

# Revista de



# TECNOLÓGICO

RIDTEC | Vol. 14, N.º 1, 2018, enero - junio 2018

P-ISSN 1680-8894

E-ISSN 2219-6714

Edición Semestral  
Publicación Regional



# Revista de TECNOLÓGICO

Revista de investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá

Volumen 14, Número 1, Edición Semestral, Enero - Junio 2018

P - ISSN 1680-8894

E - ISSN 2219-6714

## Director de la Revista

Dr. Orlando Aguilar, Dirección de Investigación<sup>1</sup>

## Miembros del Comité Editorial

### Dr. Carlos Medina

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP<sup>1</sup>

### M.Sc. Julio Mario Daza Escorcía

Docente Investigador<sup>2</sup> y Estudiante Doctorando<sup>3</sup>

### M.Sc. Jesús Javier Alcantar Peña

Asistente de Investigación<sup>4</sup>

### Dr. Frederick Wittel

Docente Administrador<sup>5</sup>

### Dr. David Álvarez

Docente Investigador<sup>6</sup>

## Co-editores y coordinadores

### Lic. Huriviades Calderón<sup>1</sup>

Co-Editor

### Lic. Cristian Moreno<sup>1</sup>

Coordinador y Logística

## Afiliaciones

1. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.
2. Politécnico de la Costa Atlántica, Colombia.
3. Universidad de Valencia, España.
4. Universidad de Texas en Dallas, Estados Unidos.
5. Assoc. Dean of Math, Science, & Health Professions at Richland College, Dallas, Estados Unidos.
6. Universidad de Los Andes - Bogotá, Colombia.

La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista indexada abierta (OA) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá, especializada en las áreas de las ciencias, ingenierías y tecnologías.

Actualmente, la RIDTEC forma parte del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), y The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), entre otras como REDIB, ROAD, BASE y OAJI.

Cada artículo será evaluado mediante el método de "revisión por pares doble ciego", para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflictos de intereses.

Revista de I+D Tecnológico: revista de investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá. - Vol. 14, no. 1 (ene. - jun. 2017). - Panamá: Editorial Tecnológica, 2018.

v. ;27 cm.

Semestral

P- ISSN 1680-8894

E- ISSN 2219-6714

1. Universidad Tecnológica de Panamá - Publicaciones seriadas
2. Investigaciones - Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.



### Ing. Libia Batista

Directora

### Licda. Sandra Siebert

Sr. Armando Pinillo

Mercadeo y Ventas

### Sección de Diseño Gráfico

Diseño y diagramación

### Licdo. Rafael Saturno

Idea y diseño original de la portada

Revista de I+D Tecnológico disponible en:  
<http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>

Plataforma para la Recepción de Artículos  
<http://www.redinvestigadores.utp.ac.pa/revistaI+D/openconf/openconf.php>

© Derechos reservados, UTP

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá  
Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá  
Tiraje: 300 ejemplares.



# resentación

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) presenta a la comunidad científica y público en general, la primera edición del año 2018 de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC), correspondiente al volumen 14, número 1. Con el propósito de divulgar la labor de investigación científica, nace en 2002 en la UTP, RIDTEC. Ésta, es una revista abierta (Open Access) evaluada por pares (Doble Ciego), con publicación semestral. En la actualidad, RIDTEC es la principal revista en Panamá para la publicación de trabajos de investigación en las áreas de ingeniería y tecnología, dando oportunidad de publicar sus trabajos a docentes e investigadores nacionales e internacionales. RIDTEC forma parte de los catálogos de indexación de Latindex, REDIB, BASE, ROAD, OAJI y ERIHPLUS y de la Red LatinREV. Adicionalmente, forma parte de las bases de datos OEI, OpenAIRE, PKP|INDEX, MENDELEY, MIAR, DRJI y Google. RIDTEC está integrada a los repositorios UTP-Ridda2 y Repositorio Centroamericano SIIDCA.

El primer artículo de este número, presenta la metodología utilizada para el diseño, construcción y valoración técnica de objetos de aprendizaje de niños y niñas con necesidades educativas especiales. Se busca generar innovaciones pedagógicas alternativas para adecuar el trabajo del maestro en el aula y el padre de familia o tutor en casa, y propiciar una mejora en la formación y actitud hacia las ciencias.

“El estado del arte: Salud inteligente y el internet de las cosas” es un trabajo que presenta la tecnología IoT como un complemento al sector salud. Se busca implementar una capa extra de seguridad informática con el objetivo de disminuir las oportunidades de manipulación malintencionada de equipos o de fallas conocidas, que puedan perjudicar la vida, salud e integridad de los pacientes.

El tercer artículo presenta una investigación basada en TICs para la Gestión de Distribución Turística en Ecuador, a través de un proceso de normalización e indicadores multivariantes. Se evidenció que las empresas turísticas estudiadas presentan debilidades en el uso de tecnología

digital y que no se encuentran preparadas para afrontar la re-intermediación.

El siguiente artículo presenta un método fotogramétrico para medir desplazamientos en puentes. Utiliza una cámara digital y *software* de análisis de videos, como herramienta para la evaluación estructural de puentes. Ofrece medidas confiables, con errores de medición en el orden de 0.1 mm en desplazamiento y 0.01 Hz en frecuencia de vibración.

El quinto trabajo optimiza la ubicación de recipientes estacionarios de gas licuado de petróleo (GLP) y el diámetro de las tuberías necesarias para abastecer de combustible a un sistema industrial que cuenta con un horno de 600 kW y 6 quemadores industriales de 60 kW c/u. Se logró minimizar la superficie requerida para almacenamiento.

El sexto artículo evaluó la presencia de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de dos variedades de cascarillas de cacao Nacional en Ecuador. Los resultados comprueban que la harina proveniente de las cascarillas de ambas variedades cumple con los criterios establecidos en la norma INEN 621 y por consiguiente se garantiza su uso como alternativa del uso del cacao en polvo.

El siguiente artículo desarrolla un prototipo funcional de un videojuego del género plataformas, empleando elementos del diseño de videojuegos, especificación de mecanismos y las vistas propuestas por Robert Nord. La arquitectura propuesta fue validada a través de las técnicas de evaluación basadas en prototipos, en escenarios y en conjunto con la aplicación del método de Análisis de Acuerdos de Arquitectura de Software.

En el octavo artículo, se analizó el efecto de la fuerza, número de pases y avance del rodillo, del proceso de bruñido, sobre el campo de esfuerzos residuales, el máximo esfuerzo residual compresivo y su profundidad en discos de acero AISI 1045, mediante la formulación de un modelo matemático resuelto con el método de elementos finitos.

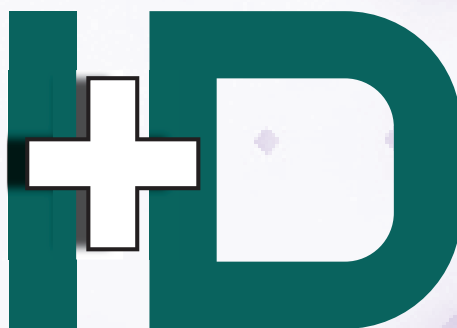
El noveno artículo presenta el análisis de una prótesis de miembro inferior (pie). Se contempla desde la fase de análisis del paciente, diseño, e implementación de la prótesis en fibra de carbono. El objetivo es lograr el mejor tratamiento para cada paciente para acercarlo a un patrón de marcha normal.

El penúltimo artículo presenta una plataforma que permite la gestión de datos de pacientes con enfermedades crónicas no transmisibles, como la hipertensión arterial en Panamá. Se busca almacenar los datos de los pacientes, el registro histórico y las

tendencias de las medidas almacenadas de acuerdo a los rangos de mediciones obtenidas.

En el undécimo artículo, se hace uso de la técnica Web Scraping para extraer datos de Google Scholar a través de diferentes métodos. Con el fin de realizar un análisis más profundo, se creó un algoritmo en lenguaje R para comparar la velocidad de extracción de los datos y la eficiencia en el formato de salida de los mismos. Se muestra las pruebas realizadas para medir la velocidad de extracción de los datos y buscar la mejor forma de extraer los datos de forma estructurada.

*DR. ORLANDO AGUILAR*  
*Director de la Revista*  
*Junio de 2018*



## Contenido

5

### **Objetos de aprendizaje para el primer grado de la educación básica general en Panamá**

Learning objects for the first grade of general basic education in Panama

**Nadia E. Lee | Isabel Aguirre | Yaizet Griffin**

14

### **El estado del arte: Salud inteligente y el internet de las cosas**

State of Art: Smart Health and Internet of Things

**Alberto Domínguez | Miguel Vargas-Lombardo**

18

### **Gestión de valor en la distribución turística: resultados preliminares desde la valoración de e-readiness aplicados en Cuenca - Ecuador**

Tourism distribution value management: preliminary studies of e-readiness evaluation applied in Cuenca - Ecuador

**Juan Pablo Vázquez Loaza | Glicería Petrona Gómez Ceballos**

29

### **Método fotogramétrico pragmático para medir desplazamientos en puentes**

Pragmatic photogrammetric method to measure displacements in bridges

**Noé A. Serrano | Brayan A. Zúñiga | José M. Gallardo**

41

### **Optimización en el dimensionamiento de un sistema industrial de gas licuado de petróleo**

Optimization in the sizing of an industrial system of liquefied petroleum gas

**Diego Venegas Vásconez | Cesar Ayabaca Sarria | Santiago Celi Ortega | Juan Rocha Hoyos | Euro Mena Mena**

49

### **Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador**

Determination of cadmium, lead and ochratoxin in the flour coming from the shells of two varieties of cocoa in Ecuador

**Ahmed El Salous | Alina Pascual Yaizet Griffin**

55

### **Arquitectura de software para el desarrollo de videojuegos sobre el motor de juego Unity 3D**

Software architecture for the development of videogames on the game engine Unity 3D

**Andy Hernández Paez | Javier Alejandro Domínguez Falcón | Alejandro Andrés Pi Cruz**

68

### **Efecto de los parámetros del proceso de bruñido por rodillo en el campo de esfuerzos residuales**

Effect of the parameters of the roller burnishing process in the residual stress field

**Edgar López Martínez | Octavio Vázquez Gómez | Héctor Javier Vergara Hernández**

77

### **Analysis and Construction of a Prosthetic Foot**

Análisis y construcción de un pie protésico

**John Alexander Hernández Martin | Luis Alberto Parra Piñeros | César Augusto Pinzón Pinzón | Oscar Heli Bejarano Peña Jairo Alberto Romero Gutiérrez | Pedro Eladio García Benavides**

# Revista de TECNOLÓGICO

Enero - Junio 2018  
EDICIÓN SEMESTRAL  
P - ISSN 1680-8894  
E - ISSN 2219-6714

Volumen 14 / N.º 1  
Publicación Regional

## Contenido

84

### Plataforma para la autogestión de datos de pacientes hipertensos en Panamá

Platform for the data self-control of patients with arterial hypertension in Panamá

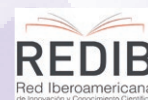
**Vladimir Villarreal | Manuel Samudio**

95

### Extracción de datos de perfiles en Google Scholar utilizando un algoritmo en el lenguaje R para hacer minería de datos

Web Scraping of profiles in Google Scholar using an algorithm in the R language to do data mining

**Danny Murillo | Dalys Saavedra | Erika Quintero**



# Objetos de aprendizaje para el primer grado de la educación básica general en Panamá

## Learning objects for the first grade of general basic education in Panamá

Nadia E. Lee<sup>1\*</sup>, Isabel Aguirre<sup>2</sup>, Yaizet Griffin<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CIDITIC), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>2</sup>Griffin Faith Corporation, S.A.

\*Autor de correspondencia: [nadia.lee@utp.ac.pa](mailto:nadia.lee@utp.ac.pa)

**RESUMEN-** En este artículo presentamos la metodología y estructura utilizada para el diseño, construcción y valoración técnica de los objetos de aprendizaje contenidos en la interfaz web del proyecto: Portal de Objetos Digitales de aprendizaje para Niños y Niñas con Necesidades Educativas Especiales (PODA). Los objetos de aprendizaje contenidos en este portal se constituirán en nuevos recursos didácticos informáticos para apoyar el proceso de enseñanza aprendizaje, permitiendo la inclusión de niños y niñas con necesidades educativas especiales con/sin discapacidades, haciendo uso de Tecnología Educativa que permita organizar, comprender y manejar las múltiples variables de cualquier situación del proceso, de aumentar la eficacia y eficiencia de este en un sentido amplio, cuya finalidad es la calidad educativa. El propósito principal es responder a la carencia de herramientas tecnológicas para el Aprendizaje que respondan a necesidades específicas y al desarrollo de competencias básicas en el primer grado de la Educación básica general, en el contexto del currículum Escolar Panameño, que contribuya a generar innovaciones pedagógicas alternativas a la enseñanza tradicional, implementando contenidos y actividades interactivas, con temáticas de educación especial, atendiendo a la diversidad, buscando optimizar la integración de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, para adecuar el trabajo del maestro en el aula, el padre de familia y el tutor en casa, y se propicie una mejora en la formación y actitud hacia las ciencias que estén acorde con las políticas educativas nacionales.

**Palabras Clave-** *Actividades de aprendizaje, educación inclusiva, enseñanza, herramientas de autor, modelo pedagógico, objetos de aprendizaje, tecnología educativa.*

**ABSTRACT-** This article, presents the methodology and structure used for the design, construction and technical evaluation of learning objects contained in the web interface of the project: Portal of Digital Learning Objects for Children with Special Educational Needs (PODA). The learning objects contained in this portal, are new didactic computer resources will that support the teaching-learning process. Allowing the inclusion of children with special educational needs, childrens with or without disabilities, making use of Educational Technology to organize, understand, and to manage the multiple variables of any situation of the process, to increase the effectiveness and efficiency of the teaching learning process in a broad sense, whose purpose is the educational quality. The main purpose is to respond to the lack of technological tools for learning that respond to specific needs and the development of basic skills in the first grade of general basic education, in the context of the Panamanian School curriculum, which contributes to generate alternative pedagogical innovations, to traditional teaching. Implementing content and interactive activities, with special education topics, attending to diversity, seeking to optimize the integration of new information and communication technologies, to adapt the work of the teacher in the classroom, the father of family and tutor at home, and an improvement in the training and attitude towards the sciences that are in line with the national educational policies.

**Keywords-** *Learning activities, inclusive education, teaching, authoring tools, pedagogical model, learning object, educational technology.*

### 1. Introducción

Actualmente en Panamá, existen recursos didácticos tecnológicos, pero no adecuados al currículum escolar del país. Adicionalmente, existen muy pocos objetos de aprendizajes, dirigidos a estudiantes con necesidades especiales.

A nivel internacional se desarrollan muchas investigaciones en el uso de las TIC's, como apoyo de

enseñanza y el aprendizaje en la línea de inclusión, uno x de ellos es el portal educativo de Educarex España, el cual provee una sección dedicada a las necesidades especiales [1].

En Panamá, desde el año 2012, y con el inicio del proyecto PODA, el Instituto Panameño de Habilitación Especial (IPHE), realiza un estudio de las aplicaciones TIC utilizadas en las aulas de recursos, descubriendo que

**Citación:** N. Lee, I. Aguirre y Y. Griffin, "Objetos de aprendizaje para el primer grado de la educación básica general en Panamá", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, n.º 1, pp. 5-13, Jun. 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 26 de agosto de 2016. **Recibido con correcciones:** 24 de noviembre de 2017. **Aceptado:** 11 de abril de 2018.

**Copyright:** 2018 N. Lee, I. Aguirre y Y. Griffin. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

los recursos utilizados correspondían a *software* realizados por empresas extranjeras, no adecuados a nuestro entorno nacional.

El proyecto PODA surge como una iniciativa y como parte de su implementación se incluye el diseño y desarrollo de objetos de aprendizajes adecuados al currículum nacional e incluyendo las necesidades especiales. Lo que se pretende es mejorar un área de inclusión, beneficiar la población con o sin condición, que se genere conocimientos, y se desarrolle estrategias de innovación en el aprendizaje principalmente, en nuestro país, y a la vez dar nuestro aporte a la comunidad científica a través del uso de tecnología educativa. Según, (Pons, 2009) esta se refiere al “conjunto de medios, métodos, instrumentos, técnicas y proceso bajo una orientación científica con un enfoque sistemático para organizar, comprender y manejar las múltiples variables de cualquier situación del proceso, con el propósito de aumentar la eficacia y eficiencia de este en un sentido amplio, cuya finalidad es la calidad educativa” [2].

Mostraremos el avance de PODA, que se ha realizado con los objetos de aprendizajes:

Primeramente, presentamos la conceptualización; luego, se describe la metodología utilizada para llevar a cabo todo lo relacionado con los aspectos pedagógicos y tecnológicos para el diseño y construcción de los objetos de aprendizaje del proyecto PODA. Seguidamente, definimos la herramienta seleccionada para evaluar el funcionamiento técnico, y la motivación del usuario con los objetos de aprendizaje. Por último, damos a conocer los resultados obtenidos de la prueba piloto del proyecto y nuestras principales conclusiones.

## 2. Objetos de aprendizaje

Según (Hernández, Bieliukas, y Silva Sprock, 2011) “los objetos de aprendizaje son recursos didácticos e interactivos en formato digital, desarrollados con el propósito de ser reutilizados en diversos contextos educativos, donde respondan a la misma necesidad instruccional” [3].

El objeto de aprendizaje digitalizado debe contener una introducción, módulo teórico, actividades, conclusiones, evaluaciones. En la figura 1 se muestra un esquema del contenido de un objeto de aprendizaje una vez digitalizado.

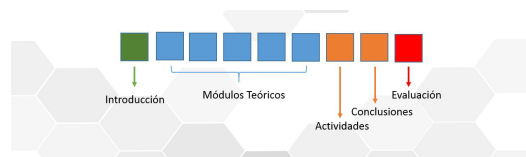


Figura 1. Contenido de un objeto de aprendizaje.

Cada objeto digital de aprendizaje define un objetivo sobre la competencia que se debe alcanzar, presentando el contenido vinculado al currículo y la actividad de aprendizaje que le permite al docente o tutor comprobar los avances del niño.

El diseño y desarrollo de un objeto de aprendizaje exige de requerimientos tecnológicos y pedagógicos, a través de los cuales tienen presencias algunas disciplinas como la interacción humano computador, encargada del diseño de la interfaz, elemento fundamental para lograr una fuerte expresividad visual que motive al usuario. Otro aporte lo dan las Ciencias de la Educación, que facilitan el desarrollo de las propias potencialidades e instruye a las personas sobre nuevos conocimientos, haciendo énfasis en los escenarios de aprendizaje a propiciar. También se considera la Ingeniería de *Software*, que aporta de manera sistematizada un conjunto de herramientas para ayudar a despejar cómo implementar el proceso de aprendizaje a través del computador. Construir un objeto de aprendizaje supone la realización de tareas previas a su trabajo de programación, para obtener un producto final que atienda a los estándares del diseño de aprendizaje. Estas tareas son: seleccionar el modelo pedagógico, que es todo lo relacionado con la metodología para facilitar el aprendizaje; elaborar la representación visual del objeto de aprendizaje y utilizar un conjunto de herramientas tecnológicas, aquellas que sean apropiadas para darle vida a la representación visual de los objetos de aprendizaje, que es todo lo relacionado con el aspecto tecnológico.

Un objeto de aprendizaje presenta la información de forma estructurada y esquematizada, en donde el contenido es organizado en introducción y módulos teóricos, que a su vez tienen subtemas, actividades y evaluación, las cuales pueden contener recursos como texto, audio, video, comandos, animaciones, simulaciones, estudio de caso, entre otros.

## 3. Metodología

La construcción de los objetos de aprendizaje para PODA inicia con elección de un modelo de trabajo. En este proyecto seleccionamos un equipo



multidisciplinario que generalmente está compuesto por: docente experto (autores de contenidos), asesor pedagógico, diseñador gráfico, comunicador social, experto en herramientas computarizadas o informáticas. En este caso el equipo multidisciplinario está conformado por:

- Maestro de grado.
- Diseñador instruccional.
- Docentes especialistas en necesidades educativas especiales (NEE) y/o discapacidad.
- Profesional técnico de la salud (fonoaudiólogo, terapeuta de lenguaje).
- Diseñador gráfico e ilustrador.
- Desarrollador o programador web.
- Animador.
- Experto en accesibilidad.

En la figura 2 se muestra un esquema del modelo de trabajo utilizado.



**Figura 2.** Modelo de trabajo multidisciplinario.

En la etapa dos del proyecto, se conforma un grupo entre los docentes, psicólogos, educadores especiales y curriculistas, para elaborar el diseño instruccional de los objetos en las cinco asignaturas y el módulo de aprestamiento. Esto desde el enfoque pedagógico.

En la etapa tres del proyecto, el diseñador gráfico y el tecnólogo aportan la parte visual y tecnológica de los objetos de aprendizaje.

El uso de las tecnologías de la información y la comunicación propician el escenario para que se den las relaciones entre las personas que conforman el equipo de trabajo; como instrumento mediador de las actividades de aprendizaje en un contexto ajustado a las características del usuario final, ya que los mismos nos permiten

seleccionar, analizar y valorar los contenidos de aprendizaje con el fin de planificarlas.

Luego la elección del modelo pedagógico denominado “*Learnativity Content Model*” desarrollado por Duval y Hodgins [4] que sustenta la interacción usuario-contenidos a partir de la diversificación de los medios. Seguidamente, se construyó la representación visual de la propuesta de aprendizaje, diseñada por el docente y diseñadores instruccionales, en este caso el maestro, por el hecho de que las mismas impactan sobre el aprendizaje. Finalmente, la programación del objeto de aprendizaje mediante lenguajes de programación web y el aprovechamiento de las herramientas de autor que facilitan el diseño de actividades educativas de manera sencilla sin tener conocimientos técnicos de diseño o programación web. Debido a que estas aplicaciones informáticas nos proporcionan esquemas prediseñados que utilizamos en el diseño de la actividad educativa, la cual podemos personalizar y adaptar a las características y necesidades de los estudiantes.

