallas tener cargados los recorridos turísticos y alertar al usuario si se va de las zonas turísticas. Estas alertas permiten evitar que se acerque a zonas peligrosas, se pierda o desperdicie su tiempo en zonas que no tienen interés turístico.

En algunos casos, se cuenta con aplicaciones móviles basadas en geofencing para los recorridos autoguiados que se realizan por ejemplo en museos [22], [23]. En algunas ciudades como Malang (Indonesia) la escasez de profesionales que se desempeñen como guías turísticos para explicar sobre el patrimonio histórico de la ciudad, llevó a la necesidad de desarrollar una aplicación móvil que dio muy buenos resultados [24]. En otra ciudad de Indonesia (Bandung), un grupo hotelero en conjunto con una universidad de dicha ciudad implementaron por medio de una aplicación en Android, geovallas que permiten a sus huéspedes tener marcaciones de zonas turísticas con puntos de interés cercanos al hotel [25].

C. Transporte y Logística

Considerando que las geovallas permiten el monitoreo de áreas geográficas, automáticamente detectando objetos móviles que ingresan o salen de los perímetros virtuales establecidos [26]. Resulta importante aprovechar las posibilidades de Geofencing en el área de transporte y logística. Las geovallas se aplican desde el monitoreo de flotas [26], [27], [28], [29] hasta el control de vehículos autónomos [30]. Por otra parte, relacionado con esta temática en [31] se presenta la posibilidad de enviar alertas a los conductores cuando están próximos a una zona de accidente. En [32] se propone el análisis en tiempo real de las geovallas para evitar colisiones de vehículos aéreos tripulados y no tripulados.

D. Asistencia mediante Monitoreo

Mediante el esquema de proximidad a un área específica y el tiempo de permanencia en la misma se abre paso a otros campos de aplicación por ejemplo en el ámbito hospitalario. Una de las posibilidades es la evaluación de la calidad en la atención hospitalaria y documentar la efectividad y efectos adversos de las terapias. Con este objetivo se destaca un artículo en el que se desarrolla una aplicación para personas mayores de 18 años que entre otras cosas incluye una encuesta para completar cada vez que se detecta que están en cercanía de un hospital, para poder tener conocimiento durante las primeras horas de la atención recibida en el hospital, se incluirían a futuro geovallas que puedan ser configuradas para incorporar servicios de tratamientos por fuera de los hospitales, centros de kinesiología por ejemplo [33].

En esta área, también se encuentran trabajos relacionados con servicios de geolocalización planificados para adultos y niños como es el caso del proyecto “Azulado” [34], en el que se planifica un servicio pago mediante el cual se recibe un pequeño equipo de geolocalización y desde el cual se obtiene la posición actual y se puede configurar una única geovalla como zona segura.

IV. APLICACIONES DESARROLLADAS

El área de monitoreo es en la cual se han desarrollado aplicaciones basadas en geofencing, como parte del trabajo del equipo de investigación. Bajo el nombre de “Vigía” surgen dos aplicaciones con objetivos distintos una para niños y otra para adultos mayores.

Para el desarrollo de estas aplicaciones se utilizó, para el backend C# con bases de datos SQL Server. Para el frontend (parte móvil) se utilizó Android Studio con la API nativa de Google de Geofencing y la API de estado de batería. Uno de los problemas del análisis constante de las respuestas entregadas por los componentes y sensores es el agotamiento de la batería del equipo. Por ello, tener conocimiento del estado de la batería permitirá por ejemplo espaciar el tiempo de detección de la localización en el caso de batería menor a un determinado límite.

Estas aplicaciones fueron desarrolladas en capas separando completamente la interfaz de usuario para poder implementarla en distintos dispositivos, tanto teléfonos celulares como relojes inteligentes (con sistema operativo Android). Se planteó que el desarrollo sea ofrecido en las tiendas de aplicaciones de forma gratuita.