### 3.1 Modelo pedagógico

La creación del portal sigue una programación Web orientada a objetos para la creación de objetos digitales de aprendizaje, denominado “*Learnativity Content Model*”. Este tipo de programación apoya los aspectos pedagógicos y de la interfaz, atendiendo a las habilidades de los usuarios para interactuar con los contenidos, y diversificando los medios, considerando que cada niño responde de forma distinta ante diversos estímulos. El modelo *Learnativity Content Model* está basado en la siguiente taxonomía:

1. Elementos de medios son el nivel más bajo en este modelo, estos elementos residen en un nivel de datos puros. Los ejemplos incluyen una sola frase o un párrafo, ilustración, animación, etc.
2. Objetos de información son un conjunto de elementos multimedia en bruto. Estos objetos podrían basarse en el "Bloque de información" desarrollado por Horn.
3. En base a un único objetivo, los objetos de información son seleccionados y ensamblados en el tercer nivel de los objetos de aplicación específica. Este nivel aloja los objetos de aprendizaje de manera limitada como lo indica la definición anterior de la norma LOM.
4. El cuarto nivel se refiere a los ensamblados agregados que tienen que ver con los objetivos. Este nivel se corresponde con las lecciones más convencionales o capítulos.

5. Lecciones o capítulos se pueden montar en grandes colecciones, como cursos y programas de estudio conjunto. El quinto nivel se refiere a estas colecciones.

### 3.2 Actividades de aprendizaje

Basados en el currículo de educación básica general, en el primer grado y el uso de una plantilla identificada por el equipo de trabajo como plantilla de recurso por objeto de aprendizaje, se reunió la información de las actividades de aprendizaje que contendría el objeto de aprendizaje; este se convirtió en el insumo para la representación visual y programación del objeto de aprendizaje.

Los componentes que estructuran la plantilla de recursos por objeto de aprendizaje se describen a continuación:

- Asignatura: corresponde al nombre de la asignatura.
- Responsable: persona que elaboró la plantilla.
- Área: nombre del área trabajada según el currículo escolar.
- Nombre del objeto: definido por el equipo, con carácter creativo y relacionado al tema desarrollado.
- Tipos de formato para presentar contenido: aquí se definió el formato para presentar finalmente el objeto de aprendizaje (actividad).
- Tipo de formato para presentar las actividades de aprendizaje: tipo de formato (video, animación, juego, historietas, otros), descripción del contenido, especificaciones del formato (Anotar el proceso de ejecución de las partes del objeto desde el fondo que utilizara hasta cómo se va ejecutando la actividad. Esto incluye dar clic, arrastrar, insertar en una caja etc., así como los estímulos por lograr hacer el trabajo o para volver a intentarlo, también se definirá cuántos intentos realizará el niño. Y al final de toda esta información señalar el uso de pictogramas para la población de niños que lo requieran, recursos que se necesiten (Aquí se listan los materiales audiovisuales como: imágenes, audios, dibujos, fotografías que se necesitan en la elaboración del objeto y se especifica cada una de ellas en la parte de recursos de la actividad).
- Recursos de la actividad.
- Introducción del objeto: voz en off Personaje del objeto (se refiere a quién lo va a realizar).

- Instrucciones del objeto para el usuario final: aquí se coloca la instrucción que le aparecerá al niño cuando interactúe con el objeto de aprendizaje. Esta debe ser lo más corta y sencilla posible.

### 3.3 Representación visual del objeto de aprendizaje

En el ámbito escolar la imagen ha sido considerada un medio de valor inestimable por su potencialidad expresiva y así se ha mantenido dentro del contexto de la Internet, destacando por su función representativa, alusiva, enunciativa, de atribución, de operación y catalizadora de experiencias que estas pueden desempeñar.

La introducción de los medios audiovisuales no solo exige de conocer y dominarlos técnicamente, sino una preparación didáctica y tecnológica sobre el modo de uso adecuado en los procesos de aprendizaje.

Con estas premisas el equipo de diseñadores gráficos estructura en cuatro fases puntuales la representación visual de los objetos de aprendizaje:

- Fase de análisis: diseñadores gráficos y programadores evaluaron el contenido y las actividades de aprendizajes para verificar la funcionalidad de las actividades de aprendizaje propuestas por los maestros, técnicos y profesionales en atención a la construcción de los objetos, integrando diferentes elementos multimedia que generen un recurso más didáctico y atractivo para el estudiante. Se realizaron algunas correcciones técnicas a las plantillas de recursos en la parte de diseño pedagógico: recursos que lograrán la comunicación y comprensión del objeto de aprendizaje y por la parte tecnológica: formatos de presentación que resultarán más apropiado al objeto aprendizaje.
- Fase de la idea: es el espacio otorgado a la intuición o iluminación; básicamente los profesionales del diseño gráfico resolvieron los diseños por medios de lluvia de ideas hasta formular conceptos que permitieran distintos niveles de comprensión.
- Fase de boceto: corresponde a la elaboración de los diseños. Una vez elegida la idea, se trabaja en su perfeccionamiento y esto transcurre con la producción de varios bocetos de una misma idea. Los bocetos trabajados fueron para:
  - Objetos de aprendizaje: (personajes, animales, objetos, fondos y escenarios).
  - Sitio web: diseños de varios portales y sus plantillas.

- Fase de diseño y armado: es aquí donde los diseñadores combinaron su habilidad intuitiva para reconocer y crear patrones, formular metas y aplicar estrategias que le dirijan al logro de los resultados de aprendizaje. En este punto, el concepto se transforma en una unidad visual que incluye color, tipografía, formas, fondo y la organización de todos estos da lugar a una composición determinada para ser utilizado en el sitio Web. A los diseñadores gráficos se les presentó nuevos retos en el armado de los artes, es aquí donde la jerarquía visual requiere de una prueba crucial, y de tomar decisiones de cual elemento es primero, segundo o tercero; ¿la composición está trabajando para destacar uno u otro objeto?; ¿la imagen principal está bien representada?; ¿la ilustración o fotografía dice lo que debe decir acerca del objeto de aprendizaje?; ¿el mensaje satisface las necesidades? Y, por último, se hace entrega a los programadores de los diferentes artes: objetos de aprendizajes por asignaturas y las plantillas de la Web.

En la figura 3 se muestran las fases que se llevaron a cabo para crear cada una de la representación visual de los objetos de aprendizaje.



**Figura 3.** Fases para la creación de la representación visual.

### 3.4 Aspectos tecnológicos

Los aspectos tecnológicos son los recursos, procedimientos y técnicas utilizadas en el procesamiento, transformación y comunicación de la información; todo lo relacionado con las tecnologías de la información y la comunicación.

Uno de los aspectos tecnológicos a considerar es la ingeniería de *software* que de acuerdo a innumerables investigaciones realizadas existen documentadas alrededor de once metodologías; todas coinciden en establecer como mínimo una etapa de análisis, otra de

diseño y/o desarrollo, pruebas y finalmente implementación del producto.

En la etapa de análisis el grupo de experto en herramientas computarizada o informática identificó los lenguajes, programas; de la gran variedad que existen hoy en día. En el proyecto se utilizaron para digitalizar los objetos de aprendizaje las siguientes:

- **HTML:** acrónimo inglés de *HyperText Markup Language*, es un lenguaje de marcado diseñado para estructurar textos y presentarlos en forma de hipertexto, que es el formato estándar de las páginas web.
- **CSS:** siglas en inglés de *Cascading Style Sheets*, las CSS u hojas de estilo en cascada son un lenguaje formal usado para definir la presentación de un documento estructurado escrito en HTML o XML (y por extensión en XHTML). El W3C es el encargado de formular la especificación CSS que servirá de estándar para los agentes de usuario o navegadores.
- **JavaScript:** es un lenguaje de programación interpretado que permite mejoras en la interfaz de usuario y páginas Web dinámicas.
- **Programas para hacer animaciones:** Adobe *Edge Animate* (para crear animaciones Web, utilizando estándares Web libres como html5, css, javascript).
- **Herramienta de autor Ardora:** es una aplicación informática para docentes, que les permite crear sus propios contenidos web, de un modo muy sencillo, sin tener conocimientos técnicos de diseño o programación web [5].
- **Lim (Libros Interactivos Multimedia):** el sistema Lim es un entorno para la creación de materiales educativos, formado por un editor de actividades (EdiLim), un visualizador (LIM) y un archivo en formato XML (libro) que define las propiedades del libro y las páginas que lo componen [6].

Las descripciones de los lenguajes de programación para Web se obtuvieron de *the world's largest web developer site* [7].

En la etapa de diseño y desarrollo llevamos a cabo una secuencia de pasos que nos permitieron crear un producto adecuado a las necesidades que tiene determinado tipo de estudiante, necesidades que deben ser rigurosamente estudiadas por la persona que elabora el material y que se deben ajustar a las metodologías de desarrollo de objetos de aprendizajes presentes en el momento de iniciar dicho proceso.

En el proceso hay que tomar en cuenta la accesibilidad en los objetos de aprendizaje, ésta tiene un papel muy importante según (Conforto y Santarosa 2011), la accesibilidad a la web permite la flexibilización del acceso a la información y a la interacción de los usuarios que posean algún tipo de necesidad especial o que se encuentre en desventaja tecnológica [8].

#### 4. Implementación de los objetos de aprendizaje

Valoración del funcionamiento técnico de los objetos de aprendizajes:

La evaluación de un *software* educativo es un proceso que consiste en la determinación del grado de adecuación al contexto educativo. Esta evaluación es interna y externa. La interna es la que realiza el equipo de desarrollo que nos permite identificar las mejoras estructurales y técnicas del objeto de aprendizaje. La externa es realizada por los profesores y estudiantes.

Para la evaluación externa de los objetos de aprendizaje en el proyecto PODA seleccionamos la herramienta LORI- *Learning Object Review Instrument*- (Nesbit, Belfer y Leacock), que permite evaluar los objetos de aprendizaje en función de nueve variables:

- Calidad de los contenidos: veracidad, exactitud, presentación equilibrada de ideas y nivel adecuado de detalle.
- Adecuación de los objetivos de aprendizaje: coherencia entre los objetivos, actividades, evaluaciones, y el perfil del estudiante.
- Retroalimentación (*feedback*) y Adaptabilidad: contenido adaptativo o *feedback* dirigido en función de la respuesta de cada usuario y su estilo de aprendizaje.
- Motivación: capacidad de motivar y generar interés en un grupo concreto de usuarios.
- Diseño y presentación: ¿el diseño de la información audiovisual favorece el adecuado procesamiento de la información?
- Usabilidad: facilidad de navegación, interfaz predictiva para el usuario y calidad de los recursos de ayuda de la interfaz.
- Accesibilidad: ¿el diseño de los controles y la presentación de la información están adaptada para discapacitados y dispositivos móviles?
- Reusabilidad: capacidad para usarse en distintos escenarios de aprendizaje y con usuarios de distintos bagajes.
- Cumplimiento de estándares: adecuación a los estándares y especificaciones internacionales.

La descripción de las variables se obtuvo del documento Instrumento para la evaluación de objetos de aprendizaje (LORI\_ESP) [9].

El estudiante hace uso del objeto de aprendizaje guiado por el maestro y luego el maestro resuelve el cuestionario de valoración que utiliza una escala entre 1 y 5 siendo uno el más bajo y cinco el más alto.

En nuestro caso, las variables de la herramienta LORI las agrupamos en tres áreas para hacer una evaluación de los objetos de aprendizaje de los aspectos pedagógicos, representación visual y calidad del producto. En el grupo de:

- Aspectos pedagógicos incluimos las variables: calidad de los contenidos, adecuación de los objetivos de aprendizaje, retroalimentación y adaptabilidad.
- Representación visual incluimos las variables: motivación, diseño y presentación, usabilidad.
- Calidad del producto incluimos las variables: accesibilidad, reusabilidad, cumplimiento de estándares.

#### 5. Resultados

Una vez concluido el proyecto hemos implementado un portal Web que contiene 35 objetos de aprendizaje con actividades de aprendizaje educativas alojadas en seis asignaturas que ofrecen diversos contenidos; las cuales describimos a continuación:

- Aprestamiento: catálogo de actividades y experiencias organizadas para guiar al niño hacia el nivel de éxito en el aprendizaje.
- Español: la competencia comunicativa origina la interrelación entre los estudiantes, convirtiéndolos en los mejores usuarios de la lengua a partir de los significados propios construidos en los escenarios donde se desenvuelvan.
- Matemáticas: es el razonamiento lógico sobre las operaciones básicas, el uso de medidas, las dimensiones de los objetos y la organización de datos en los sucesos del acontecer cotidiano.
- Ciencias naturales: es un recorrido que invita a apropiarse de hábitos y actitudes saludables sobre el cuerpo humano. Se muestra la relación con el medio ambiente y su conservación. También descubrimos las características del planeta tierra valorando nuestra relación con ella, por ser el lugar donde vivimos.
- Ciencias sociales: un espacio para familiarizarse con las características naturales, geográficas,

culturales e históricas del grupo de pobladores del país y sus regiones.

- Expresiones artísticas: resulta en el encuentro de las habilidades y destrezas en artes plásticas, teatro, danza y música.

Se realizaron pruebas pilotos, en las escuelas que apoyaron el proyecto, nueve ubicadas en la ciudad de Panamá y cuatro en el interior del país. Veintiún grupos fueron atendidos entre kínder, primer grado y aula de inclusión quienes desarrollaron de manera satisfactoria la interacción con quince objetos de aprendizaje, así como ejecutar las actividades incluidas en cada objeto.

En la tabla 1 se muestra en detalle las escuelas y grupos que participaron en la prueba piloto.

**Tabla 1.** Participantes de la prueba piloto

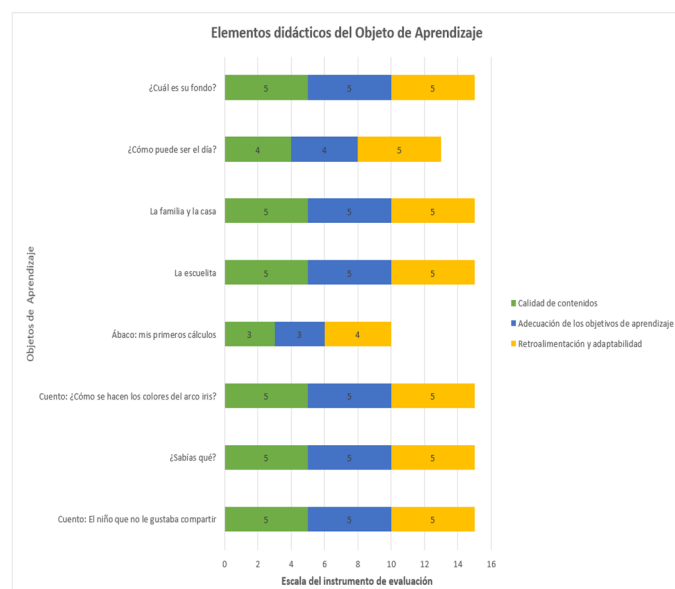
Escuelas	Cantidad docentes	Cantidad estudiantes	Cantidad grupos
Escuela Vocacional Especial	7	10	1
Enseñanza Especial	1	3	1
Autismo	1	10	2
Kinder (IPHE)*	1	6	1
María Henríquez	4	56	2
Rosa María Angulo de Arce	4	26	3
Gloriela Barría	3	21	2
Juan T. Del Busto	5	85	4
Claudio Vásquez	6	81	5
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>298</b>	<b>21</b>

\* Instituto Panameño de Habilidad Especial.

Los resultados de las pruebas realizadas en las escuelas, se las presentamos en tres gráficas; las mismas muestran el análisis realizado después de aplicar la herramienta LORI a los objetos de aprendizaje seleccionados para la prueba piloto del portal PODA.

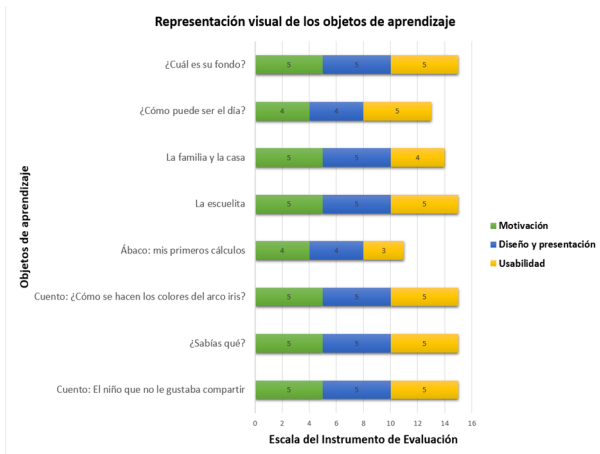
En la figura 4 mostramos el resultado que se obtuvo de la evaluación referente a los elementos didácticos de un objeto de aprendizaje.

Contrastando las tres primeras variables que se indican en el instrumento LORI respecto a la calidad de los contenidos, adecuación de los objetivos de aprendizaje, realimentación y adaptabilidad, y su presencia en los objetos de aprendizaje probados, se destaca que éstos poseen información con argumento lógico, actividades interactivas y están desarrollados dentro de un contexto adecuado al perfil de los niños y niñas que lo utilizarán.



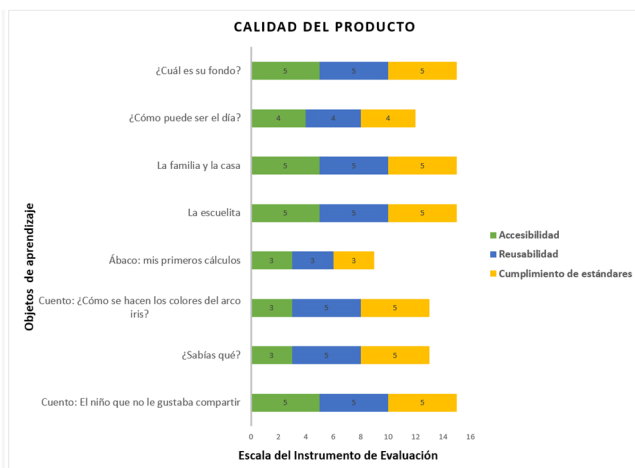
**Figura 4.** Gráfico de los elementos didácticos de los objetos de aprendizaje.

En la figura 5 mostramos el resultado que se obtuvo de la evaluación referente a la representación visual de los objetos de aprendizaje. La representación visual (diseño, colores, animación, rotulado y distribución de la información) de los objetos de aprendizaje es sugestiva y no interfiere con el objetivo educativo. La interfaz de usuario en el objeto de aprendizaje despierta el interés por acceder al portal.



**Figura 5.** Gráfico de la evaluación de la representación visual de los objetos de aprendizaje.

En la figura 6 se muestra el resultado que se obtuvo de la evaluación referente a la calidad del producto de los objetos de aprendizaje. Los objetos de aprendizaje han sido desarrollados con modelos de referencia y estándares que les conceden el atributo de ser utilizados en diversos contextos educativos, así como adaptarlos a las preferencias del usuario. En cuanto a su accesibilidad hemos logrado emplazarla en algunos de los objetos.



**Figura 6.** Gráfico de la evaluación de la calidad del producto de los objetos de aprendizaje.

Dando como resultado, un incremento en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) mediante los objetos de aprendizaje y los recursos informáticos dispuestos en las aulas de nuestras escuelas, promoviendo la alfabetización digital de los estudiantes y maestros. En la figura 7 se muestra a un grupo de

estudiantes interactuando con un objeto de aprendizaje durante la gira de campo.



**Figura 7.** Gira de campo se observa la conducta de los niños con los objetos de aprendizajes.

## 6. Conclusiones

Los objetos de aprendizaje que se crearon para el Portal de Objetos Digitales de Aprendizaje se presentan al primer grado de la Educación básica general en Panamá como un recurso didáctico innovador, para incorporarlo al proceso enseñanza aprendizaje y así contribuir a aumentar las oportunidades de los niños y niñas con los distintos estilos y necesidades especiales educativas de aprendizaje.

De los ocho objetos de aprendizaje utilizados en la prueba piloto; siete fueron evaluados con una calificación de cinco en los nueve elementos de la herramienta LORI, con excepción del objeto de aprendizaje con el nombre de Ábaco que obtuvo en su evaluación una calificación de 3, una calificación media con respecto a los otros objetos de aprendizaje que nos indica que debemos mejorarla.

La herramienta de ábaco favoreció en los niños la realización de cálculos mentales de forma interactiva, apoyando la atención sostenida, mientras que los demás objetos utilizados para la prueba piloto permitieron fortalecer la comprensión lectora, la expresión del pensamiento y la reflexión sobre los valores que promueven la convivencia y la comunicación en los diversos ambientes donde se desenvuelve el niño.

La implementación de esta herramienta en las aulas de prueba del proyecto promovió el uso y la interacción con las tecnologías desde la primera infancia, así como el reforzamiento de los contenidos que se dan en el aula

tradicional, esto ha sido un avance del proyecto PODA en su primera versión.

Las acciones futuras del proyecto deben contemplar la evaluación del aprendizaje y mejoramiento de los aspectos de accesibilidad y la implementación del portal en centros educativos en otras provincias con la disposición de la herramienta, no solo online sino offline para aquellos centros educativos que presentan dificultades de conexión, a fin de que la herramienta pueda ser aprovechada. De igual forma, evaluar y probar la construcción de objetos de aprendizaje con otro tipo de tecnologías como, por ejemplo, el desarrollo de aulas virtuales 3D, realidad aumentada, y la definición de nuevas líneas de investigación en tecnologías de inclusión.

## 7. Agradecimiento

Este trabajo fue financiado por la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) a través de la convocatoria Proyectos Educativos con Innovación en el Aprendizaje o Enseñanza – año 2011 (APR-I-PEAE-P020).

Agradecemos a nuestros colaboradores del Instituto Panameño de Habilitación Especial (IPHE).

Agradecemos a nuestros colaboradores Centro de Investigación y Desarrollo e Innovación en Tecnologías de Información y las Comunicaciones de la Universidad Tecnológica de Panamá.

Agradecemos también a nuestros colaboradores Edwin Pineda, Ulises Madero estudiantes de la Facultad de Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica de Panamá.

## 8. Referencias

- [1] Consejería de Educación-Junta de Extremadura. “Contenidos Educativos Digitales” 04 07 2017. [En línea]. Available: <http://conteni2.educarex.es/>. [Último acceso: 4 julio 2017].
- [2] J. de Pablos Pons. Tecnología Educativa. La formación del profesorado en la era de Internet, Málaga, España: Aljibe, 2009.
- [3] Y. C. Hernández Biiilukas y A. Silva Sprock. “Una experiencia tecnopedagógica en la construcción de objetos de aprendizaje web para la enseñanza de la matemática básica.” Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación, vol. 5, pp. 57-72, enero - junio 2011.
- [4] E. Duval y W. Hodgins. “A LOM Research Agenda” 2003. [En línea]. Available: <http://www2003.org/cdrom/papers/alternate/P659/p659-duval.html.html>. [Último acceso: 04 01 2011].
- [5] J. M. Bouzán Matanza. “Web de ayuda de Ardora – Creación de actividades escolares ARDORA 7” [En línea]. Available: <http://www.webardora.net/>. [Último acceso: 30 enero 2012].
- [6] EDUCALIM, “LIM Libros Interactivos Multimedia,” 2006. [En línea]. Available: <http://www.educalim.com/cinico.htm/>. [Último acceso: 5 enero 2012].
- [7] T. W. L. W. D. SITE. “W3Schools Online Web Tutorials” [En línea]. Available: <http://www.w3schools.com/>. [Último acceso: 30 junio 2011].
- [8] D. Conforto y L. Santarosa. “Tecnologías Digitales Accesibles”. 1º Edición, Porto Alegre, Brasil. 2011: Editorial JSM Comunicacoes.
- [9] J. C. Nesbit, K. Belfer y T. Leacock. “Learning Object Review Instrument (LORI)” 2003 [En línea] [Último acceso: 24 octubre de 2014].

## El estado del arte: Salud inteligente y el internet de las cosas

### State of art: Smart health and internet of things

Alberto Domínguez <sup>1</sup>, Miguel Vargas-Lombardo <sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, <sup>1,2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [miguel.vargas@utp.ac.pa](mailto:miguel.vargas@utp.ac.pa)

**RESUMEN**— El Internet de las cosas (IoT) es la nueva tendencia de dispositivos en el mercado. Esta tecnología está siendo desarrollada por múltiples fabricantes de diversas partes del mundo para solucionar problemas específicos del día a día de las personas. Sin embargo, en la actualidad se están dando muchos casos de fallas de seguridad en dispositivos IoT, en este caso en hospitales. En este escrito también se describe el IoT como un complemento al sector salud haciendo referencia a las tecnologías creadas e implementadas por distintos fabricantes. Se presentan también los distintos métodos de seguridad que los fabricantes han implementado en sus soluciones y sus productos, desde diseños de topologías alámbricas e inalámbricas, hasta seguridad perimetral estricta de capa 2 y capa 3, las cuales trabajan en conjunto con la programación segura y recomendaciones para que el usuario final realice el uso adecuado del mismo. Al final del escrito se presenta la tecnología WBAN y los riesgos que conlleva junto con el IoT si no se asegura adecuadamente, ya que podría ser crítico y pondría en riesgo la vida de los pacientes. El objetivo es implementar en nuestro sistema IoT una capa extra de seguridad informática sin depender que el fabricante la haya embebido en su producto. Dicha capa dificulta que el atacante pueda manipular nuestros equipos a su conveniencia o que pueda explotar una falla conocida en un dispositivo que pueda perjudicar la vida, salud e integridad del paciente.

**Palabras clave**— *Fabricante, hospital, internet de las cosas, salud, seguridad informática, salud inteligente.*

**ABSTRACT**— The Internet of Things (IoT) is the new device trend in the market. This kind of technology is being developed by multiple manufacturers in various parts of the world to solve people's daily issues. However, there have been many cases of security failures in IoT devices, mainly at hospitals. This document describes IoT as a compliment in health area by referring created and implemented technologies by different manufacturers. Also, there are shown different security methods that manufacturers have implemented in their solutions and their products, from wired and wireless topologies designs to strict layer 2 and layer 3 security perimeters, which work together with secure programming and final user's recommendations to give a correct use of each device. At the end of this document WBAN technology is presented including the risks attached with IoT if it is not correctly secured because it could be critical and would endanger the lives of the patients. The main objective is to implement in our IoT system an extra security layer without depending on manufacturer embedded operating system on their product. This layer represents a challenge to the hackers and would be more difficult to gain access and manipulate our devices for their benefit or finding a vulnerability that can be exploited to harm the patient's life, health and integrity.

**Keywords**— *Manufacturer, hospital, internet of things, health, network security, smart health.*

### 1. Introducción

En el siguiente escrito se presenta una tecnología que, a pesar de ser tan exitosa, puede llegar a ser un completo fracaso si no se implementa Seguridad Informática, el Internet de las cosas (IoT) dirigido hacia la salud del ser humano implementado en hospitales de primer mundo.

Las compañías cada día son más competitivas e innovadoras por lo que exigen personal capacitado y certificado que aporten al desarrollo económico del país. En este caso el IoT específicamente en la salud, abre una puerta para especialistas en seguridad informática el cual debe conocer a cabalidad el entorno tecnológico en

el que se encuentra el hospital y las tecnologías que brinda el mercado.

Adicional a esto, también se muestran los beneficios de implementar IoT en los hospitales, fabricantes, dispositivos y políticas en concepto de seguridad de la información que cumplan con los principios de confidencialidad, integridad y disponibilidad de las aplicaciones y servicios con la finalidad de facilitar el día a día del personal médico y la atención a los pacientes.

Si no se toman las medidas necesarias para proteger estos dispositivos de ataques informáticos según las necesidades del paciente, se podría causar hasta la muerte, por ejemplo, una sobredosis de insulina para un



paciente diabético ocurre cuando los niveles de glucosa en la sangre se encuentran por debajo de 70 mg / dL, si al paciente se le suministra insulina por medio de un dispositivo IoT que se encuentra bajo ataque podría causar una hipoglucemia bajo síntomas como desmayos, debilidad, convulsiones, problemas respiratorios entre otras.

## 2. Salud inteligente

El IoT crea un gran impacto en cada negocio y la salud es un negocio, por lo tanto, es importante que en un área tan importante como lo es la salud, el desarrollo y programación de estos dispositivos sea perfecto con actualizaciones periódicas ya que existen muchos factores que podrían poner la vida del paciente en peligro.

Los recientes avances en el área de la salud a diario crean una cantidad enorme de oportunidades en innovación dirigido a clínicas y hospitales en especial a dispositivos móviles. Además de describir los riesgos que conlleva esta tecnología, veamos los avances que esta tecnología presenta tanto para personal médico como para los pacientes. En un ambiente crítico como el de un hospital es necesario que el personal reciba notificaciones emitidas lo más pronto posible a través de la red al dispositivo o dispositivos que correspondan.

### 2.1 Desarrollo en los hospitales

Llaman la atención los mecanismos y métodos que pueden ser creados para hacer la vida de los médicos y pacientes mucho más fácil, desde realizar diagnósticos simples hasta el momento crítico en que se presenta una urgencia [1].

Esta tecnología a pesar de ser adquirida por los hospitales, aún se encuentra en etapas de desarrollo, pero presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Simplicidad de uso: con una interfaz gráfica y amigable tanto para el paciente como para el personal médico se pueden asegurar respuestas oportunas, rápidas y efectivas.
- ✓ Ahorro energético: el *software* tiene la capacidad de mostrar en tiempo real la temperatura ambiente, gestión de encendido y apagado de luces en el hospital utilizando un sistema de domótica.
- ✓ Seguridad y control: Las alarmas generadas se almacenan en una base de datos MySQL y funciona de forma redundante ya que en caso de errores en la comunicación, la información se almacena localmente en cada dispositivo hasta

que vuelvan a detectar que la base de datos se encuentra en línea.

- ✓ Optimizar procedimientos: muchas de las soluciones aparte de notificar a médicos y enfermeras, también tienen la facilidad de informar a personal de sanidad alguna necesidad de los pacientes sin importar su ubicación lo que ayuda a optimizar el trabajo de la enfermería.
- ✓ Implantación: El sistema hospitalario debe estar integrado en donde se puedan exportar registros y alarmas desde el cuarto donde se encuentra paciente hasta el personal médico y sanitario como se muestra en la figura 1.

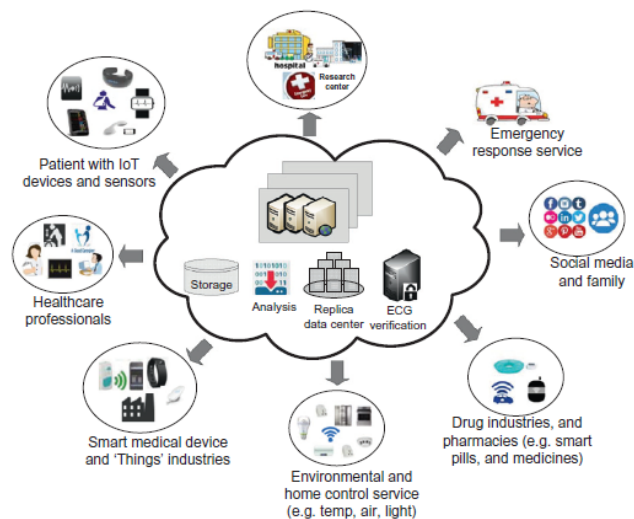


Figura 1. Ambiente integrado en soluciones IoT para hospitales [2].

### 2.2 Componentes

Como todos sabemos, las personas que se mantienen en constante movimiento en un hospital son los del departamento de enfermería. Este personal es el que debe estar mayormente familiarizado con cada uno de los componentes del hospital para que el paciente se sienta lo más cómodo posible [3].

- ✓ Dispositivos de radiofrecuencia: El IoT integrado con la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID), desmantela una nueva perspectiva para cada dispositivo involucrado por medio de un sistema inteligente del cual se obtiene información precisa.
- ✓ Terminales de habitación: Para que un paciente se encuentre en un ambiente cómodo, estas terminales cuentan con la capacidad de

funcionamiento autóctono capaz de realizar llamadas VoIP que garanticen el contacto con el personal médico o sanitario.

- ✓ Mecanismos de información: con estos dispositivos dedicados para personal médico es posible consultar tareas pendientes, codificar tareas y alarmas atendidas lo que brinda seguridad a los datos internos del hospital por medio de cifrado [4].

### 2.3 Empresas involucradas

Organizaciones encargadas del cuidado de la salud se encargan de evaluar estas soluciones para ser implementadas en los mejores hospitales a nivel mundial. Como resultado, las empresas desarrolladoras de estos productos tienen la oportunidad de explotar por medio del conocimiento tecnologías que permitan establecer soluciones colaborativas que brinden:

- ✓ Recursos compartidos.
- ✓ Mejor cuidado del paciente.
- ✓ Ahorro de tiempo.
- ✓ Capacitación del personal médico.
- ✓ Comunicación y colaboración [5].

#### 2.3.1 Polycom

Gracias al poder de la colaboración, compañías como Polycom son capaces de desarrollar tecnologías lo suficientemente aptas y adecuadas que se adaptan a las necesidades de los hospitales.

Los productos que brinda Polycom para la comunicación dirigida hacia el cuidado de la salud como se muestra en la figura 2, aprovechan su uso para el aprendizaje de estudiantes que cursan carreras de medicina y sus especialidades por medio de operaciones y distintas atenciones a los pacientes.



**Figura 2.** Colaboración telemédica multipunto de Polycom [3].

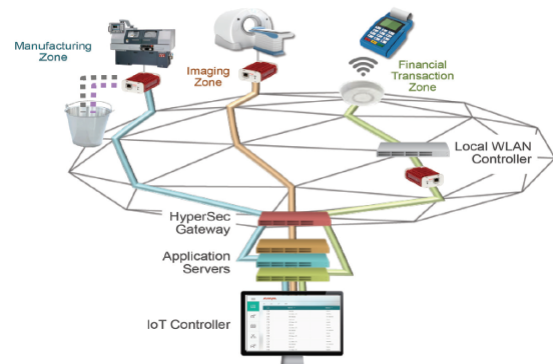
Estos equipos no brindan únicamente facilidad al personal médico, sino que también hacen que el paciente sienta confianza y comodidad al ser atendido. En consecuencia, Polycom ha facilitado las

interconexiones por medio de su tecnología entre hospitales, centros médicos educativos y asociaciones para que sus integrantes puedan presenciar en tiempo real y les permita discutir sobre las dificultades y desafíos para buscar la solución más efectiva según el diagnóstico del paciente [6].

#### 2.3.2 Avaya

Avaya es otra de las compañías que se ha encargado de innovar el mercado tecnológico pensando un poco más allá y con esto se refieren a implementar seguridad desde políticas hasta cifrado de tráfico con su línea **Surge** para hospitales.

Con una arquitectura desarrollada por Avaya llamada SDN (Software Defined Network) es capaz de administrar más de 150,000 dispositivos capaces de ser administrados por un controlador central encargado de todo el entorno y los dispositivos que forman parte de este.



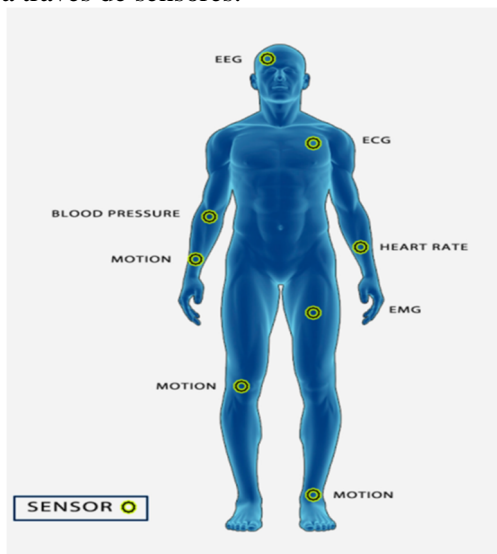
**Figura 3.** Componentes de Solución Avaya SDN [7].

Avaya ha implementado en sus dispositivos programación segura que se componen de segmentos aislados de la red interna puedan ser identificados por el controlador como se muestra en la figura 3, el tráfico viaja de forma cifrada dentro de la red y cada dispositivo tiene los recursos suficientes para ejecutar sus funciones en tiempo real.

Un estudio de The Global Analysis Benchmark Research de IBM comprobó que del 85% de los incidentes que involucran ataques criminales y maliciosos, el 25% de estos ataques fueron causados por personal interno y un 27% han sido por vulnerabilidades o por mal uso de los dispositivos, esto demuestra que la seguridad hay que implementarla a nivel de usuario y las empresas responsables diseñar productos que brinden seguridad y privacidad [7].

### 3. WBAN

WBAN (Wireless Body Area Network) es una nueva tendencia en el mundo de IoT en la salud compuesto de sensores que ayudan a recolectar información sobre el estado de salud del paciente por medio de distintas pruebas a través de sensores.



**Figura 4.** Sensores WBAN.

Como todo sistema informático y redes implementadas, los sistemas WBAN también requieren de medidas de seguridad para proteger los datos de los pacientes garantizando la confidencialidad, integridad y privacidad de los registros de salud en todo momento.

Esta tecnología brinda un mecanismo seguro de recaudación de información del paciente en donde la información solo puede ser recibida, procesada y enviada por personas y equipos autorizados por medio de mecanismos de cifrado a través del intercambio de llaves. Si un atacante tiene acceso a esta información y la modifica, podría atentar contra la vida del paciente ya que podría cambiar su diagnóstico e incluso la medicación a recetar [8].

### 4. Conclusiones y recomendaciones

El mundo de la tecnología es un mundo maravilloso en donde áreas como el IoT y la Seguridad Informática se llevan muy bien de la mano cuando se implementan juntas sobre todo si es para un beneficio que salva vidas. Como administrador de redes es recomendable realizar actualizaciones a los dispositivos cuando se realice el lanzamiento, en caso de tener habilitadas funciones que no serán utilizadas entonces deben desactivarse, deben deshabilitarse accesos remotos y segmentar la red por

medio de VLANs para que la calidad de la comunicación sea perfecta debido a que los dispositivos que la conforman implementan cifrado lo que hace que la cantidad de tráfico incremente considerablemente.

### 5. Referencias

- [1] P. Yang, O. Amft, Y. Gao, and L. Xu, "Special Issue on The Internet of Things (IoT): Informatics Methods for IoT-enabled Health Care," *J. Biomed. Inform.*, vol. 63, no. 2016, pp. 404–405, 2016.
- [2] M. S. Hossain and G. Muhammad, "Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) - Enabled framework for health monitoring," *Comput. Networks*, vol. 101, pp. 192–202, 2015.
- [3] S. D. Shapiro, "Transformational Healthcare Models," *Inflamm. Bowel Dis.*, vol. 22, no. 8, pp. 1984–1985, 2016.
- [4] A. Santos, J. Macedo, A. Costa, and M. J. Nicolau, "Internet of Things and Smart Objects for M-health Monitoring and Control," *Procedia Technol.*, vol. 16, pp. 1351–1360, 2014.
- [5] B. A. Kalbag and G. Silverman, "Enriching Business Processes through Internet of Everything," *Cisco Syst. Inc.*, no. June, pp. 1–15, 2014.
- [6] Polycom, "New Healthcare Vision Collaborative video solutions improving care and reducing cost," California, U.S., 2014.
- [7] Avaya, "Avaya Surge IoT Solution Solution Brief," California, U.S., 2017. [https://www.avaya.com/en/documents/avaya\\_surge\\_iiot\\_solution\\_dn7829.pdf](https://www.avaya.com/en/documents/avaya_surge_iiot_solution_dn7829.pdf)
- [8] S. Al-Janabi, I. Al-Shourbaji, M. Shojafar, and S. Shamshirband, "Survey of main challenges (security and privacy) in wireless body area networks for healthcare applications," *Egypt. Informatics J.*, 2016.



## Gestión de valor en la distribución turística: resultados preliminares desde la valoración de *e-readiness* aplicados en Cuenca – Ecuador

### Tourism distribution value management: preliminary studies of *e-readiness* evaluation applied in Cuenca - Ecuador

Juan Pablo Vázquez Loaiza <sup>1\*</sup>, Glicería Petrona Gómez Ceballos<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Grupo de Investigación Gestión de las Mipymes (GIGMP), <sup>1,2</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

\*Autor de correspondencia: [jvazquez@ups.edu.ec](mailto:jvazquez@ups.edu.ec)

**RESUMEN**— Desde la incursión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), los entornos de gestión empresarial se vieron transformados y encontraron beneficios como la disminución de costos y la automatización de procesos operativos. En el contexto de la actividad turística, dicha realidad no ha sido la excepción, pues gracias al Internet e infraestructuras propias como los sistemas de distribución global, se ha impulsado la explotación del comercio electrónico y se ha afectado la cadena de valor. Situación que ha fomentado una relación directa entre los actores de la oferta y la demanda, disminuyendo la participación de los intermediarios tradicionales, que a su vez enfrentan el mercado juntamente con los distribuidores digitales. La investigación presenta el producto preliminar del cálculo de E-readiness para la Gestión de Distribución Turística (EGDT) como resultado de una propuesta metodológica que, orientada en la creación de valor como hilo conductor para el desarrollo de las localidades turísticas, fuera delineada por el Grupo de Investigación para la Gestión de las Mipymes a través de un proceso de normalización y agregación de indicadores multivariantes. Entre los hallazgos encontrados se evidencia que las empresas distribuidoras turísticas de Cuenca, mismas que fueran objetos de estudio, presentan falencias en cuanto al uso de las tecnologías digitales, principalmente en el horizonte del modelo de negocio empresa-a-consumidor (B2C), y que de manera general no se encontrarían preparadas para afrontar la re-intermediación.

**Palabras clave**— *Distribución turística, cadena de valor, e-readiness, gestión de valor, TIC.*

**ABSTRACT**— Since the incursion of Information and Communication Technologies (ICT), business management environments have been transformed there have been benefits such as cost reduction and the automation of operational processes. In the context of the tourism industry, this reality has not been the exception. Thanks to the Internet and its own infrastructures such as global distribution systems, the electronic commerce has been boosted and the value chain has been affected. This situation has encouraged a direct relationship between the supply and demand actors, diminishing the participation of traditional intermediaries, who are also dealing with digital distributors. The research presents the preliminary product of e-readiness evaluation for the management of tourism distribution, as a result of a methodological proposal that, guided in the value creation as a guiding thread for the development of tourist localities, was outlined by the Grupo de Investigación para la Gestión de las Mipymes (GIGMP) through a standardization and aggregation process of multivariant indicators. Among the findings, it is evident that the tourism distribution companies of Cuenca, which were objects of study, present shortcomings in the use of digital technologies mainly in the horizon of the business-to-consumer (B2C), and are they would not be prepared to face re-intermediation.

**Keywords**— *Tourism distribution, value chain, e-readiness, value management, ICT.*

### 1. Introducción

La penetración de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en los ámbitos empresariales, ha impulsado el desarrollo de nuevas prácticas en los horizontes de la gestión. A partir de la globalización de la información, el acceso a Internet y la expansión acelerada de las redes sociales, que fomentan la interactividad entre los oferentes y los consumidores, se desarrollaron actividades diversas que mejoran la calidad del servicio e incentivan la generación de conocimiento organizacional.

Por lo tanto, desestimar el valor producido por su intermedio, hace que las empresas se cuestionen sobre

su permanencia en el mercado a corto y mediano plazo, pues la adaptación tecnológica y la generación de conocimiento son aspectos trascendentales que deben llevarse de la mano en las estrategias económicas y de desarrollo [1].