A. Vigía Escolar

Debido a la preocupación ante la inseguridad, se pensó en una aplicación que permita a los padres o tutores de un niño poder tener la tranquilidad de que si el niño se aleja de la zona en donde debería encontrarse se disparará una alerta avisándole. Esta alerta puede dispararse si el niño no se encuentra en una zona segura o no se encuentra en una zona que debería estar en un horario específico. Si bien no hay mayor seguridad que un adulto pueda acompañar al niño, cuando esto no es posible la aplicación permite dar soporte a esta necesidad. Es importante que la tecnología pueda dar soporte a las necesidades diarias, por medio de una aplicación que puede ser utilizada en el propio teléfono celular, sin tener que pagar un costo por la adquisición de esta o por su utilización.

En la aplicación pueden definirse geovallas en donde se identifique los senderos escolares que son seguros (para acompañar a los estudiantes que vuelven caminando solos desde la escuela a sus casas). En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires hay 309 senderos Escolares cubiertos por 724 Agentes de prevención con respaldo de la policía y cámaras de seguridad del centro de monitoreo urbano, los cuales pueden observarse en la Fig. 2, extraída de [35]. Estos senderos o corredores escolares seguros se definen a lo largo de todo el país, siendo tan sólo un ejemplo el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, dado que son las zonas en donde habrá más estudiantes que las utilizan y mayor control. Es importante que los niños sobre todo cuando hacen el recorrido solos puedan utilizar mayormente estos senderos. Al ser configurables las zonas seguras, desde la aplicación Vigía Escolar, es posible utilizarla en cualquier zona geográfica, es por ello que los senderos seguros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires son tan sólo un ejemplo.

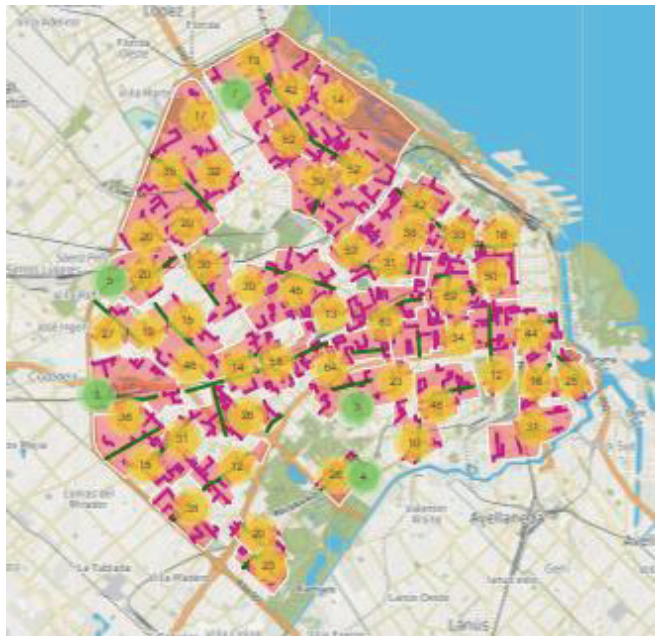


Fig. 2. Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Senderos Escolares

El Vigía escolar permite configurar las geovallas en las que se espera que se mantenga el niño disparando una alerta si se va de la zona esperada, incluso permite definir estas zonas por día u horario. En la Fig. 3, se muestra la pantalla de configuración de las locaciones donde el niño puede encontrarse en determinado horario a fin de poder detectar si sale de dicha área cuando debería permanecer allí.