Así, estudiar el reconocimiento y preparación digital, conceptualizado como *e-readiness*, y cuyas definiciones aportadas por autores [2] [3] [4] convergen en reconocer las capacidades de un contexto en cuanto a infraestructura, explotación de Internet y su repercusión en las economías. Resulta ser un hito básico para la propuesta de proyectos y estrategias transformadoras

que incentiven, por ejemplo, al mejoramiento de las pequeñas y medianas empresas [5] [6].

Más aún cuando en su gran mayoría los estudios de *e-readiness* han sido llevados a cabo a una escala macro que reconoce la realidad de los países, pero que han hablado poco de los escenarios meso y micro [7] [8], espacios a través de los cuales se hace necesario un ordenamiento de adaptación tecnológica que responda a circunstancias y características específicas, como por ejemplo el caso particular del turismo y dentro de este la generación de valor en la gestión de distribución.

Desde el contexto del turismo, la incursión de las TIC no ha quedado relegada. Ya desde 1998 éstas se percibieron como una oportunidad para la reingeniería, especialmente en los procesos de distribución [9], que posteriormente debieron afrontar el acometimiento de los distribuidores electrónicos [10], situación que puso a relucir la preocupación por competitividad del mercado a los intermediarios tradicionales.

Por otro lado, si bien la globalización ha facilitado el acceso a las TIC, y la penetración de Internet en la sociedad no se detiene. Aún existen brechas que desde el ámbito tecnológico permiten identificar escenarios de pobreza digital [12] que deben ser entendidos, caso como el desaprovechamiento de sus alternativas para el beneficio dentro de un entorno particular.

Adicionalmente, dicha problemática se profundiza en el hecho de que gracias a las TIC los partícipes de la oferta encontraron medios cómodos y convenientes para interactuar de manera rápida y directa con los turistas [9] [11] [13] [14]. Relegando de alguna manera la actividad de los distribuidores tradicionales, quienes sostienen su participación en el mercado gracias a la oferta de servicios complementarios y centrados en una dinámica que, desde la gestión de valor, promuevan el desarrollo personalizado del producto turístico. Para lo cual las tecnologías digitales si resultan convenientes, en tanto se exploten las herramientas para captura de datos y su diligencia en procesos de inteligencia.

En este sentido, y en aprovechamiento del concepto de *e-readiness*, se ha propuesto a través del Grupo de Investigación de Gestión de las Mipymes (GIGMP), una metodología que contribuya a reconocer la preparación tecnológica que las agencias de viaje presentan en cuanto a la gestión de distribución con enfoque de valor. La práctica responde a la necesidad de determinar si precisamente, los intermediarios turísticos, explotan las TIC con propósitos de inteligencia que trascienden más allá del simple hecho de montar una infraestructura para la comunicación y la promoción, pues el hecho supone

que el análisis de los datos de la oferta y la demanda contribuye a la toma de decisiones. Y mientras claramente no se reconozcan las deficiencias o debilidades al respecto, no es posible delinear estrategias genéricas para el beneficio, tanto de la distribución, como de la cadena de valor en sí.

De esta suerte entonces, mediante la fusión de las TIC y los procesos de distribución, la investigación se centra en preparar un escenario de *e-readiness* a nivel micro, que se derive hacia la cuestión del valor, misma que en el turismo se reconoce como las acciones que se desarrollan con el propósito de mejorar la experiencia del turista [15] [16], en donde las tecnologías digitales aportan significativamente [17].

Por lo tanto, el trabajo que aquí se presenta, responde a un proceso investigativo que trasciende desde la transformación de la cadena de valor turística a partir de dos ejes conceptuales. El primero que reconoce un panorama de interacción entre los actores de oferta, de intermediación y demanda, con la finalidad de que sean integrados mediante el manejo de valor como hilo conductor para una gestión en beneficio de una localidad [18] y confluyan en la asimilación de la complejidad del turismo en cuanto a su actividad económica [19]. Mientras que un segundo fundamento considera las TIC como elemento y medio facilitador de los procesos de gestión de distribución.

Así que, con la finalidad de elaborar una alternativa que contribuya a generar valor en la distribución turística a través de las TIC y promueva la co-creación de conocimiento para la innovación de productos, se llevó a cabo una investigación que puso a prueba la propuesta metodológica de medición multivariante para *e-readiness*. En ésta se integró a los intermediarios turísticos y el valor creado mediante modelos de gestión empresa-a-consumidor (B2C), empresa-a-empresa (B2B) y gestión interna (GI). Cuyos resultados de aplicación son presentados posterior al estudio empírico realizado en la ciudad de Cuenca del Ecuador, un patrimonio cultural de la humanidad con alto potencial turístico.

## 2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en apego a las características metodológicas que se revisan a lo largo de este apartado.

### 2.1 Espacio muestral

El estudio de campo administrado para la puesta de prueba del proceso metodológico que permita reconocer

el E-readiness de Gestión para la Distribución Turística (EGDT) bajo enfoques de valor, se llevó a cabo a través de un procedimiento de muestreo probabilístico que seleccionó un total de 77 empresas de distribución registradas en un inventario de 92, de acuerdo con el catastro proporcionado por el Ministerio de Turismo del Ecuador según actualización al año 2016. El tamaño muestral fue calculado a través del programa Decision Analyst Stats, reconociendo un error máximo aceptable del 5% y un nivel de confianza del 95%.

## 2.2 Recolección de datos

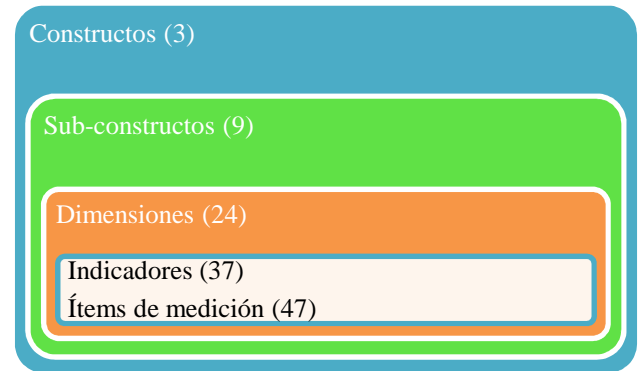
La tarea se llevó a cabo entre el 8 de mayo y el 16 de junio del 2017 a través de dos fases:

La primera que aplicó una encuesta estructurada a miembros del *staff* administrativo de las empresas, cuyo propósito se centró en la recopilación de valores internos asociados al aprovechamiento de las TIC y que se midieron a través de escalas nominales no numéricas e intervalos, tanto continuos como discretos.

La segunda fase se enfocó en descubrir el aprovechamiento de plataformas digitales. Para lo cual se diseñó una ficha de medición, asimismo con escalas nominales no numéricas e intervalos continuos y discretos, que facilitaron el desarrollo de una observación estructurada en aprovechamiento de las estadísticas de acceso libre que proporcionan las redes sociales Facebook, Instagram, Flickr y Pinterest. Además de la explotación a las funcionalidades de las herramientas Similarweb y WebSite Grader, mismas que contribuyeron con información para la valoración de los websites de los objetos estudiados.

## 2.3 Definiciones metodológicas

Los datos recolectados a través de las encuestas y las fichas de medición fueron ordenados en una estructura multivariante conforme la naturaleza diseñada para la valoración del EGDT. Estructura que contempla varios niveles de abstracción conforme se indica en la figura 1 y que fuera dispuesta según la operacionalización de variables latentes y observadas, para su explicación mediante indicadores compuestos a través de requisitos observados para la medición de *e-readiness* [20].



**Figura 1.** Estructura de medición EGDT.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los números entre paréntesis indica la cantidad de elementos estudiados en cada nivel.

Al nivel de constructos están representados los horizontes de gestión para la distribución turística, en donde se han de reconocer: a) horizonte empresa-a-cliente (B2C) que describe los elementos tecnológicos necesarios para la interacción entre los intermediarios y los turistas, b) horizonte empresa-a-empresa (B2B) en donde se explican los componentes facilitadores de la relación entre el distribuidor y los actores de la oferta o *stakeholders* interorganizacionales, y c) el horizonte de gestión interna (GI) que está representado por las unidades tecnológicas que promueven la generación de conocimiento y la innovación para productos y servicios.

Desde el entorno de los sub-constructos mostrado en tabla 1 se identifican las extensiones tecnológicas que explican a los constructos y se organizaron en consideración de afinidad en cuanto a infraestructura funcional.

**Tabla 1.** Sub-constructos para EGDT

Constructo	Sub-constructo
B2C	Canales móviles
	Redes Sociales
	Infraestructura on-line
	Infraestructura en sitio
B2B	Infraestructura de apoyo
GI	Infraestructura de red
	Infraestructura transaccional
	Infraestructura de usuario
	Infraestructura de inteligencia

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de dimensiones detalladas en la tabla 2 se reconocen explícitamente las alternativas de TIC que facilitan la funcionalidad de los sub-constructos.

**Tabla 2.** Dimensiones para EGDT

Dimensiones
Servicios de mensajería instantánea
Sistemas y/o aplicaciones de posicionamiento global
Redes sociales fotográficas
Redes sociales generalistas
Website empresarial
Sistemas de reservas en línea
Sistemas de pago en línea
Servicio de chat
Servicios de correo electrónico
Redes inalámbricas
Sistemas inalámbricos para transmisión de datos móviles
Sistemas web para gestión entre empresas
Sistemas globales de distribución
Red de Área Local
Comunicación vía Internet
Sistemas facturación y/o facturación electrónica
Sistemas informáticos contables
Herramientas para gestión de eventos, agendas y calendarios
Hojas de cálculo
Procesador de palabras
Servicios de almacenamiento de datos virtuales
Herramientas para analítica de redes sociales
Herramientas para analítica transaccional
Herramientas para analítica web y móvil

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente nivel representado en la tabla 3, corresponde a los indicadores del aprovechamiento tecnológico, y permiten la explicación cualitativa y cuantitativa de las dimensiones tecnológicas a través una colección compuesta de ítems de medición que a su vez se detallan en la tabla 4.

**Tabla 3.** Indicadores para EGDT

Indicador
Publicidad Móvil
GPS móvil
Redes sociales fotográficas
Facebook
Uso de website corporativo
Rendimiento del website
Optimización móvil del website
SEO

Seguridad del website
Popularidad
Crecimiento
Permanencia
Sección comentarios
Videos
Catálogos
Interactividad
Plataforma de reservas
Reservas
Disponibilidad de pago con tarjeta crédito
Disponibilidad de pago vía Pay Pal
Uso de chat
Aprovechamiento de email
Wi-Fi
Interfaces inalámbricas para transferencia móvil
Uso sistemas web de gestión interorganizacional
Uso de sistemas globales de distribución
Tamaño de la red
Ancho de banda
Uso de sistemas de facturación
Uso de sistemas contables
Herramientas de programación colaborativa
Uso de hojas de cálculo
Uso de procesadores de texto
Uso de servicios de almacenamiento virtual
Uso de herramientas analítica social
Uso de herramientas analítica transaccional
Uso de herramientas analítica web

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.** Ítems de medida para EGDT

Ítem
Número de mensajes enviados
Número de contactos
Localización en mapa
Número de redes sociales detectadas
Promedio de seguidores
Promedio de publicaciones
Fan page detectada
Número de personas que hablan de la marca
Número de personas que visitan
Número de likes
Existencia de website oficial
Valoración de rendimiento del website
Valoración de optimización móvil del website
Valoración SEO del website
Valoración de seguridad del website
Número de visitas recibidas
Tasa de crecimiento de visitas
Tasa de rebote de visitas

Presencia de sección comentarios en website
Presencia de videos promocionales
Presencia de catálogo de productos / servicios
Opciones para interacción web
Acceso a plataformas de reservas
Número de reservas realizadas
Facilidad de pago para tarjeta de crédito
Facilidad de pago para Pay Pal
Acceso permitido para clientes
Tiempo promedio de respuesta
Número de incidencias
Uso de email
Uso de email corporativo
Uso de sección contáctanos en website
Acceso Wi-Fi para clientes
Acceso a sistemas inalámbricos móviles de transmisión
Disponibilidad de sistemas web de gestión interorganizacional
Nivel de uso de DGS
Número de equipos conectados
Velocidad de conexión contratada
Implementación de sistemas de facturación
Implementación de sistemas contables
Implementación de agendas virtuales colaborativas
Nivel de manejo de hojas de cálculo
Nivel de manejo de procesadores de texto
Nivel de uso de sistemas de almacenamiento virtual
Nivel de uso de herramientas de analítica social
Nivel de uso de herramientas de analítica transaccional
Nivel de uso de herramientas de analítica web

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 Propuesta metodológica de medición

Posterior a la recolección de los datos para la medición realizados a través de procesos de observación y encuestas, en consideración que el instrumento se compone por segmentos de valoración a través de una estructura multivariante, se llevó a cabo la medición final de EGDT en una metodología basada en contemplación de los requisitos para indicadores compuestos para *e-readiness* [20].

El procedimiento inició por la conformación de una matriz de medición (MM) de tamaño (O x T), en donde O representa el número de objetos estudiados, y T el número de ítems. A partir de ésta se siguió una secuencia de pasos que se resumen en tres movimientos.

### 2.4.1 Movimiento 1. Normalización de datos

Construyó una segunda matriz (MN) con ítems normalizados, de dimensiones (O x I), en donde O corresponde al número de objetos estudiados, e I al

número de ítems normalizados. Los valores (V<sub>OI</sub>) se obtuvieron en base a las recomendaciones aportadas en [6], pero que adicionalmente adaptó particularidades para la normalización de datos de escalas nominales dicotómicas y politómicas. Por lo tanto, se realizó:

- Para los ítems de escalas continuas o discretas: la asignación de valores 1, 2, 3, 4 o 5, en orden ascendente o descendente según la naturaleza del mismo, conforme ubicación en los intervalos contruidos cuyos límites superiores e inferiores estuviesen entre los máximos y mínimos registrados para cada ítem en todos los objetos de estudio.
- Para los ítems de escalas nominales dicotómicas: la asignación del valor de 5 a aquellos cuya medición consideró presencia de valor (1) y 1 para el caso contrario (0).
- Para los ítems de escala nominal politómica en 5 categorías: el traspaso de su correspondiente medida según valor medido.

### 2.4.2 Movimiento 2. Agregación de medidas

Que a partir de los datos normalizados, agregó los mismos en orden de indicadores, dimensiones, sub-constructos y constructos a: a) una tercera matriz de indicadores (MI<sub>d</sub>) de tamaño (O x I<sub>d</sub>), en donde I<sub>d</sub> corresponde al número de indicadores, b) una cuarta matriz de dimensiones (MD) para un tamaño (O x D), en donde D es el número de dimensiones, c) una quinta matriz de sub-constructos (MSC) para un tamaño (O x SC), sabiendo que SC es el número de sub-constructos, d) una sexta y última matriz de constructos (MC) de tamaño (O x C), en donde C es el número de constructos.

Las cantidades contenidas en cada matriz y que se reconocen respectivamente como A<sub>Old</sub> para las medidas de la matriz de indicadores, B<sub>OD</sub> a las correspondientes de la matriz de dimensiones, H<sub>OSC</sub> para los de la matriz de sub-constructos y J<sub>OC</sub> para aquellos de la matriz de constructores; fueron calculadas a través de sus medias aritméticas.

### 2.4.3 Movimiento 3. Cálculo de EGDT

Calculó un valor de *e-readiness* para cada objeto de estudio, mismo que se computó mediante la sumatoria del producto de cada J<sub>OC</sub> y su correspondiente factor de ponderación (W) a través de la ecuación 1 mostrada.

$$EGDT_{O} = \sum_{1}^{E} J_{OE} W_{E} \quad (1)$$



En donde:

$EGDT_O$  = Valor *e-readiness* del objeto estudiado

E = número de constructo

J = valor del constructo en la matriz (MC)

W = factor de ponderación del constructo

### 3. Resultados

La aplicación de la propuesta metodológica permitió conocer el EGDT de las 77 empresas estudiadas, explicando a través de cada una de las matrices de medición el detalle de indicadores, dimensiones, sub-constructos y constructos. Resultados que se analizan y discuten a continuación.

#### 3.1 E-readiness para la gestión de distribución turística de las empresas de Cuenca

Obedecidos los pasos delineados en la propuesta metodológica, posterior al procesamiento de los valores ponderados para los constructos que se exponen en la tabla 5, convenidos mediante acuerdo de expertos, se obtuvo la medición para cada una de las empresas. La misma se representa en la tabla 6 y se describe estadísticamente en la tabla 7, además que se representa en el histograma de la figura 2.

**Tabla 5:** Factores de ponderación

Constructo	Peso de ponderación
B2C	44,50%
B2B	31,00%
GI	24,50%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los pesos se calcularon mediante la media aritmética de los valores proporcionados por 16 expertos.

**Tabla 6.** EGDT calculado en empresas de distribución turística

Empresa	EGDT Calculado
Actuality Travel	2,22
Aequorian touring	3,23
All Tours	3,26
Alma Paca	2,70
Andi Viajes	2,96
Apullacta Expediciones	3,47
Arena Viajes	2,40
Arutam Ecotours	3,59
Austro Tours	2,66
Avilés WTS	3,01
Ayax Travel	2,13
Bestours Ecuador	2,71

Empresa	EGDT Calculado
Boom Travel	3,10
Boon route	2,52
Boussole Viajes	3,04
Candoga Viajes	2,55
Cuenca Andes Tours S.A	2,30
Cazhuma Tours	2,67
Concierge Travel	2,80
Conexion Touring	2,26
Corpo Viajes	2,70
Cuatro Ríos Cuariviajes	2,03
Cuenca Turs	3,01
Deltravel Cia.Ltda	2,64
Destino Tours	2,44
Discovery Travel	3,08
Ecuamazing Travel Cia. Ltda.	2,78
Elite Tours	1,78
Faviztours	2,07
Fly Travel	2,46
Galaecuators	3,09
Globo Excursiones	2,35
Golden Vacations	3,48
Guiatours S. A	2,32
HDP	2,51
Hualambari Tours	2,62
Inspiración viajes y turismo	2,76
Intercontinental Travel Group	2,47
Irma's Tours	3,38
Kabila tours	2,90
Kemtours	3,71
Magic Tours	2,11
Metropolitan Touring	2,61
Mompo travel	3,29
Novatravel	2,98
Operazuay	2,10
Ordoñez Travel	2,73
Pazhuca Tours	3,75
Polylepis tours	2,70
Pro & Turis	3,24
Punto Travel	3,31
Ramtour	2,02
Regala Tour	3,00
River Tour Ecuador	2,54
Ruta del Valle	2,40
Rutas y Rostros	3,18
Ruteros Travel	2,56
S3expeditions	2,98
Seitur	2,31
Semartours	2,05
Senderos andinos	2,86
Soleil Viajes	2,59
South Land Touring	3,42

Empresa	EGDT Calculado
Surviajes	3,35
Take off Travel	2,49
Tempus	2,08
Terradiversa	3,78
Tinamu	2,50
Trans viajes	2,23
Travel With Me	2,04
Turisa	2,82
V & Tours	2,55
Viajes Santana	2,85
Vivatra	2,58
Vive Viajes Cia. Ltda.	3,27
Vive Ecuador	2,72
Volare	2,18

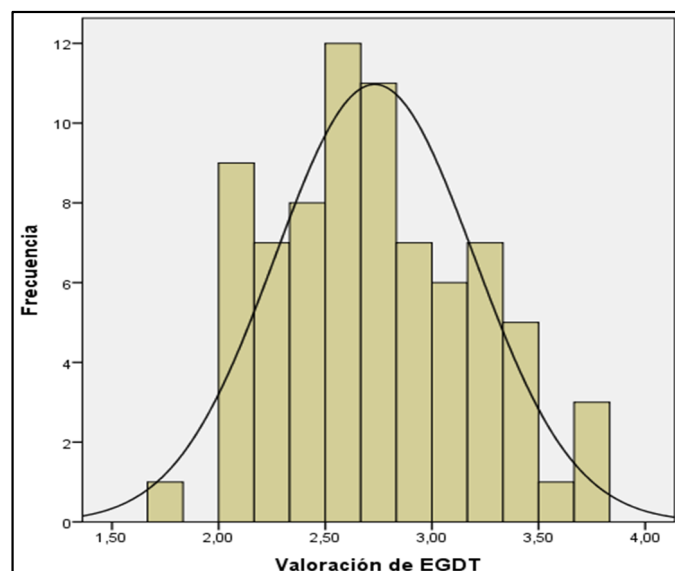
Fuente: Elaboración propia.

Nota: La escala EGDT proporciona información al respecto de la preparación tecnológica, en donde 5 es el valor óptimo por alcanzarse.

**Tabla 7.** Estadísticos descriptivos de la medición

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
EGDT	77	1,78	3,78	2,73	,46659
N válido (por lista)	77				

Fuente: Elaboración propia. SPSS versión 23.



**Figura 2.** Histograma y distribución normal de la medición

Fuente: Elaboración propia. SPSS versión 23.

### 3.2 Análisis de la medición

La valoración de *e-readiness* provee argumentos de análisis para comprender y describir los entornos estudiados. En el caso de las empresas distribuidoras turísticas cuencanas que se analizaron, se logra reconocer cuáles son, en un sentido particular y general, las fortalezas y debilidades tecnológicas dentro de un escenario de creación de valor para la gestión.

Por lo que, derivado de la agregación de los datos, se facilita el estudio de cada uno de los niveles de medición y que se analizan a continuación.

#### 3.2.1 Análisis de indicadores

La tabla 8 representa la realidad a nivel de indicadores. En ella se muestra el valor medio obtenido entre los objetos estudiados y la distancia hacia el valor máximo ideal (5). Se destacan entre las empresas estudiadas: a) dentro del horizonte GI, el indicador que corresponden al aprovechamiento de sistemas transaccionales contables que alcanza una media igual al valor máximo, y dentro de su correspondiente dimensión (Infraestructura transaccional), el uso de sistemas contables con un valor de 4,06, b) en el horizonte B2B, el indicador relacionado al uso de los GDS, que obtiene un valor medio de 4,84.

De manera general se aprecia que, aunque las tendencias mundiales sustentan que las empresas adoptan tecnologías para el aprovechamiento de los canales móviles y el desarrollo de inteligencia de negocios [21], las empresas turísticas cuencanas aún están alejadas de dicha realidad. Suceso que se confirma al observar los indicadores del horizonte B2C, desde los cuales, el valor medio calculado corresponde a un valor bajo de 2 puntos.

También se distingue que la explotación de redes sociales no ha sido una constante en cuanto a las prácticas tecnológicas aprovechadas por las empresas distribuidoras estudiadas, pese a que, a través de éstas en la industria del turismo, la información compartida y elementos multimedia ayudan a la promoción de los destinos turísticos y la captación de mercado [22]. Además, que permiten la interacción entre la demanda y el establecimiento [23] juntamente con los websites, que también reciben una calificación media despreciable en las empresas. Por lo cual, el entorno de distribución estudiado estaría desaprovechando el reconocimiento de información de cliente y posiblemente la oportunidad de venta [21].

**Tabla 8.** Análisis de EGDT para indicadores

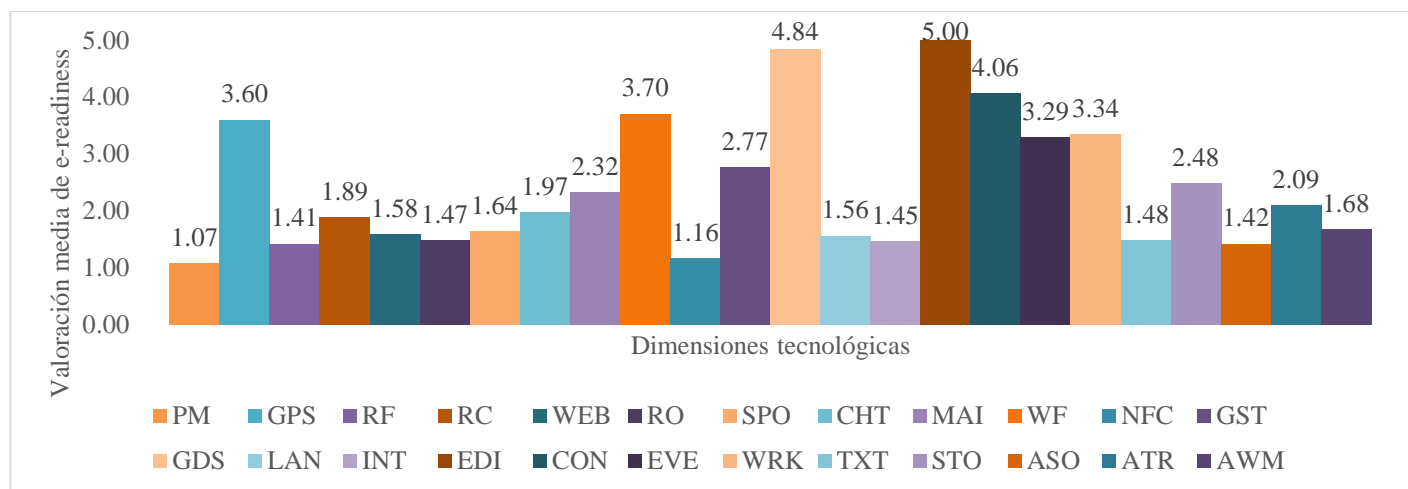
Indicador	Media	Distancia (Media -5)
Publicidad Móvil	1,07	-3,93
GPS móvil	3,60	-1,40
Redes sociales fotográficas	1,41	-3,59
Facebook	1,89	-3,11
Uso de website corporativo	2,30	-2,70
Rendimiento del website	1,05	-3,95
Optimización móvil del website	1,62	-3,38
SEO	1,56	-3,44
Seguridad del website	1,18	-3,82
Popularidad	1,13	-3,87
Crecimiento	1,17	-3,83
Permanencia	1,45	-3,55
Sección comentarios	1,78	-3,22
Videos	1,86	-3,14
Catálogos	2,14	-2,86
Interactividad	1,70	-3,30
Plataforma de reservas	1,88	-3,12
Reservas	1,06	-3,94
Disponibilidad de pago con tarjeta crédito	1,73	-3,27
Disponibilidad de pago vía Pay Pal	1,55	-3,45
Uso de chat	1,97	-3,03
Aprovechamiento de email	2,32	-2,68
Wi-Fi	3,70	-1,30

Indicador	Media	Distancia (Media -5)
Interfaces inalámbricas para transferencia móvil	1,16	-3,84
Uso sistemas web de gestión interorganizacional	2,77	-2,23
Uso de sistemas globales de distribución	4,84	-0,16
Tamaño de la red	1,56	-3,44
Ancho de banda	1,45	-3,55
Uso de sistemas de facturación	5,00	0,00
Uso de sistemas contables	4,06	-0,94
Herramientas de programación colaborativa	3,29	-1,71
Uso de hojas de cálculo	3,34	-1,66
Uso de procesadores de texto	1,48	-3,52
Uso de servicios de almacenamiento virtual	2,48	-2,52
Uso de herramientas analítica social	1,42	-3,58
Uso de herramientas analítica transaccional	2,09	-2,91
Uso de herramientas analítica web	1,68	-3,32

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1 Análisis de dimensiones

En la figura 3 se observa la disposición de medidas calculadas por dimensiones, permitiendo una comparativa a partir de los valores medios obtenidos en las empresas.



**Figura 3.** Valoración media por dimensiones tecnológicas.

Fuente: Elaboración propia.

Entiéndase: PM=Publicidad móvil, GPS=Sistemas de posicionamiento global, RF=Redes sociales fotográficas, RC=Redes sociales generalistas, WEB=Website, RO=Sistemas de reserva en línea, SPO=Sistemas de pago en línea, CHT= Servicios de chat, MAI=Servicio de mail, WF=Redes inalámbricas, GST=Sistemas de gestión interorganizacional, GDS=Sistemas globales de distribución, LAN=Red de área local, INT=Internet, EDI=Sistemas de transferencia de datos móviles, CON=Sistemas contables, EVE=Herramientas colaborativas para agendamiento y eventos, WRK=Hojas de cálculo, TXT=Procesadores de texto, STO=Servicios de almacenamiento en línea, ASO=Herramientas analíticas sociales, ATR=Herramientas analíticas transaccionales, AWM=Herramientas analíticas web y móvil.

Entre los datos que llaman la atención al respecto, destaca que el aprovechamiento de Internet es una de las dimensiones menos valoradas (1,45), inclusive por debajo del uso de herramientas ofimáticas. Situación que podría despertar interés de preocupación para las empresas dado que en el modelo de gestión de valor, este es considerado un componente fundamental ya que es patrocinador para la integración de servicios virtuales como los propios GDS, las redes sociales, los dispositivos móviles y la integración de infraestructura. Además, porque es la base para implementación de servicios web y cloud computing, mismos que promueven los procesos de inteligencia sobre la información [25] que, entendido desde el ámbito del turismo, pudiera ser trascendental para el análisis de comportamientos y tendencias, y por ende a la innovación de productos.

### 3.2.1 Análisis de constructos y sub-constructos

Más allá del análisis realizado de los indicadores, las figuras 4 y 5 que se construyeron también sobre los valores promedio, corroboran el funcionamiento metodológico diseñado permitiendo estudiar el escenario tecnológico del contexto a partir de niveles generales. De este orden se evidencia que el sector turístico estudiado, representado por las 77 empresas, ha priorizado la infraestructura tecnológica a partir del nivel B2B, comprobando hipotéticamente que las empresas mayoristas son quienes impulsan la adaptación tecnológica [26].

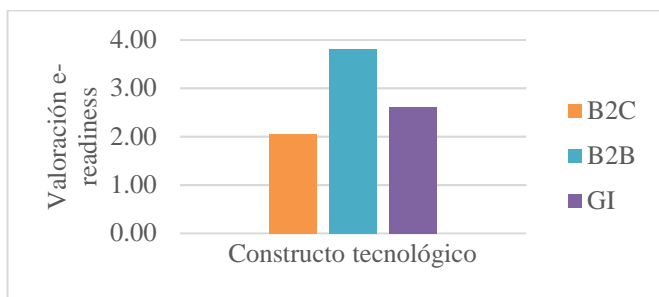


Figura 5. Análisis de constructos.

Fuente: Elaboración propia.

B2C= Modelo de negocios empresa a consumidor, B2B= Modelo de negocios empresa a empresa, GI= Modelo de negocios de gestión interna.

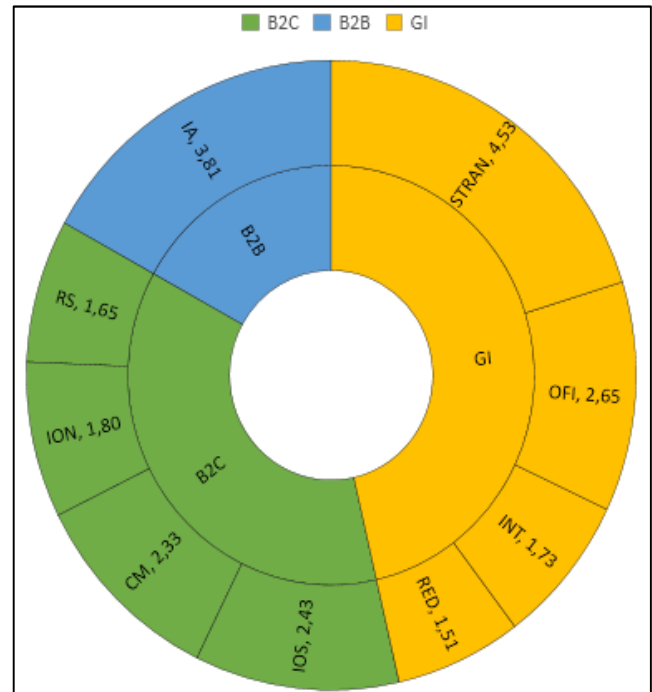


Figura 4. Análisis de sub-constructos.

Fuente: Elaboración propia.

De adentro hacia afuera en sentido horario: B2C= Modelo de negocios empresa a consumidor, B2B= Modelo de negocios empresa a empresa, GI= Modelo de negocios de gestión interna, IOS= Infraestructura física en sitio, CM= Canales móviles, ION= Infraestructura on-line, RS=Redes sociales, IA= Infraestructura de apoyo, STRAN=Infraestructura transaccional, OFI= Infraestructura de usuario, INT= Infraestructura de inteligencia, RED= Infraestructura de red.

## 4. Conclusiones

Una vez concluida la investigación, ésta permite establecer observaciones tanto a la propuesta metodológica, como al contexto *e-readiness* de la distribución turística en la ciudad de Cuenca y una orientación hacia la gestión de valor.

#### 4.1 Sobre la propuesta metodológica

Gracias al proceso de normalización se logró dotar un carácter de homogeneidad a los datos ya que, a través de la medición reconocida en la recolección de las encuestas y la ficha de medición, se advirtió una variedad de escalas y una alta dispersión de los mismos.

Por otro lado, la propuesta para el cálculo provee flexibilidad para la medición, de tal forma que ésta puede aplicarse a otros espacios muestrales sin que existan implicaciones de modificación. Además, entendiéndose que el planteamiento responde a un nivel micro de medición de *e-readiness*, este proporciona tolerancia para incrementar o disminuir ítems e indicadores, proporcionándose adicionalmente escalabilidad, característica que puede usarse para propósitos de monitoreo y transformación de la gestión de valor *a posteriori*.

#### 4.2 Sobre la realidad turística de distribución en Cuenca

Resulta evidente desde el escenario tecnológico que, las empresas distribuidoras turísticas no se encuentran preparadas para asumir las exigencias a través de los medios digitales, lo cual pone en evidencia un peligro lejano en cuanto la participación del mercado, ya que, el aprovechamiento de Internet y la explotación de comercio electrónico abrirán paso a las agencias de viajes virtuales [27].

#### 4.3 Sobre la gestión de valor

Si bien los resultados evidencian que las alternativas tecnológicas están concentradas en los horizontes B2B y GI, dejando en menor grado a la gestión B2C; la metodología no encuentra fundamentos de tipo relacional. De esta manera no se puede demostrar que el valor en la gestión está dado por la innovación de productos y/o servicios, sustentados a través de la gestión de conocimiento como ventaja competitiva [28].

Tampoco se puede asegurar que dicha realidad está derivada del reconocimiento de las acciones desarrolladas por los actores de la oferta y la demanda. Sin embargo, la contribución de la investigación marca un hito inicial desde el contexto del *e-readiness* a nivel micro y especialmente del turismo puesto que, hasta la fecha de realización de la investigación, no se detectaron estudios relacionados y menos que incluyan a la gestión de valor de la manera en la que aquí ha sido tratada.

En consecuencia, posterior al estudio realizado y considerando que la EGDT se convierte en una metodología valorativa, resulta necesario abrir líneas de investigación en el sentido de: a) profundizar la exploración de las causas que, desde los propios actores de la distribución, se reconozcan en cuanto a las barreras que consienten las empresas para la adopción tecnológica a fin de, b) establecer un estudio correlacional que contribuya a representar el impacto de la EGDT, tanto en la innovación de productos, como en el mejoramiento de la actividad comercial, que dados estos factores c) se podrían estudiar las estrategias viables para el desarrollo del proceso de gestión de distribución del turismo a fin de incorporar al mismo, el aprovechamiento de las tecnologías en función de generar mayores aportaciones de valor a la actividad.

Fundamentos que en conjunto contribuyan a la propuesta de proyectos tecnológicos para la gestión y el incentivo del comercio electrónico en la distribución turística local, su integración con la oferta y la demanda, y el empuje evolutivo en cuanto a gestión del turismo.

#### 5. Referencias

- [1] L. Muñoz y P. Pitti. "Generación y análisis de indicadores del uso de las TIC en PyMEs Agroindustriales." RIDTEC, vol. 12, n° 2, pp. 118-129, 2016.
- [2] N. Choucri, V. Maugis, S. Madnick y M. Siegel. "Global E-readiness - for what?," Group for Globalization of e-Business, Center for eBusiness at MIT. 2003.
- [3] C. Koh, K. Nam, V. Prybutok y S. Lee. "A value chain perspective of internet practices, e-readiness and organizational performance: A comparison of US and South Korean firms," Industrial Data & Management Systems, vol. 107, n° 4, pp. 519-536, 2007.
- [4] S. M. Mutula. Digital economies: SME and e-readiness, New York: Business Science Reference, 2010.
- [5] T. X. Bui, S. Sankaran y I. M. Sebastian. "A framework for measuring national e-readiness." International Journal of Electronic Business, vol. 1, n° 1, pp. 3-22, 2003.
- [6] W. Hung, L. Chang, C. Lin y C. Hsiao. "e-readiness of website acceptance and implementation in SMEs." Computers in Human Behavior, n° 40, pp. 45-55, 2014.
- [7] K. Mohitmafí y P. Hanafizadeh. "A selection framework of e-Business model by assessing organizational e-readiness," en 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, 2016.
- [8] D. Dada. "E-readiness for developing countries: Moving the focus from the environment to the users." EJISDC, vol. 27, n° 6, pp. 1-14, 2006.
- [9] D. Buhalis. "Strategic use of information technologies in tourism industry." Tourism Management, vol. 19, n° 5, pp. 409-421, 1998.

- [10] D. Buhalis y M. Licata. "The future eTourism intermediaries." *Tourism Management*, nº 207-220, pp. 207-220, 2002.
- [11] M. Barnett y C. Standing. "Repositioning travel agencies on the internet." *Journal of Vacation Marketing*, vol 7, nº 2, pp. 143-152, 2001.
- [12] R. Barrantes. "Pobreza digital: análisis de la demanda por TICs: ¿Qué es y cómo medir la pobreza digital?." 2007.
- [13] P. Walters. "Adding value in global B2B supply chains: strategic directions and the role of the Internet as a driver of competitive advantage." *Industrial Marketing Management*, vol 37, pp. 59-68, 2008.
- [14] C. Berné, M. García-González, M.E. García-Uceda y J.M. Múgica. "Identificación y análisis de los criterios de cambio del sistema de distribución turístico asociados al uso intensivo de las tecnologías de la información y comunicación." *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 9, pp. 90-101, 2013.
- [15] M. Guijarro. "Estudio de la literatura y modelos de negocio de la implantación de CRM -modelo cliente céntrico- como enfoque estratégico condicionante de la ventaja competitiva en la PYME: Estudio empírico de la aplicación de un CRM -Modelo cliente céntrico- en agencias de viajes de viajes," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2009.
- [16] S. Menoya. "Modelo de gestión del turismo desde el gobierno local para municipios con vocación turística basado en el enfoque de cadena de valor," Tesis Doctoral, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, 2015.
- [17] M. Porter y V. Millar. "How information gives you competitive advantage." *Harvard Business Review*, vol. 64, nº 4, pp. 49-160, 1985.
- [18] G. Gómez, S. Menoya y M. Rodríguez. "La cadena de valor como hilo conductor de la investigación en los destinos turísticos." *Avances*, vol. 17, nº 3, pp. 239-250, 2015.
- [19] S. Menoya, G. Gómez, I. Pérez y L. Cándano. "Modelo basado en enfoque de cadena de valor para gestión del turismo desde el gobierno local en municipios con vocación turística." *Retos de la Dirección*, vol. 11, nº 1, pp. 172-204, 2017.
- [20] L. Rabii y D. Abdelaziz. "Comparison of E-readiness Composite Indicators," en *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, ISDA, Marrakech, Marruecos, 2016.
- [21] Barcelona Activa, "Telecomunicaciones y TIC. Informe sectorial 2013," 2013.
- [22] S. Salleh, N. H. Hashima y J. Murphy. "Instagram marketing: A content analysis of top malaysian restaurant brands." *e-Review of Tourism Research*, vol. 6, pp. 1-5, 2015.
- [23] D. C. Ukpabi y H. Karjaluoto. "Consumers' acceptance of information and communications technology in tourism: A review." *Telematics and Informatics*, vol. 34, nº 5, pp. 618-644, 2017.
- [24] C. Jones y M. Brunello. "E-readiness y adopción de e-commerce en micro pequeñas y medianas empresas cordobesas," en *IX Jornadas de docentes universitarios de sistemas y tecnología de la información*, Catamarca, 2014.
- [25] A. S. Zalazar, S. Gonnet y H. Leonel. "Especificación de requerimientos para sistemas que emplean servicios web en cloud computing," en *1er Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información (CoNaIISI 2013)*, Córdoba, 2013.
- [26] Amadeus. "Una mirada profunda hacia el mercado de las Agencias de Viajes Online en América Latina," agosto 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/CqxUak%20>. [Aug. 4, 2017]
- [27] N. Cabarcos. *Promoción y venta de servicios turísticos*, Vigo: Ideas propias, 2006.
- [28] L. Zuleyma. "La gestión de conocimiento como ventaja competitiva para las agencias de viajes y turismo" Tesis Doctoral, Universidad del Sur, 2010.

# Método fotogramétrico pragmático para medir desplazamientos en puentes

## Pragmatic photogrammetric method to measure displacements in bridges

Noé A. Serrano<sup>1\*</sup>, Brayán A. Zuñiga<sup>2</sup>, José M. Gallardo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Grupo de investigación: Salud Estructural de Puentes, <sup>1,2,3</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [jose.gallardo@utp.ac.pa](mailto:jose.gallardo@utp.ac.pa)

**RESUMEN**—En este artículo se presenta un método fotogramétrico para medir desplazamientos en puentes, utilizando una cámara digital y *software* de análisis de videos, como herramienta para la evaluación estructural de puentes. Este método permite registrar el desplazamiento vertical de los puentes, el cual es el parámetro más relevante para estimar la capacidad de los puentes, tanto durante pruebas de carga estáticas como durante el tráfico vehicular. El método propuesto es económico y sencillo, permite alta frecuencia de lectura (60 Hz), y ofrece medidas confiables, con errores de medición en el orden de 0.1 mm al medir desplazamientos y 0.01 Hz al estimar frecuencias de vibración. Este método es atractivo al compararlo con alternativas mayormente utilizadas actualmente, como los deformímetros de alta precisión, que requieren apoyarse en estructuras temporales costosas, o como los equipos de medición topográfica que cuentan con precisiones en el orden de 1 mm. El método fue validado mediante experimentación en especímenes de madera. Se demostró su uso práctico al implementarlo en el monitoreo de desplazamientos verticales, y la frecuencia de vibración principal, de cuatro puentes bajo la acción del tráfico regular.

**Palabras clave**— Puentes, desplazamiento, aceleración, frecuencia, vibración, fotogrametría.

**ABSTRACT**—This paper presents a photogrammetric method to measure displacement in bridges, using a digital camera and video analysis *software*, as a tool for the structural assessment of bridges. This method allows to record the vertical displacement of the bridges, which is the most important parameter to estimate the capacity of the bridges, both during static load tests and during vehicular traffic. The proposed method is economical and simple; allows high frequency of reading (60 Hz), and provides reliable measurements, with measurement errors in the order of 0.1 mm when measuring displacement and 0.01 Hz when estimating vibration frequencies. This system is attractive when compared to alternatives most commonly used today, such as high precision deformimeter, which requires support in costly temporary structures, or as topographic measuring equipment that have precisions in the order of 1 mm. The method was validated by experimentation on wood specimens. In its practical application, it was used to measure the vertical displacements, and the main vibration frequency, of four bridges under the action of regular traffic.

**Keywords**— Bridges, displacement, acceleration, frequency, vibration, photogrammetry.

### 1. Introducción

Los puentes se deterioran con el paso del tiempo, y es de vital importancia conocer su condición estructural, ya que el deterioro de los puentes en servicio puede generar desplazamientos o vibraciones excesivas, causando molestias en los usuarios y agudizando daños en elementos estructurales y no estructurales, o en el peor de los casos el colapso de la estructura. En las últimas décadas los métodos no destructivos para la detección de daños en estructuras civiles han ganado especial atención por parte de investigadores de todo el mundo, debido a los avances y disponibilidad de las tecnologías de instrumentación y de procesamiento digital [1].