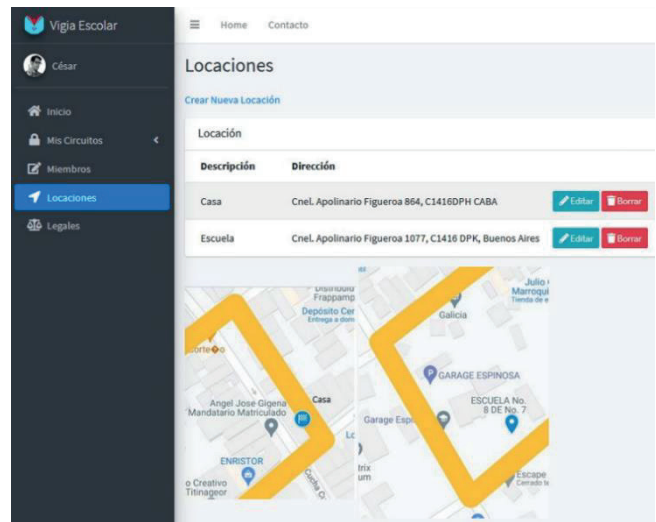


Fig. 3. Pantalla de Configuración de Locaciones

En la Fig. 4, se muestra la pantalla de configuración de circuitos para ver si al trasladarse de un lugar a otro se va del corredor seguro predefinido. Puede observarse que es posible configurar diferentes circuitos y habilitar los mismos en distintas franjas horarias o para algún día y horario puntual (para un evento determinado).

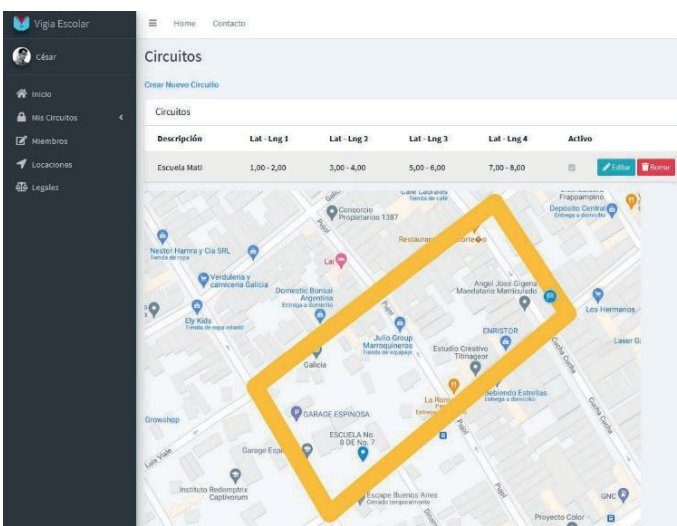


Fig. 4. Pantalla de Configuración de Circuitos

Quedan nuevas características por incorporar en una siguiente versión de la aplicación como por ejemplo velocidad de movimiento para detectar si el niño está en un vehículo, así como si el niño vuelve en un colectivo, de tal forma que se dispare una alerta en el momento que se sube a él para que los padres o tutores puedan ir a buscarlo a la parada del colectivo antes que descienda.

B. Vigía Adulto

Vigía adulto se implementa con otros objetivos (sin incluir el de seguridad en espacios públicos). Fue pensado para realizar el monitoreo de personas con alguna patología o adultos mayores, a fin de evitar accidentes que puedan ocurrirles o bien ayudar en un posible caso de desorientación de tiempo y espacio. Es importante al momento de desarrollar una aplicación considerar el perfil de usuario al que va dirigida, a diferencia del perfil de un escolar que usa habitualmente la tecnología y tiene una relación estrecha con su teléfono móvil, esto no sucede con los adultos mayores [36]. Por lo que, es importante pensar en la opción de su implementación con tecnología vestible en inglés “wearable”. Este término ingles puede traducirse como llevable o vestible [37], quedan excluidos de este concepto una computadora o dispositivo concreto sino electrónica planificada para ser vestida, puede ser un complemento o incluso estar embebida dentro de la propia ropa [38].