La prueba de carga es el método más aceptado para estimar la capacidad de los puentes. El desplazamiento

vertical es uno de los parámetros más relevantes a medir durante las pruebas de carga. Algunas de las limitantes o dificultades relacionadas al uso de varios de los sistemas utilizados para medir el desplazamiento vertical de puentes son: la dificultad de instalación de sensores como las galgas extensiométricas en puentes existentes, la precisión en el orden de 1 mm que ofrecen las estaciones totales es relativamente baja para puentes cortos, y la dificultad de la instrumentación cuando se utilizan deformímetros (o comparadores).

Por otro lado, el impacto que genera el cierre del tráfico durante las pruebas de carga, hace deseable contar con métodos que permitan la medición del desplazamiento dinámico de puentes -información que se puede utilizar para estimar preliminarmente la salud estructural del puente- sin cerrar el tráfico [2]. Las

vibraciones son mayormente registradas por medio de acelerómetros; actualmente están disponibles acelerómetros económicos, cuya data ha sido utilizada exitosamente para determinar las frecuencias naturales de vibración de la estructura, con el fin de detectar cambios que pudieran estar relacionados con deterioro estructural [3]. Sin embargo, este método no ofrece una medida confiable de uno de los parámetros más relevantes, el desplazamiento, ya que la doble integración de la data obtenida de los acelerómetros económicos genera errores considerables. En este sentido se han realizado varias investigaciones que proponen métodos para la medición de desplazamientos dinámicos [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

En esta investigación se propone un método económico, de fácil instrumentación, con alta precisión y alta frecuencia de lectura, para la medición de desplazamientos en puentes. El método es útil para el monitoreo bajo tráfico regular, o para mediciones durante pruebas de carga dinámicas o estáticas. El método utiliza una cámara digital de alta resolución, una referencia sobre la estructura del puente y un programa computacional para procesar el video.

El método fue validado mediante pruebas estáticas sobre un espécimen de madera, en la cual se comparó los resultados del nuevo método versus los resultados de un deformímetro de alta precisión, obteniendo diferencias menores a 0.1 mm. Adicionalmente, se realizó pruebas dinámicas en donde se comparó las frecuencias de vibración obtenidas utilizando el método propuesto versus los resultados de la data captada por acelerómetros, obteniendo diferencias en el orden de 0.1 Hz.

Para ilustrar el uso práctico del método propuesto, se implementó sobre 4 puentes vehiculares, se monitoreó los desplazamientos verticales en el centro de los puentes bajo la acción del tráfico regular; así se obtuvo el desplazamiento máximo y la frecuencia de vibración de los puentes.

## 2. Revisión literaria

La deformación a la que se somete un puente durante las pruebas de carga, debe cumplir con la normativa AASHTO LRFD, la cual establece una deflexión máxima permitida de  $L/800$ , para el paso de carga vehicular en puentes de acero y/o concreto; donde  $L$  es la longitud del claro [14]. Determinar con gran precisión

los desplazamientos en los puentes, ha sido un problema difícil de resolver en la ingeniería civil, por esta razón se han realizado muchas investigaciones sobre este tema y se han aplicado numerosos métodos. Entre los equipos utilizados en los métodos más destacados están:

- Deformímetro (comparador) [15]: este tipo de instrumentos es preciso y de alta resolución, hasta de 0.001 mm; sin embargo, requieren instalarse en una plataforma que se apoye en terreno firme, lo cual puede ser extremadamente costoso o impráctico.
- Galgas extensiométricas [16]: se tienen que colocar en la estructura del puente y son afectadas por las condiciones ambientales.
- GPS vía satélite [17]: este equipo se ve afectado por el clima, y permite una frecuencia de medición muy baja.
- La estación total [13]: este dispositivo tiene precisión de aproximadamente 1 mm, y ha sido ampliamente utilizado en el control de desplazamiento en ingeniería. Su baja frecuencia de medición dificulta su uso durante el tráfico vehicular normal.
- Escaneo Láser 3D [18]: este método puede crear modelos complejos en 3D, y ha sido utilizado para estudiar el desplazamiento de estructuras masivas; sin embargo, la frecuencia de lectura es baja, y el postratamiento de datos es complicado.

En resumen, en la actualidad existe una amplia variedad de métodos para medir desplazamientos de estructuras, cada uno de ellos con sus ventajas y limitaciones. En los últimos años se han desarrollado nuevos métodos, para la detección de desplazamientos en puentes, basados en técnicas de fotogrametría para procesar videos, que contienen información del desplazamiento del puente.

Varios estudios han utilizado cámaras digitales y puntos marcados en las estructuras de interés [4, 6, 9, 11]; las cámaras se colocan fuera de la estructura, desde donde se graban los desplazamientos de los puntos. Técnicas de fotogrametría se utilizan para determinar el movimiento de los puntos en el video, el movimiento de los puntos representa el desplazamiento de la estructura. También, se ha demostrado que se puede obtener una alta precisión en pruebas laboratorio, obteniendo una precisión media de 0.1 mm [6]. En una prueba de carga sobre un puente, se estimó una desviación estándar del orden de 0.1 – 0.2 mm, comparando los resultados del



nuevo método con sensores electrónicos de medición de desplazamiento [4].

Algunos estudios han utilizado laser y cámaras digitales, junto con técnicas de fotogrametría para medir desplazamientos [5, 7, 8, 10]. Este método consiste en la colocación del láser en el punto de interés de la estructura y proyectar el haz de luz láser a una pantalla, donde se graba con la cámara digital. El movimiento del láser en la pantalla está relacionado con el desplazamiento de la estructura. Utilizando este método se han realizado pruebas de comparación con transductores de desplazamiento variable lineal (LVDT) obteniendo resultados similares [7]. En laboratorio se han realizado pruebas estáticas, con errores de 0.04 mm y reconocimiento de cambio de distancia mínima de 0.02 mm [10]. Adicionalmente, este método ha sido implementado en puentes peatonales [8].

Estos nuevos métodos basados en técnicas de fotogrametría para el procesamiento digital de imágenes están recibiendo considerable atención, ya que representa un avance en el área de monitoreo estructural, porque pueden llegar a ser aplicables en la medición de desplazamientos de grandes estructuras y a grandes distancias, gracias al avance en la tecnología de las cámaras digitales, que actualmente cuentan con un gran alcance, gran resolución en las imágenes y altas velocidades de captación de imágenes. Los resultados experimentales de investigaciones anteriores muestran que este sistema es factible, de fácil instalación, fácil manejo, bajo costo, alta frecuencia de adquisición de imágenes y de gran precisión para determinar el desplazamiento en estructuras como puentes. Por lo cual en esta investigación desarrollamos una variante de este novedoso método fotogramétrico, para el seguimiento de un punto sobre la estructura de puentes, y así obtener los desplazamientos verticales.

Para determinar el método fotogramétrico más conveniente en este estudio implementaremos en laboratorio el uso de las dos variantes más usadas de este método:

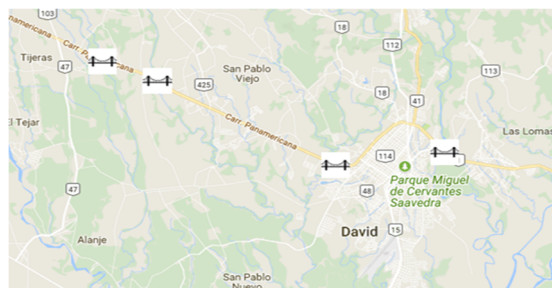
- Proyección de un láser colocado en el punto de interés del puente (Laser + Cámara).
- Grabación de un punto colocado sobre la estructura (Punto + Cámara).

### 3. Método experimental

Con la finalidad de medir desplazamientos en los puentes se desarrolló un programa experimental que utiliza las técnicas de procesamiento de video digital para el seguimiento de un punto de referencia colocado sobre la estructura de los puentes. El método se aplicó en laboratorio para verificar su desempeño, y en campo para verificar su uso práctico.

Durante pruebas en laboratorio se midió deformaciones en un espécimen de madera, durante prueba estática y dinámica. El espécimen se instrumentó con el sistema requerido para el método nuevo y, adicionalmente, con un deformímetro para medir desplazamiento durante la prueba estática y acelerómetro para obtener el registro de aceleración durante la prueba dinámica. Los resultados de los sensores de desplazamiento y aceleración servirán como referencia para comparar con los resultados del nuevo método.

La prueba en campo se realizó en 4 puentes vehiculares de estructura de concreto con vigas tipo ASSTHO, con longitudes entre 35 y 42 m (ver tabla 1), ubicados en la carretera panamericana entre el distrito de Boquerón y el distrito de David, en la provincia de Chiriquí (ver figura 1). Cada luz (o claro) de los puentes se identificó con un código basado en el posicionamiento geográfico del centro de la misma; el código cuenta con tres partes: primero la letra L (en referencia a la palabra “Luz”), luego la latitud UTM y finalmente la longitud UTM, ambas dentro de la zona 17. En estos puentes se utilizó el método de punto+cámara para registrar desplazamientos verticales dinámicos y acelerómetro para monitorear aceleraciones producto del tráfico vehicular regular.



**Figura 1.** Mapa con los puentes a instrumentar en la provincia de Chiriquí.

**Tabla 1.** Puentes instrumentados

Puente sobre:	Código (coordenada UTM, zona 17)	Luz (m)	Viga AASHTO tipo:
Río Chirigagua aguas abajo	L-330300E- 936810N	35.4	IV
Río Platanal aguas abajo	L-332610E- 935900N	38.6	IV
Quebrada San Cristóbal aguas abajo	L-340130E- 931970N	35.6	IV
Río David aguas abajo (Luz 1)	L-344740E- 932560N	42.0	V
Río David aguas abajo (Luz 2 )	L-344760E- 932530N	42.0	V



**Figura 2.** Vista del puente sobre el Río David aguas abajo.

### 3.1 Equipo

Para la medición de desplazamientos y aceleraciones se utilizaron los siguientes equipos:

- **Cámara digital:** modelo Nikon Coolpix P900. Se eligió esta cámara por su costo relativamente bajo, ya que es una cámara de uso comercial, por su capacidad de enfocar y obtener video de alta resolución a distancias de varias decenas de metros. Sus principales características son: distancia focal de 4.3 a 357 mm, y grabación de video a 30 fps y 60 fps (equivalente a 60 Hz) a una resolución de 1920x1080 píxeles.
- **Pantalla de referencia:** pantalla blanca con un punto marcado en ella, y una regla que se utiliza como referencia de medida de distancia y, posteriormente se utiliza como escala cuando se

procesa el video. La pantalla puede estar soportada por una base de madera.

- **Acelerómetro:** sistema de medición de aceleraciones en base a Arduino. El sistema incluye: microprocesador Arduino Nano, acelerómetro digital BMA 180, reloj RTC, un adaptador micro SD donde guarda la información y baterías AA como fuente de alimentación.
- **Láser:** se utilizó un láser de 5 mW de potencia de color verde, por tener un espectro de luz visible mayor a los otros colores.
- **Pantalla de proyección:** pantalla blanca con una regla, soportada por una base de madera. La base sirve de apoyo para un celular utilizado para grabar la proyección del rayo láser sobre la pantalla.
- **Celular con cámara:** samsung galaxy S7, se eligió por su disponibilidad y grabación de vídeos en 3840 × 2160 píxeles a 30 fps, 1920x1080 píxeles a 60 fps
- **Deformímetro (o comparador):** se utilizó deformímetro con precisión de 0.001 pulgadas (0.0254 mm).

### 3.2 Instrumentación

Para la medición de desplazamientos y aceleraciones se utilizaron los siguientes métodos:

- **Método de punto+cámara:** El movimiento del puente se registra con la cámara digital, grabando el movimiento de la pantalla de referencia colocada sobre la estructura (en la ubicación de interés). La cámara digital se coloca fuera del puente (donde la vibración del terreno es despreciable). La cámara se coloca paralela a la carretera (aprovechando la acera como área firme, limpia y de fácil acceso), y a la misma altura del punto sobre la pantalla de referencia. La cámara se pega con tape doble contacto a una base de madera que ayuda a brindar un mejor soporte a la misma, ya que los trípodes comerciales económicos no brindan la estabilidad necesaria.
- **Método de láser+cámara:** El láser se coloca sobre la estructura en el punto de interés y se proyecta sobre la pantalla de proyección. El láser debe quedar fijo a la estructura. Se coloca la pantalla de proyección (con su base) en la acera fuera del puente paralela a la carretera y la misma altura del láser. Se coloca el celular sobre la base de la pantalla de proyección. El movimiento del puente se registra con la cámara de celular, grabando el

movimiento del punto laser sobre la pantalla de proyección.

- **Método utilizando el deformímetro:** Se coloca bajo la estructura del puente, soportado por una plataforma inercial apoyada en terreno firme.
- **Método utilizando el acelerómetro:** Se apoya fijamente sobre la estructura del puente y registra los cambios de aceleración durante el movimiento del puente.

### 3.2.1 Instrumentación de pruebas de laboratorio

Para verificar el desempeño de los métodos fotogramétricos, se utilizaron los métodos de punto+cámara y laser+cámara para medir desplazamientos durante pruebas estáticas y dinámicas en laboratorio. Las pruebas se hicieron sobre un espécimen de madera de 2.45 m de longitud, con sección de 19 cm de ancho y 2 cm de espesor (ver figura 3).

Todos los equipos (ver sección 3.1) se colocaron para registrar el movimiento (desplazamiento o aceleración) en la mitad de la luz del espécimen. Para los distintos métodos se instrumentó el espécimen como sigue:

- Método punto+cámara, la pantalla de referencia fue adherida a la parte lateral del espécimen y la cámara se colocó a la misma altura y a 1.5 m de distancia del espécimen.
- Método laser+cámara, la pantalla de proyección se ubicó a 1.5 m de distancia del espécimen. El láser se colocó sobre la caja del acelerómetro y se pegó con tape doble contacto para que quedara fijo.
- Método utilizando el deformímetro, el deformímetro se colocó apoyado en el suelo, de forma tal que su punta de medición estaba en contacto con la parte inferior del espécimen.
- Método utilizando el acelerómetro, el acelerómetro se colocó sobre el espécimen y se pegó con tape doble contacto, a la mitad de la luz.

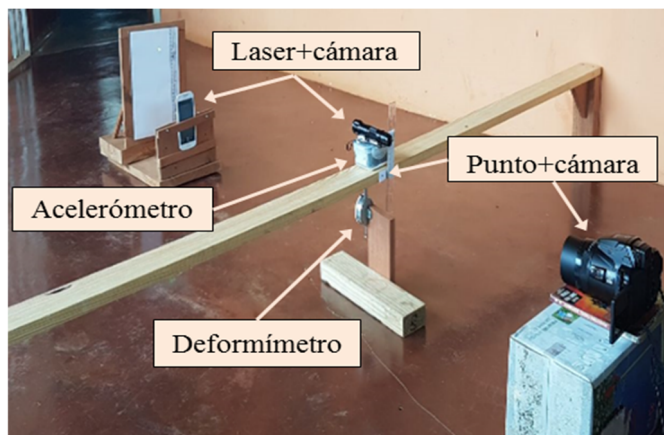


Figura 3. Instrumentación durante pruebas en espécimen.

### 3.2.2 Instrumentación en puentes

Para registrar los desplazamientos verticales de los puentes se colocó la pantalla de referencia a la mitad de la luz y la cámara sobre un apoyo fijo fuera del puente. Junto a la pantalla de referencia colocamos el acelerómetro (ver figura 4). Se registró el movimiento cuando pasaban vehículos pesados sobre los puentes, en intervalos de medición de 30 segundos.

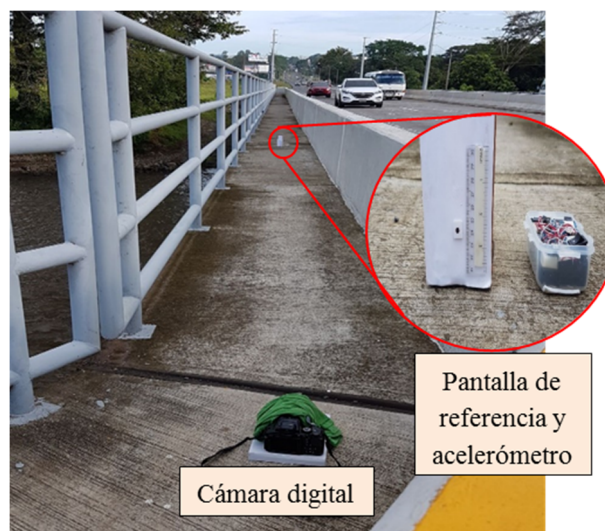


Figura 4. Instrumentación en el puente sobre el Río David aguas abajo, luz 2 (L-344760E-932530N).

Durante la implementación del método en los puentes vehiculares surgieron fuentes de error que no estaban presentes en el laboratorio. Las fuentes de error se determinaron y se aplicaron modificaciones al método para minimizar el efecto de las mismas.

A continuación, se mencionan las fuentes de error, lo que causaba y la solución implementada:

- El vapor generado por la carretera, debido a las altas temperaturas, causaba distorsión en las imágenes al enfocar la pantalla de referencia. La solución fue realizar las mediciones en horas de la mañana cuando las temperaturas eran más baja (aproximadamente hasta las 10:00 am).
- Las corrientes de aire ambientales o generadas por los vehículos, causaban vibraciones en el lente de la cámara transmitiéndoselas a las imágenes. La solución fue cubrir con una tela la parte superior y lateral de la cámara, y pegar la base de madera de la cámara, con tape doble contacto, a la acera.
- El paso de vehículos pesados al lado de la cámara, fuera del puente, causaba vibraciones en la cámara, las cuales quedaban registradas en el video. Estas pequeñas vibraciones no afectaban los desplazamientos máximos que ocurrían cuando el vehículo pesado se encontraba en el puente. Adicionalmente, la vibración inducida en el terreno no afecta la determinación de la frecuencia de los primeros modos de vibración, ya que el puente vibra por mucho más tiempo que el terreno, con amplitudes mucho mayores y a frecuencias diferentes que las vibraciones causadas por los vehículos en el terreno.

### 3.3 Procesamiento

Para el procesamiento del video obtenido durante las pruebas se utilizó Tracker [19], programa desarrollado por Open Source Physics, el cual permite monitorear el movimiento de un objeto grabado en video, para determinar el desplazamiento, generar tablas y gráficas de desplazamientos de los puentes estudiados (ver figura 5). Para la determinación de las frecuencias de vibración se calculó la transformada rápida de Fourier de los datos (desplazamiento y aceleraciones) utilizando Matlab [20], programa desarrollado por MathWorks, para la solución de problemas matemáticos.

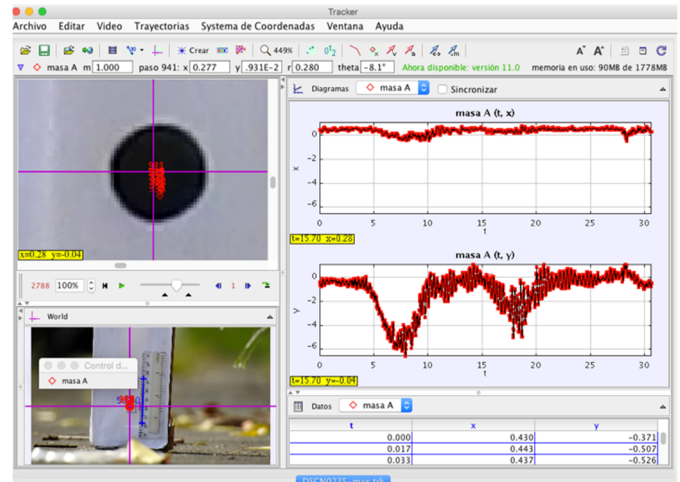


Figura 5. Interfaz del programa Tracker procesando el video del puente sobre la quebrada San Cristóbal aguas abajo (L-340130E-931970N).

## 4. Resultados de prueba estática

Para validar y verificar la precisión de los métodos propuestos, se compararon las mediciones captadas durante la prueba de carga de laboratorio usando el deformímetro versus aquellas captadas mediante los métodos de laser+cámara y punto+cámara. La prueba se realizó a un espécimen de madera (ver figura 6) aplicándole cargas estáticas de 37 N en dos incrementos (ver figura 7).

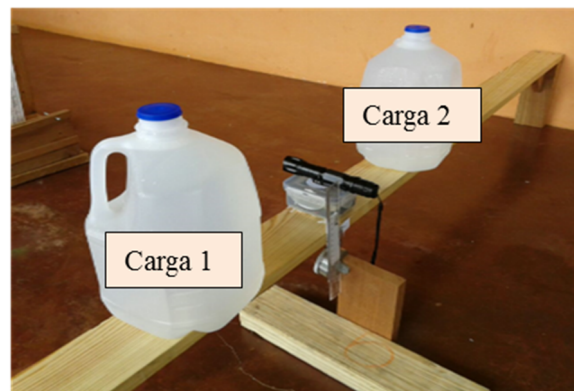


Figura 6. Prueba estática de espécimen de madera.

En los resultados de la prueba estática (ver Tabla 2) se observa que el método de punto+cámara brinda los valores de desplazamiento más cercanos al deformímetro (diferencias menores a 0.1 mm), por lo cual fue el método que se implementó en los puentes vehiculares. Mientras que el método de laser se aleja más de los resultados del deformímetro (diferencias en

el orden de 0.2 mm), el error del láser puede estar relacionado con la torsión en el espécimen.