Con las mismas características que el desarrollo del Vigía escolar esta aplicación fue pensada para funcionar en Android pudiendo monitorear a la persona por medio de un reloj inteligente en vez de un teléfono celular. En ambas aplicaciones hay distintos roles de usuario, por una parte, habrá un usuario que será el tutor de la persona que se encarga desde un celular de poder cargar las zonas seguras, los horarios de dichas zonas, e incluso puede cargar a que contactos disparar las distintas alertas. Si bien se busca que la aplicación sea transparente para el usuario monitoreado, existe también la posibilidad que reciba las alertas si así lo desea para prevenirlo si está saliendo de una zona segura. Las opciones de configuración permiten abarcar todos los escenarios de necesidad posible. En la pantalla principal pueden observarse 6 opciones (ver Fig. 5).

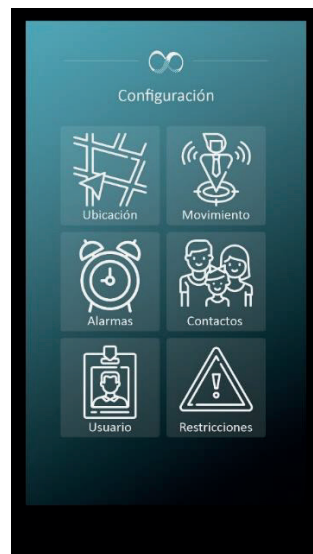


Fig. 5. Pantalla de Opciones de Configuración

A continuación, se detallan las 6 opciones de configuración:

1. **Ubicación:** Se definen las ubicaciones conocidas que serán “zonas seguras” donde se espera que la persona esté. Una zona segura de permanencia será por ejemplo el hogar o residencia donde se encontrará la persona. Pero también hay zonas seguras que pueden estar definidas en días o franjas horarias, por ejemplo, para realizar una actividad en un tiempo acotado, pudiendo ser un recorrido que realiza una persona en un determinado horario para ir a un tratamiento médico, una tienda de cercanía, etc. Si se detecta un exceso en el tiempo previsto o que el evento si tiene día y franja horaria particular no se está llevando a cabo (olvido ir al tratamiento médico) el sistema lanzará una alerta de aviso a él o los contactos configurados en la aplicación.
2. **Movimiento:** Con el geoposicionamiento y el acelerómetro (para casos en que no esté disponible el posicionamiento satelital), es posible detectar que la persona no se está moviendo durante una cantidad excesiva de tiempo. Dependiendo de cada persona se puede configurar en la aplicación horarios de no monitoreo en los que se espera justamente que la persona esté en reposo. Se espera en próximas versiones del Vigía Adulto poder añadir detección de caídas.
3. **Alarmas:** Esto es una funcionalidad complementaria pensado en la posibilidad de brindar alarmas configurables para horarios de medicación con el añadido de tags NFC (Near Field Communication), para que la persona, una vez tomado el medicamento, valide que lo ha tomado y quede registrado en el sistema. Es frecuente que la alarma suene y por distracciones la persona la apague y olvide de todas formas tomar la medicación. Pueden configurarse los tags NFC desde este módulo e incorporar a las cajas de medicación las etiquetas NFC.
4. **Contactos:** Se requiere la configuración de al menos un contacto, pero se pueden ingresar diversos contactos y de hecho indicar que alertas llegarían a cada contacto. También puede indicarse porqué

medio llega la alerta por ejemplo correo electrónico y/o SMS. En la configuración de contactos aparece el listado de posibles contactos que se recuperan de la agenda del dispositivo móvil, evitando tener que cargarlos manualmente en la aplicación.

5. **Usuario:** Permite incorporar información sobre los datos básicos del usuario, así como algunas cuestiones médicas de importancia, alergias, medicamentos que consume...
6. **Restricciones:** Inclusive dentro de las zonas indicadas como seguras, por ejemplo, la casa de la persona puede haber lugares que sean peligrosos para un adulto mayor o una persona con movilidad reducida. En algunos casos por ejemplo las escaleras resultan un factor de mayor riesgo, aunque la vivienda tenga un segundo piso, terraza o un entresno o sótano. No obstante, es posible que las personas accedan a esas zonas a pesar de conocer el riesgo que conlleva. Esto puede ser detectado mediante el uso del barómetro y detectar cambios de planta dando una alerta a la propia persona o notificando a un contacto, según como esté configurado en la zona de asignación de contactos.