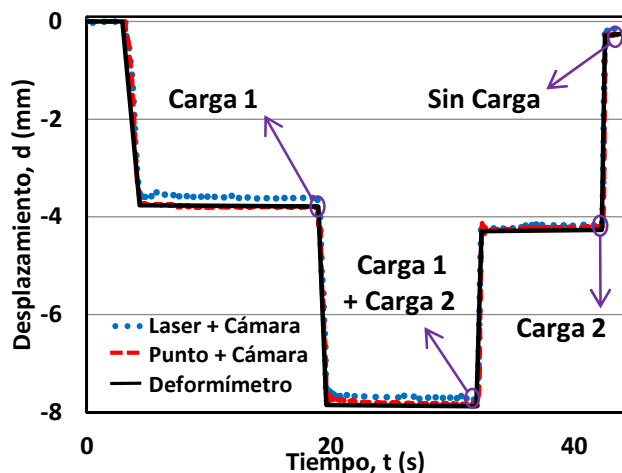


Figura 7. Resultados de prueba estática en espécimen.

Tabla 2. Resultados de la prueba estática en espécimen

Etapa	Desplazamiento (mm)			
	Carga 1	Carga 1 + Carga 2	Carga 2	Sin Carga
Laser+Cámara	3.61	7.74	4.31	0.14
Punto+Cámara	3.80	7.86	4.22	0.25
Deformímetro	3.78	7.87	4.25	0.25
Diferencia entre Laser+Cámara y Deformímetro	0.17	0.13	0.06	0.11
Diferencia entre Punto+Cámara y Deformímetro	0.02	0.01	0.03	0.00

La mejora del método de laser+cámara escapa del alcance de este artículo, sin embargo, basados en la experiencia de las pruebas, se puede sugerir que el método laser+cámara puede mejorar como sigue:

- El láser debe colocarse de manera fija fuera de la estructura y la pantalla de proyección en el punto de interés en la estructura, para eliminar efectos secundarios relacionados con la rotación (o torsión) del puente.
- Proyectar el rayo láser a través de un telescopio, para reducir el tamaño del punto laser proyectado,

lo que elimina la divergencia del haz laser y le da una forma circular definida al punto proyectado [8].

### 5. Resultados de prueba dinámica

Para validar el uso de los métodos durante pruebas dinámicas, se compararon los resultados del acelerómetro, con el método de laser+cámara y con el método de punto+cámara, al darle un golpe al espécimen en el centro de su luz. Posteriormente se determinaron los desplazamientos, aceleraciones y la frecuencia de vibración producto de la respuesta dinámica del espécimen. El acelerómetro está programado para capturar 400 datos por segundos (400 Hz) y las cámaras configuradas a grabar a 30 fotos por segundo (30 Hz).

Los desplazamientos dinámicos obtenidos con los métodos fotogramétricos de laser+cámara y punto+cámara son muy parecidos. Por otro lado, cuando se integran los datos crudos del acelerómetro (sin usar ninguna corrección), los desplazamientos calculados se desvían rápidamente de los desplazamientos verdaderos (ver figura 8).

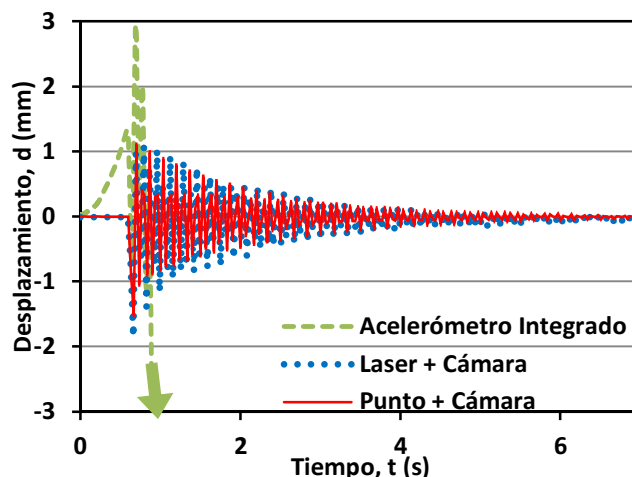


Figura 8. Resultados de desplazamiento de prueba dinámica en espécimen.

Al derivar con respecto al tiempo las historias de desplazamiento, captadas mediante los métodos de laser+cámara y punto+cámara, se obtienen acelerogramas similares a aquellos captados por el acelerómetro BMA180 (ver figura 9), el cual tiene alta precisión (0.25 mg) [21].

Los acelerómetros han sido ampliamente utilizados para el estudio de frecuencias de vibración de puentes [3, 22, 23], por lo que en este estudio sus mediciones

serán consideradas como adecuadas. Las frecuencias obtenidas al analizar los datos de desplazamiento obtenidos de los métodos de laser+cámara y punto+cámara presentan diferencias de 0.02 Hz o menos con respecto a aquellas obtenidas del análisis de la data del acelerómetro (ver figura 10).

Considerando todo lo anterior, se propone el método de punto+cámara para la medición de desplazamientos estáticos y dinámicos (y frecuencias de vibración) en puentes en uso.

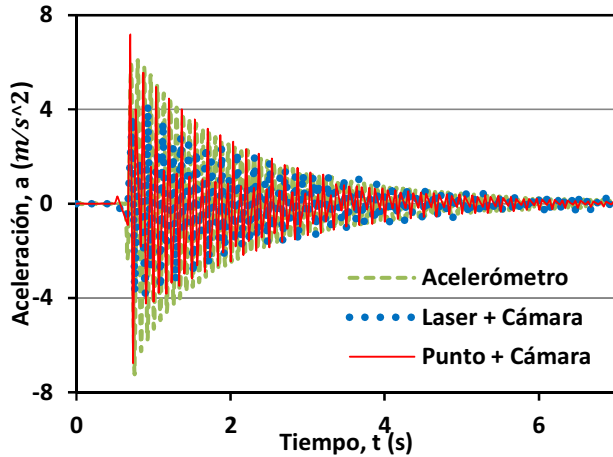


Figura 9. Resultados de aceleración de prueba dinámica en espécimen.

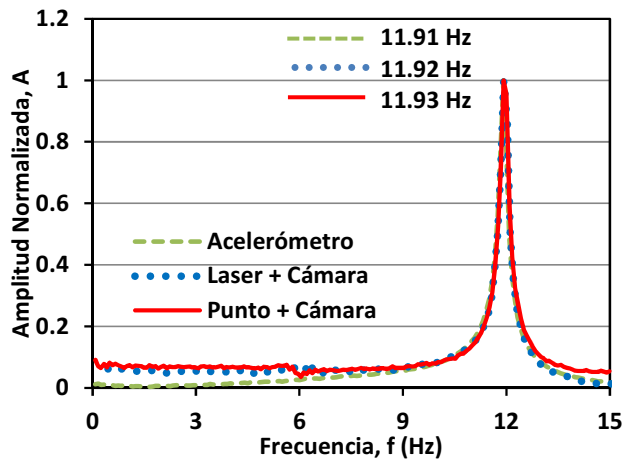


Figura 10. Resultados de frecuencia de vibración de prueba dinámica en espécimen.

## 6. Resultados de mediciones en puentes

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en puentes vehiculares en uso utilizando el método de punto+cámara (ver figura 11 a figura 15). En las figuras se puede observar que cuando

las cargas pasan sobre el puente, este se deforma alejando sus oscilaciones del valor medio.

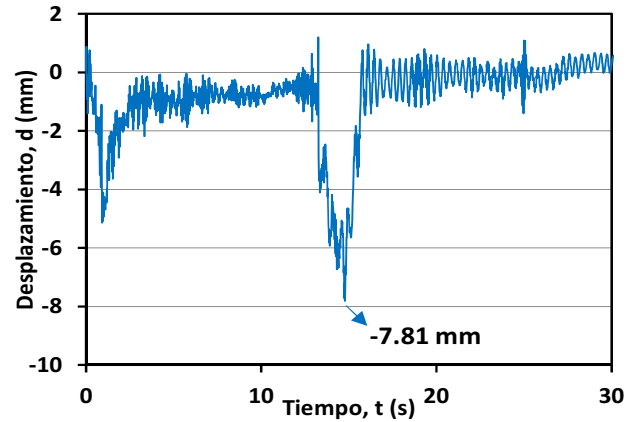


Figura 11. Desplazamiento dinámico registrado en el puente sobre el río Chirigagua (L-330300E-936810N).

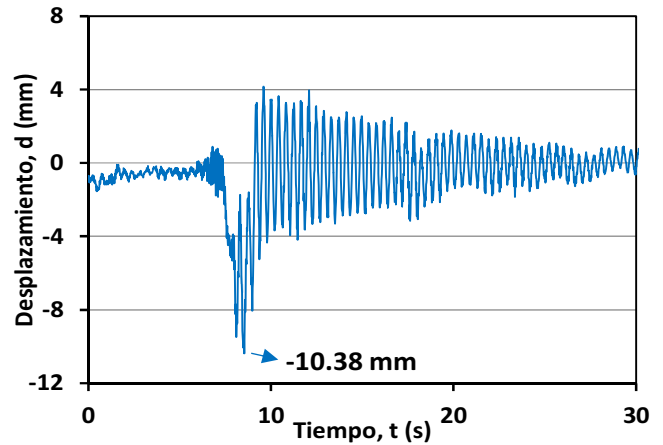


Figura 12. Desplazamiento dinámico registrado del puente sobre el Río Platanal (L-332610E-935900N).

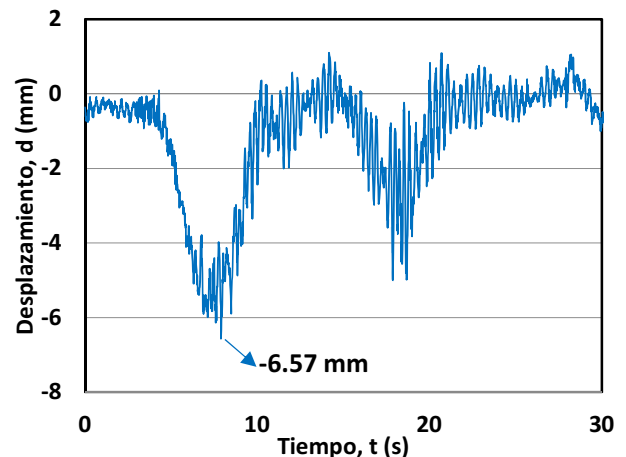
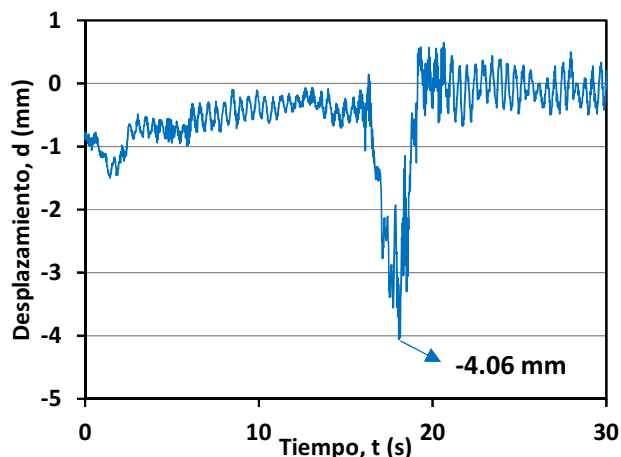
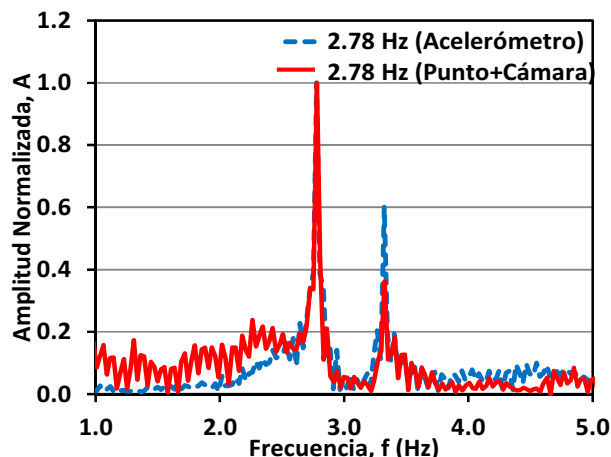


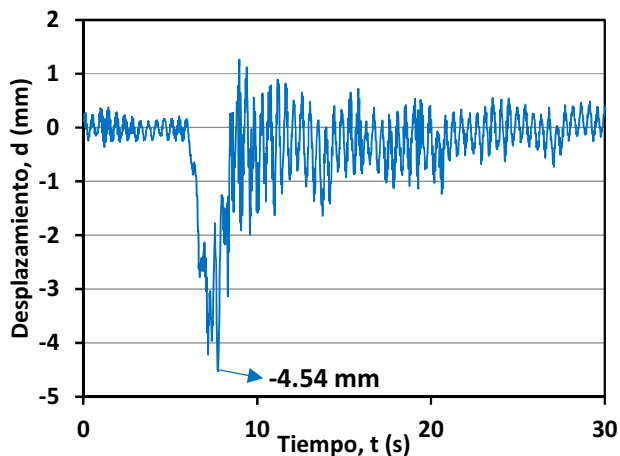
Figura 13. Desplazamiento dinámico registrado en el puente sobre la quebrada San Cristóbal (L-340130E-931970N).



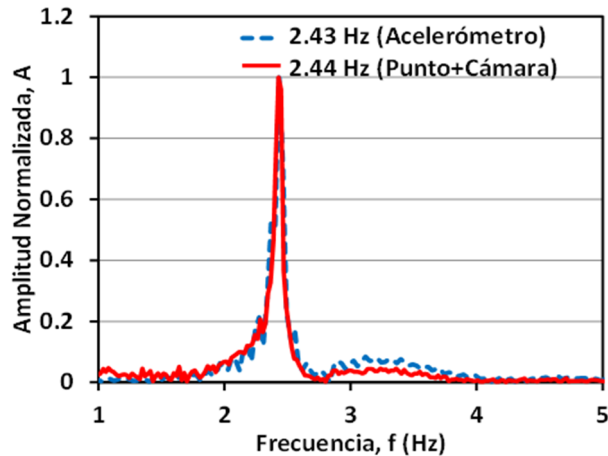
**Figura 14.** Desplazamiento dinámico registrado en el puente sobre el río David, luz 1(L-344740E-932560N).



**Figura 16.** Contenido de frecuencia del puente sobre el Río Chirigagua (L-330300E-936810N).



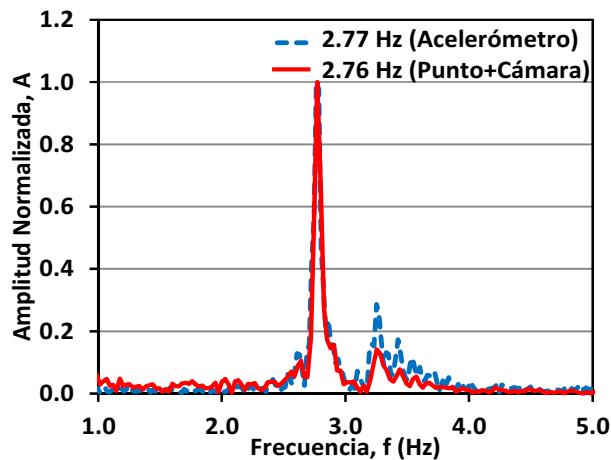
**Figura 15.** Desplazamiento dinámico registrado en el puente sobre el Río David, luz 2 (L-344760E-932530N).



**Figura 17.** Contenido de frecuencia del puente sobre el Río Platanal (L-332610E-935900N).

Teniendo los datos de desplazamiento dinámico y aceleración para el mismo intervalo de medición, de cada puente estudiado, se calculó los contenidos de frecuencias, y la frecuencia natural del primer modo de vibración.

Como se puede ver desde la figura 16 a la figura 20, las frecuencias obtenidas con el acelerómetro y las obtenidas con el método de punto+cámara son prácticamente iguales, observándose variaciones en el segundo decimal, lo cual confirma que el método de punto+cámara se podría utilizar para determinar las frecuencias de vibración en puentes con gran precisión.



**Figura 18.** Contenido de frecuencia del puente sobre la Quebrada San Cristóbal (L-340130E-931970N).

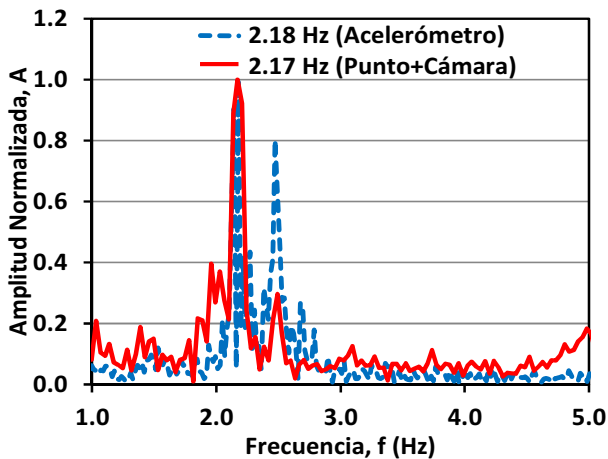


Figura 19. Contenido de frecuencia del puente sobre el Río David, luz 1 (L-344740E-932560N).

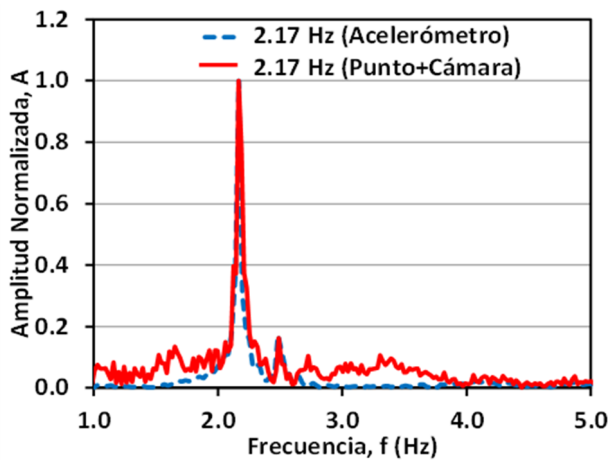


Figura 20. Contenido de frecuencia del puente sobre el Río David, luz (L-344760E-932530N).

En la tabla 3, se muestran las longitudes, frecuencias y periodos obtenidas con el método punto+cámara en los puentes estudiados y se calcula una relación con el periodo esperado, para ver qué tanto se acerca al valor esperado. En este estudio se adoptará la ecuación:

$$T_e = 1s \left( \frac{L}{100 \text{ m}} \right) \quad (1)$$

Donde  $T_e$  es el período esperado y  $L$  la longitud de la luz [3].

Considerando que la frecuencia de vibración está relacionada con las características del puente, las frecuencias (o periodos) captadas durante este estudio pueden considerarse representativas de los puentes estudiados. En este sentido, se puede observar que los periodos de vibración fundamental son similares a los

periodos esperados, lo cual indica que la relación entre la masa, la frecuencia y la luz de los puentes estudiados cae dentro de los rangos normales [3].

Tabla 3. Resultados de frecuencia y período de vibración

Código del Puente	Longitud (m)	F. obtenida (Hz)	T. obtenido (s)	T. Esperada (s)	T. obtenida/T. Esperada
L-330300E-936810N	35.4	2.78	0.36	0.35	1.03
L-332610E-935900N	38.6	2.44	0.41	0.39	0.95
L-340130E-931970N	35.6	2.76	0.36	0.36	1.00
L-344740E-932560N	42.0	2.17	0.46	0.42	1.10
L-344760E-932530N	42.0	2.17	0.46	0.42	1.10

En la tabla 4, se muestra un resumen de los desplazamientos máximos obtenidos en cada puente y su aceleración máxima correspondiente, junto con el desplazamiento teórico máximo que debe cumplir según la normativa AASHTO LRFD. Como se puede ver los desplazamientos obtenidos están muy por debajo de los permitidos durante las pruebas de carga.

Tabla 4. Resultados de desplazamiento y aceleración

Código	Longitud (m)	Desplazamiento Máximo obtenido (mm)	Desplazamiento Teórico Máximo, L/800 (mm)	Aceleración máxima obtenida (g)
L-330300E-936810N	35.4	-7.81	-44.25	-0.074
L-332610E-935900N	38.6	-10.38	-48.25	-0.134
L-340130E-931970N	35.6	-6.57	-44.50	-0.083
L-344740E-932560N	42.0	-4.06	-52.5	-0.039
L-344760E-932530N	42.0	-4.54	-52.5	-0.047



El objetivo de este artículo no es verificar la condición estructural de los puentes, por lo que no se deben tomar los desplazamientos máximos medidos como una referencia del estado del puente. Los desplazamientos fueron presentados en este artículo con el objetivo de ilustrar los resultados que se obtienen del método, y son representativos de la respuesta ante el tráfico existente al momento de la prueba.

## 7. Conclusiones

Basado en los resultados de este estudio se puede concluir que el método de punto+cámara:

1. Permite medir desplazamientos verticales y horizontales, estáticos y dinámicos, así como la frecuencia de vibración.

2. Ofrece gran precisión en la medición de desplazamientos (por medio de las pruebas de laboratorio se observó que el método punto+cámara tiene una precisión en el orden de 0.1 mm).

3. Permite el cálculo de la frecuencia de vibración principal con gran precisión (en el orden de 0.01 Hz)

4. Es de configuración fácil y rápida

5. Es de bajo costo para puentes de mediana longitud (ya que se pueden usar cámaras digitales no profesionales).

## 8. Recomendaciones

Basado en los resultados de este estudio se puede recomendar:

1. Utilizar el método de punto+cámara para medir los desplazamientos de puentes bajo tráfico vehicular normal y durante pruebas de carga estáticas.

2. Utilizar el método de punto+cámara para pruebas de laboratorio en vigas y para cualquier prueba donde se desee conocer el desplazamiento estático y/o dinámico de una estructura al aplicarle carga.

3. Estudiar la posibilidad de realizar pruebas de carga dinámica utilizando el método de punto+cámara y camiones con peso conocido que transiten por el puente a velocidades bajas, pero sin detenerse, cerrando el tráfico solamente durante el tiempo que tome a los camiones atravesar el puente. Este tipo de prueba reduciría el tiempo de cierre del puente y permitiría conocer la respuesta del puente ante cargas conocidas.