V. CONCLUSIONES

En las aplicaciones desarrolladas para asistencia mediante monitoreo, se utilizan distintos sensores del dispositivo: GPS, brújula, acelerómetro, barómetro, lo cual permite obtener datos claros y poder generar alertas confiables. Estas alertas son configurables según la necesidad de cada persona a la que se la está asistiendo y también según las posibilidades de él o los contactos que se encargarán de asistir a dicha persona. La idea es que estas aplicaciones sean transparentes para el usuario en caso de adultos mayores y que permitan realizar sus actividades cotidianas de forma más segura. Quién recibe las alertas o notificaciones que pueda comunicarse con la persona para ver si está bien, recordarle algo específico. La tecnología vista como un soporte al seguimiento que siempre alguien realiza para asegurar que se encuentre bien un adulto mayor.

La tecnología permite dar soporte a las tareas cotidianas y el monitoreo bien empleado, con alertas, permite evitar accidentes o situaciones de emergencia. La presentación de las dos aplicaciones que hacen uso de geofencing destinadas a usuarios muy diferentes son un claro ejemplo del potencial de esta tecnología. Actualmente, nos proponemos agregar algunas características a la aplicación de Vigía Escolar, así como también continuar con las pruebas de la aplicación Vigía Adulto. Una característica a incorporar en ambas aplicaciones es poder saber la velocidad con que se desplazan los usuarios de tal forma que se pueda saber si están caminando o viajando en algún tipo de transporte. En Vigía escolar, actualmente no está implementada esta característica, pero se plantea la posibilidad de que los senderos seguros fueran compartidos mediante datos abiertos por medio de los gobiernos locales entonces podrían ser introducidos automáticamente en la aplicación, de todas formas, su configuración es sencilla y debe realizarse por única vez cuando se establece la zona segura. Incluso podría habilitar la participación ciudadana donde los padres del colegio u otros colegios puedan, estando registrados en la aplicación, dejar comentarios sobre inconvenientes presentados en los senderos seguros.

La tecnología al servicio de la comunidad siempre será una respuesta posible para solucionar las necesidades cotidianas.

REFERENCIAS

- [1] P. Thomas, N. Galdamez, L. Delia, F. Cristina, S. Dapoto, & P. Pesado. “Dispositivos móviles: desarrollo de aplicaciones y conectividad”. In Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC) (Vol. 16). 2014
- [2] Digital 2021, “Global Overview Report”. Disponible en: <https://wearesocial.com/digital-2021> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [3] R. Rodríguez, P. Vera, M. Martínez y L. Verbel de La Cruz. “Aprovechamiento del hardware de los dispositivos móviles para la construcción de nuevas aplicaciones”. In XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 2014
- [4] M. Gao, P., Wang, L. Jiang, B. Wang, Y. Yao, S. Liu and Y. Lu, “Power generation for wearable systems”. *Energy & Environmental Science*, 14(4), 2114-2157, 2021
- [5] E. Haselsteiner and K. Breitfuß, “Security in near field communication (NFC)”. In Workshop on RFID security (Vol. 517, No. 517, p. 517). sn. 2006
- [6] W3C, “Leading the web to its full potential”. Disponible en: <https://www.w3.org/> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [7] K. Kolodziej, and J. Hjelm, “Local positioning systems: LBS applications and services”. CRC press. 2017
- [8] J. Navas, and T. Imielinski, “GeoCast - Geographic Addressing and Routing”. In Proc. of the 3rd Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, MobiCom '97, ACM (New York, NY, USA, 1997), 66–76, 1997
- [9] N. Marmasse and C. Schmandt. "Location-aware information delivery withcommotion." International symposium on handheld and ubiquitous computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.
- [10] Google, Google Trends – Geofencing. Disponible en: <https://trends.google.es/trends/explore?date=today%205-y&q=geofencing> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [11] K. Zuva, and T. Zuva, “Tracking of Customers using Geofencing Technology”. 2019
- [12] P. Vera, R. Rodríguez, H. Viavattene, y M. Martínez. “Diseño y desarrollo de aplicaciones móviles basadas en geofencing”. In XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC, El Calafate, Santa Cruz), 2020.
- [13] Android Developers, “Cómo crear y supervisar el geovallado”. Disponible en: <https://developer.android.com/training/location/geofencing> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [14] Apple Developer, “Monitoring the User's Proximity to Geographic Regions”. Disponible en: https://developer.apple.com/documentation/corelocation/monitoring_the_user_s_proximity_to_geographic_regions [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [15] Proximi.io, “API-first Geofencing for Mobile Apps” Disponible en: <https://proximi.io/geofencing-geofences/> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [16] Radar Labs, “Geofences”, Disponible en: <https://radar.io/documentation/contextgeofences> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [17] TomTom for developers, “Geofencing API Documentation”. Disponible en: <https://developer.tomtom.com/geofencingapi/geofencing-api-documentation> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [18] A. Suyama, U. and Inoue. “Using geofencing for a disaster information system”. In 2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS) (pp. 1-5). IEEE, 2016.
- [19] G. Pla, “Plan de negocios para “Tu Vidriera Móvil”: publicidad de proximidad en dispositivos móviles”. 2016.
- [20] W. Laguna, K. Bejeguén, and C. Vargas. "Marketing de proximidad: La geolocalización, como estrategia de publicidad en las marcas de centros comerciales en la ciudad de Ambato." 593 Digital Publisher CEIT 6.2, 229-241, 2021
- [21] J. Garrido Martínez, J. Publicidad electoral desde el marketing de proximidad, 2019.
- [22] Y. Park. Tourism Information System using Geofencing and NFC Technology. Journal of Digital Convergence, 12(8), 211-217, 2014
- [23] Park, Yang-Jae. "Tourism Information System using Geofencing and NFC Technology." *Journal of Digital Convergence* 12.8 (2014): 211-217.
- [24] N. Priandani, H. Tolle, A. Hapsani, & L. Fanani, “Malang historical tourism guide mobile application based on geolocation”. In Proceedings of the 6th International Conference on Software and Computer Applications (pp. 98-101). 2017.
- [25] Sinaga, Ester Erni, and Eko Budi Setiawan. "Implementation of geofencing technology to object tourists and customer service based android", 2018
- [26] Caceres Valdiviezo, Andres Sebastian, and Diego Romario Palomeque Gomez. *Diseño e implementación de sistema para monitoreo de cerco virtual en recorridos de taxis*. BS thesis. Espol, 2018.
- [27] S. Morales, "Análisis de requisitos para dispositivos de localización vehicular seguros para sistemas de transporte público terrestre en Colombia." *Ingeniería y Desarrollo* 36.2, 298-326, 2018.
- [28] F. Reclus and D. Kristen. "Geofencing for fleet & freight management." 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST). IEEE, 2009.
- [29] E. Hermand, T. Nguyen, M. Hosseinzadeh, & E. Garone. “Constrained control of UAVs in geofencing applications”. In 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (pp. 217-222). IEEE, 2018.
- [30] M. Maiouak and T. Taleb, "Dynamic Maps for Automated Driving and UAV Geofencing," in IEEE Wireless Communications, vol. 26, no. 4, pp. 54- 59, August 2019.
- [31] B. Nayak, P. Mugali, B. Rao, S. Sindhava, D. Disha, N. y K. Swarnalatha. GeoFencingBased Accident Avoidance Notification for Road Safety. In Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications (pp. 379-386). Springer, Singapore, 2019.
- [32] Gurriet, Thomas, and Laurent Ciarletta. "Towards a generic and modular geofencing strategy for civilian UAVs." *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. IEEE, 2016.
- [33] K. Nguyen, J. Olgin, M. Pletcher, M. Ng, L. Kaye, S. Moturu and G. Marcus. “Smartphone-based geofencing to ascertain hospitalizations”. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*, 10(3), 2017.
- [34] Cándor Llana, James, ""Azulado" Servicio de geolocalización para niños y adultos mayores." 2018.
- [35] Buenos Aires Ciudad, “Buscador de Senderos Escolares”. Disponible en: <https://www.buenosaires.gob.ar/justiciayseguridad/senderos-escolares> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [36] P. Vera, R. Rodríguez, y M. Kaimakamian Carrau. “Tecnologías vestibles aplicadas al cuidado de la salud: Construcción de un prototipo de monitoreo”. In XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC, El Calafate, Santa Cruz), 2020.
- [37] “¿Que es Wearable? – Los dispositivos vestibles”. 2014. Disponible en: <http://www.dispositivoswearables.net/> [Accedido: 6, septiembre, 2021].
- [38] J. Ordóñez. “Dispositivos y tecnologías wearables”. 2016. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/041001.pdf [Accedido: 20, septiembre, 2021].