4. Realizar un estudio para verificar la factibilidad de utilizar en nuestro país métodos fotogramétricos, utilizando cámaras no-profesionales, en puentes de gran

longitud utilizando pantallas de referencia de gran tamaño, o elementos del puente como punto de referencia.

## 9. Referencias

- [1] J. A. Marulanda, J. C. Marulanda, P. Thomson, "Monitoreo de Salud Estructural", Ingeniería y Competitividad, Vol. 2, diciembre 2000.
- [2] Moreno Claudia P., Thomson Peter, "Incertidumbre paramétrica en modelos dinámicos de estructuras civiles", Universidad del Valle, Cali, Colombia, Ingeniería y Competitividad, vol. 12, núm. 1, 2010, pp. 111-125.
- [3] S. M. Rodríguez, J. M. Gallardo, O. A. Araúz, "Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá", Grupo de investigación: Salud Estructural de Puentes, Universidad Tecnológica de Panamá, 2017.
- [4] Albert, J., H.-G. Maas, A. Schade, W. Schwarz, Pilot studies on photogrammetric bridge deformation measurement, Proceedings of the 2nd IAG Commission IV Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Berlin, Germany, 21-24 may, 2002.
- [5] Juan M. Caicedo, "Displacement Measurements in Civil Structures Using Digital Cameras and Lasers", University of South Carolina, Department of Civil and Environmental Engineering, 2005.
- [6] Jónatas Valença, Eduardo Júlio, Helder Araújo, "Application of photogrammetry to bridge monitoring", University of Coimbra, Portugal, 2008.
- [7] J. M. Franco, J. H. Murcia, D. Gómez, P. Thomson, "Implementación de sensores láser para medir desplazamientos en estructuras", Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica, Ingeniería Eólica y Estructuras Inteligentes, G-7, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2008.
- [8] J. M. Franco, D. Gómez, J. H. Murcia, P. Thomson, J. Marulanda, "Desarrollo e implementación de un sistema láser para caracterización dinámica y medición de desplazamientos en estructuras civiles", Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica, Ingeniería Eólica y Estructuras Inteligentes, G-7, Universidad del Valle, Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 60 pp. 170-181. Septiembre, 2011.
- [9] Ö. AVŞAR, D. AKCA y O. ALTAN, "Photogrammetric Deformation Monitoring of the Second Bosphorus Bridge in Istanbul", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5, Istanbul Technical University, Istanbul, 2014.
- [10] Xuefeng Zhao ,Hao Liu , Yan Yu , Xiaodong Xu, Weitong Hu, Mingchu Li, Jingping Ou, "Bridge Displacement Monitoring Method Based on Laser Projection-Sensing Technology", Dalian University of Technology, Dalian 116000, China, 2015.
- [11] ASHIMA SETIA, DR. S. BHALLA, "Photogrammetry for Non-contact Measurement of Deflection", Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, April 2010.
- [12] Ireneusz WYCZAŁEK, Michał WYCZAŁEK, "The Potential of Photogrammetric Method of Measurement Dynamic Displacements of Flexible Bridges".
- [13] Palazzo, D.; Friedmann, R.; Nadal, C.; Santos, F.M.; Veiga, L.; Faggion, P., "Dynamic monitoring of structures using a robotic total station", 2006.

- [14] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2007. Cuarta Edición. AASHTO, Washington, D.C.
- [15] Daniel Abalo C., “Reloj comparador”, Tecnología de comparación.
- [16] MARVIN A.CARDOZA, JOSÉ E. VILLALOBOS Z., “Evaluación estructural de un puente mediante la realización de una prueba de carga estática”, Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, 2005.
- [17] Rosendo R. Andrade, Carlos R. Moraila, Pedro E. Ortíz, “Medición de la vibración en estructuras de puentes empleando GPS”, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2012.
- [18] Diego González A., Javier Gómez L., José Sánchez A. “New Approach for Structural Monitoring of Large Dams with a Three-Dimensional Laser Scanner”, Cartographic and Land Engineering Department, University of Salamanca, 2008.
- [19] Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. [Online]. Available: <http://physlets.org/tracker/>.
- [20] “MATLAB Student”, [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/academia/student-version-b.html>.
- [21] “BMA180 Digital Triaxial Acceleration Sensor”, Data Sheet, [Online]. Available: <http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/jumpman/jumppc/1107BMA180/BMA180-DataSheet-v2.5.pdf>
- [22] Alejandro de Miguel T., Pablo M., “ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, junio de 2011.
- [23] J. Valdés, J. De la Colina, “Análisis de la Amplificación Dinámica de la Carga Viva en Puentes con Base en Pruebas Experimentales”, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 21, N. 1, 149-156, octubre, 2008.

# Optimización en el dimensionamiento de un sistema industrial de gas licuado de petróleo

## Optimization in the sizing of an industrial system of liquefied petroleum gas

Diego Venegas Vásconez<sup>1\*</sup>, Cesar Ayabaca Sarria<sup>2</sup>, Santiago Celi Ortega<sup>3</sup>, Juan Rocha Hoyos<sup>4</sup>, Euro Mena Mena<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

<sup>3,4</sup>Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK, Ecuador

<sup>5</sup>Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador

\*Autor de correspondencia: [diegofvenegas@udec.cl](mailto:diegofvenegas@udec.cl)

**RESUMEN**—Son muchos los equipos industriales que requieren del gas licuado de petróleo (GLP) como combustible para su funcionamiento y para que llegue a estos equipos, se necesita entre otros de sistemas de almacenamiento (tanques) y de transporte (tuberías); su instalación debe estar acorde a principios de seguridad (distancias mínimas a terceros, materiales de tuberías) establecidos en la norma técnica que impone la autoridad competente y su dimensionamiento debe responder a criterios ingenieriles de transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos.

En el presente trabajo se optimiza la ubicación de los recipientes estacionarios y el diámetro de tubería necesarios para abastecer de combustible a un sistema industrial de GLP en la ciudad de Panamá, que cuenta con un horno de 600 kW y 6 quemadores industriales de 60 kW c/u. En el almacenamiento se compara el área superficial requerida por una batería de tanques estacionarios (250, 500, 1000 y 2000 Gl) y de acuerdo a las distancias de seguridad requeridas se minimiza esta área. En el dimensionamiento de tubería se establecen dos tramos de media presión (tubería entre el regulador de primera y segunda etapa) y un tramo de baja presión (tubería después del regulador de segunda etapa) para los seis quemadores, y en cada caso se plantean tres criterios de cálculo y se selecciona aquella tubería que arroja como resultado el menor diámetro.

**Palabras clave**— Gas licuado de petróleo, optimización, tanques, tuberías, dimensionamiento.

**ABSTRACT**— Many industrial equipment requires liquefied petroleum gas (LPG) as fuel for its operation. To reach these equipment, you need among others storage systems (tanks) and transport (pipelines); its installation must be in accordance with safety principles (minimum distances to third parties, pipe materials) established in the Technical Standard imposed by the competent authority and its dimensioning must respond to engineering criteria of heat transfer, thermodynamics and fluid mechanics.

In the present work, we optimize location of the stationary vessels and the diameter of the pipes necessary to supply fuel to an LPG industrial system in Panama City, which has a 600 kW furnace and 6 industrial 60 kW burners are optimized. /or. In the storage the surface area required by a battery of stationary tanks (250, 500, 1000 and 2000 Gl) is compared and according to the required safety distances this area is minimized. In the sizing of the pipe, two sections of medium pressure (pipe between the first and second stage regulator) and a low pressure section (pipe after the second stage regulator) are established for the 6 burners, and in each case three calculation criteria and select the pipeline that results in the smallest diameter.

**Keywords**— Liquefied petroleum gas, optimization, tanks, pipelines, sizing.

### 1. Introducción

Los usos y aplicaciones del GLP van desde consumos residenciales [1], comerciales [2] hasta industriales [3] en la generación de energía eléctrica, calentamiento de hornos y calderas, entre otros, y se lo escoge entre otros combustibles ya que: se pueden satisfacer varias necesidades energéticas con una sola fuente de combustible [4], tiene alto poder calorífico comparado con otras fuentes de energía [5], es limpio en término de emisiones de contaminantes a la

atmósfera [6], no es tóxico para el ser humano [7], y es muy seguro si se lo maneja técnicamente [8].

Al ser un combustible muy explosivo e inflamable [9], su manejo genera riesgos hacia las personas y edificaciones a su alrededor [10], por lo que se han establecido criterios mínimos de seguridad en Normas Técnicas tales como la NFPA 54 [11] y NFPA 58 [12], que establecen entre otras cosas distancias mínimas de seguridad hacia terceros, formas de ubicar dichos

recipientes y protecciones con el fin de reducir la posibilidad de eventos catastróficos en su entorno [13].

En instalaciones industriales, donde los requerimientos del combustible son elevados, es aconsejable la instalación de tanques estacionarios, sin embargo, los profesionales que se dedican a instalar este tipo de sistemas se encuentran con dificultades para encontrar los espacios más adecuados para ubicarlos dadas las limitaciones de espacio físico en las edificaciones, esto hace que se haga un análisis exhaustivo con el fin de encontrar la mejor opción que no comprometa la seguridad tanto física como humana.

En este almacenamiento el combustible se encuentra en fase gaseosa, pero para el consumo, salvo en aplicaciones específicas, el combustible debe estar en fase vapor. El cambio de fase se produce al interior de los recipientes como un fenómeno de vaporización natural que se da por la transferencia de calor desde el medio ambiente hacia este hidrocarburo a través de sus paredes [14], y está directamente relacionada con:

- La superficie delimitada por el GLP que está en estado líquido (zona mojada) [15], mientras mayor sea esta zona mojada, mayor será la capacidad de vaporización.
- A mayor tamaño del recipiente, mayor será la zona mojada y por lo tanto tendrá mayor capacidad de vaporización.
- A mayor temperatura ambiente habrá mayor transferencia de calor hacia el combustible, por tanto la capacidad de vaporización va a aumentar.

En la ecuación 1 se indica la capacidad de vaporización natural de un recipiente de almacenamiento [16]:

$$Q = p \times S \times K \times \frac{(T_e - T_g)}{CLV} \quad (1)$$

El líquido vaporizado llega a los equipos de consumo a través de sistemas de tuberías, cuyos materiales [17] y criterios de seguridad para su instalación [18] también se encuentran delimitados en la norma técnica. Estas tuberías deben como mínimo soportar la acción del combustible, y su dimensión (diámetro) debe ser el suficiente para permitir el paso del gas en la cantidad (caudal) y la presión necesaria en los equipos de consumo para su funcionamiento. Sin embargo se han detectado varias instalaciones cuyas

tuberías han sido sobredimensionadas causando gastos innecesarios en materiales a los usuarios finales.

Este trabajo se presenta el dimensionamiento de un sistema industrial de GLP en la ciudad de Panamá, donde se plantean algunos criterios para optimizar la ubicación de recipientes de almacenamiento (área de ubicación), y diámetros mínimos de tubería, que garanticen el funcionamiento de los equipos de consumo. Las unidades utilizadas para los cálculos son las aceptadas por el sistema internacional, sin embargo para la presentación de algunos resultados se utilizan unidades con las cuales se identifican comercialmente algunos productos necesarios en estos sistemas como la capacidad de almacenamiento de los recipientes (Gl) y el diámetro de tuberías (plg).

## 2. Metodología

Se va a proceder a optimizar el almacenamiento (área mínima ocupada por los tanques) y los diámetros óptimos de tuberías para conducción del fluido hasta los equipos de consumo. Para ello es necesario conocer la potencia total requerida en la instalación, la cual será igual a la sumatoria de la potencia requerida por cada equipo de consumo según se muestra en la ecuación 2.

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

Obtenida la potencia total instalada en el sistema, se puede entonces dimensionar los recipientes de almacenamiento del combustible y las tuberías de transporte de este hacia los equipos de consumo.

### 2.1 Optimización en el almacenamiento (tanques)

La potencia total instalada mostrada en la ecuación 2 se satisface desde los recipientes, en donde se produce la vaporización natural (ecuación 1). Para garantizar que el usuario no se quede sin combustible durante la operación de su sistema, se recomienda calcular la vaporización de los recipientes al 20% de llenado [19], y esta debe ser mayor o igual que la potencia total instalada según se muestra en la ecuación 3.

$$Q \geq P_{tot} \quad (3)$$

La instalación de estos recipientes debe estar acorde a la norma técnica vigente, y en ella se establecen distancias de seguridad hacia terceros que puedan potenciar un incidente con fuego y se establecen distancias mínimas entre recipientes para facilitar tareas de inspección y mantenimiento. En la ecuación 4 se muestra el área mínima requerida para la ubicación de recipientes considerando la distancia mínima desde sus paredes hacia terceros [20][21], y en la ecuación 5 se calcula el área mínima para delimitar los recipientes considerando la distancia recomendada en la Norma para separación entre ellos.

$$A_{Seg} = ((n \times D_r) + (n - 1)d_{Seg} + 2d_{Seg}) \times (L_r + 2d_{Seg}) \quad (4)$$

$$A_{Min} = ((n \times D_r) + (n + 1)d_{min}) \times (L_r + 2d_{min}) \quad (5)$$

Aquel grupo de recipientes que tenga la menor área de seguridad ( $A_{Seg}$ ) y ( $A_{Min}$ ) será el recomendado para la instalación.

Otro criterio para tomar en cuenta es la autonomía del sistema, definida como el tiempo transcurrido entre cada abastecimiento de combustible, con esta medida se coordina con la comercializadora para el despacho del gas (ecuación 6) [14][22].

$$Aut = \frac{(n \times Cap_{real} \times C_p)}{P_{ins} \times h} \quad (6)$$

## 2.2 Optimización en el transporte (diámetro mínimo de tuberías)

Para determinar los diámetros óptimos hay varios criterios que se aplican según la tubería sea instalada en servicio de media presión (entre regulador de primera y segunda etapa) o baja presión (después del regulador de segunda etapa) [23].

Los criterios seleccionados para dimensionar las tuberías en media presión son:

**Renouard** [24][25][26].

$$p_1^2 - p_2^2 = 4810 \times L \times d \times Q_s^{1,82} \times D^{-4,82} \quad (7)$$

**Spitzglass** [27]

$$Q_s = 0,02094 \left( \frac{D^5}{1 + \frac{0,09144}{D} + 1,1811D} \right)^{0,5} \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{d \times L} \right)^{0,5} \quad (8)$$

**Fristche** [28]

$$Q_s = 94,2565 \frac{T_s}{P_s} D^{2,6811} \left( \frac{(p_1^2 - p_2^2) - E}{L \times T \times d^{0,858}} \right)^{0,5} \quad (9)$$

Para baja presión los criterios utilizados son:

**Renouard** [24]

$$Q_s = 8,641 \times D^{\frac{4,82}{1,82}} \times \left( \frac{p_1 - p_2}{L \times d^{0,82}} \right)^{\frac{1}{1,82}} \quad (10)$$

**Spitzglass** [27]

$$Q_s = 9,5 \times \left( \frac{(p_1 - p_2) \times D^5}{L \times d \times \left( 1 + \frac{0,09144}{D} + 1,1811 \times D \right)} \right)^{0,5} \quad (11)$$

**Pole** [28]

$$Q_s = C \times \left( \frac{(p_1 - p_2) \times D^5}{L \times d} \right)^{0,5} \quad (12)$$

Las consideraciones para determinar el diámetro óptimo de tubería son las siguientes:

- Se debe definir si la sección de tubería se encuentra entre la primera y segunda etapa de regulación (media presión), o está después del regulador de segunda etapa (baja presión).

- La ruta por donde se colocará la tubería será la más corta posible entre el almacenamiento y los puntos de consumo, por tanto, el trazado de tubería será lo más recto posible, evitando en lo posible quiebres y cambios de sección abruptos.

- Se dividirá el trazado de tubería en secciones según la ubicación de equipos de consumo intermedios.

- Se requiere establecer la longitud de cada una de las secciones, para lo cual se puede aplicar el concepto de longitud equivalente, cuyo valor incluye una longitud de tubería asociada a las pérdidas que ocurren en las paredes de las tuberías por fricción y en cada uno de los accesorios. Se puede asumir una longitud equivalente de tubería según la ecuación 13 [29]:

$$L_{eq} = L \times 1,2 \quad (13)$$

Encontrados los valores del diámetro que garantiza la conducción del fluido con cada uno de los criterios planteados en las ecuaciones (ecuación 2) hasta la (ecuación 7) se debe ajustar dicho valor a los diámetros de tuberías comercialmente disponibles, y entre los resultados se seleccionará el menor.

**Tabla 2.** Capacidad de vaporización de recipientes estacionarios

Cap <sub>real</sub>	Diámetro	Longitud	Q	n	Aut	D <sub>Seg</sub>	A <sub>seg</sub>	D <sub>Min</sub>	A <sub>Min</sub>	Aut
Gl [31]	m [31]	m [31]	Kg/h (kW)		día	m [12]	m <sup>2</sup>	m [12]	m <sup>2</sup>	día
250	0,80	2,20	13,1 (182)	6	23	7,6	1009	1	49,56	23
500	0,95	2,99	21,14 (293,7)	4	19	7,6	760,3	1	43,91	19
1000	1,04	4,85	37,54 (521,6)	2	11	7,6	498,8	1	34,8	11
2000	1,18	7,24	63,59 (883,4)	2	13	15	1764	1,5	70,25	13

La tabla 2 muestra además la cantidad de recipientes necesarios para garantizar el abastecimiento de GLP, (ecuación 3) cuando estos se encuentren al 20% de llenado, el área mínima de seguridad (ecuación 4) requerida para cumplir con las distancias según el volumen instalado, el área mínima de circulación (ecuación 5) establecida como aquella área en la cual se podrían hacer trabajos de mantenimiento sin dificultades y la autonomía del sistema, es decir los días que se tiene combustible en los recipientes hasta la siguiente recarga (ecuación 6).

### 3. Presentación y análisis de resultados

La tabla 1 muestra la potencia total instalada del sistema, aplicando la (ecuación 8).

**Tabla 1.** Equipos de consumo de GLP

Equipos	Cantidad	P <sub>i</sub> kW	P <sub>tot</sub> kW
Quemador	6	60	360
Horno	1	600	600
<b>Total</b>	<b>7</b>		<b>960</b>

Esta potencia instalada (960 kW) debe satisfacerse desde los recipientes y transportarse a través de las tuberías.

#### 3.1 Optimización en el almacenamiento (recipientes)

La tabla 2 muestra la capacidad natural de vaporización de recipientes estacionarios para almacenamiento de GLP (ecuación 1), aplicando lo siguiente:  $p = 0,336$  [16],  $K = 0,016$  [kW/m<sup>2</sup>°C] [16],  $T_e = 22,5$  [°C] [30],  $T_g = -26$  [°C] [16],  $CLV = 0,11$  [kWh/Kg] [16].

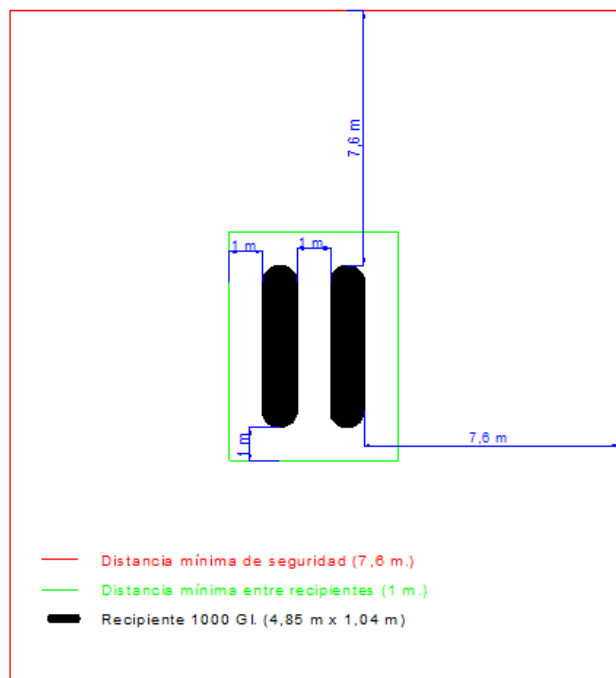
De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto a la instalación de grupo de recipientes se puede decir lo siguiente:

- La opción de 2 recipientes de 1000 Gl. c/u ofrece la mejor alternativa en los criterios de menor área de seguridad (498,8 m<sup>2</sup>) y menor área mínima (34,8 m<sup>2</sup>).
- La opción de 6 recipientes de 250 Gl c/u es la mejor alternativa si el criterio de selección es la autonomía.
- La opción de 2 recipientes de 2000 Gl. c/u ofrece la alternativa menos favorable en los criterios de menor área de seguridad (1764 m<sup>2</sup>) y menor área mínima (70,25 m<sup>2</sup>).

- Los grupos de 6 recipientes de 250 Gl, 4 recipientes de 500 Gl y 2 recipientes de 1000 Gl tienen las mismas distancias de seguridad hacia terceros (7,6 m) y distancia mínima entre recipientes (1 m).

Pueden buscarse configuraciones donde se combinen recipientes de diferentes capacidades, sin embargo, esto no es aconsejable ya que el vaciado de estos no va a ser homogéneo, y eso traerá problemas de caída de presión en el sistema.

La figura 1 muestra la disposición final del grupo de recipientes que optimizan el sistema (2 recipientes de 1000 Gl. c/u. y de las distancias mínimas que se deben respetar con respecto a la ubicación entre estos recipientes, la limitación para circulación de personal de mantenimiento e inspección y la distancia de seguridad desde sus paredes con respecto a terceros que pueden ser elementos que incrementen el riesgo del almacenamiento del combustible.



**Figura 1.** Mínima distancia de seguridad, mínima distancia entre recipientes y menor área de seguridad.

### 3.2 Optimización en el diámetro de tuberías

Aplicados los criterios para determinación del diámetro óptimo de tubería, y según la ubicación de reguladores de presión se puede determinar lo siguiente:

#### a) Media presión:

Para determinar los diámetros mínimos en media presión se utilizan las ecuaciones 7,8 y 9 además de las siguientes constantes:

**