AUTHORS



Pablo Martín Vera

Argentino, Doctor en Ciencias Informáticas egresado en la UNLP (Universidad Nacional de La Plata), Ingeniero en Informática egresado de la UNLaM (Universidad Nacional de La Matanza). Profesor de grado en UNLaM, UTN (Universidad Tecnológica Nacional) y UAI (Universidad Abierta Interamericana). Además es profesor de posgrado y director de proyectos de investigación en el CAETI (Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática) en UAI. Director de tesis de maestría y doctorado. Ha participado como jurado de tesis en UTN, revisor de artículos en congresos nacionales e internacionales y revistas académicas. Es autor de capítulos de libros y artículos académicos. Entre las líneas de investigación y trabajo se destacan lo referente a tecnologías móviles, MDD y gamificación.



Rocío Andrea Rodríguez

Argentina, Doctora en Ciencias Informáticas egresada en la UNLP (Universidad Nacional de La Plata), Ingeniera en Informática egresada de la UNLaM (Universidad Nacional de La Matanza). Profesora de grado en UNLaM, UTN (Universidad Tecnológica Nacional) y UAI (Universidad Abierta Interamericana). Además es profesora de posgrado y directora de proyectos de investigación en el CAETI (Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática) en UAI. También es directora de tesis de maestría y doctorado (UAI, UNLaM y UNLP), tutora de tesinas de grado (UAI y UNAM - Universidad Nacional de Misiones). Ha participado como jurado de tesis y en revisión y evaluación de: artículos en congresos y revistas, proyectos de extensión universitaria y programas cofinanciados. Es autora de libros, capítulos de libros y artículos académicos. Sus áreas de interés son: Ingeniería de Software, Gobierno Electrónico, Dispositivos Móviles y Educación.



Cesar Daniel Delgado

Argentino, Estudiante de la Licenciatura en Gestión de Tecnología Informática, en la UAI (Universidad Abierta Interamericana). Colaborador en el CAETI (Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática) en un proyecto vinculado con dispositivos móviles. En el ámbito privado se desempeña como Líder de Proyecto en el JP Morgan desde el año 2017. Sus áreas de interés son: Tecnologías móviles, en especial el área de desarrollo de aplicaciones con el uso de GPS y geoposicionamiento, seguridad informática aplicada al desarrollo de aplicaciones y todo lo referente a las blockchain y su uso en las cryptomonedas.

LAJC

LATIN-AMERICAN JOURNAL OF COMPUTING

Published by

Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Quito-Ecuador

<https://lajc.epn.edu.ec/>
lajc@epn.edu.ec

January 2022



LJJC

Vol IX, Issue 1, January 2022



LAJC

LATIN-AMERICAN
JOURNAL OF
COMPUTING

Vol IX, Issue 1,
January 2022

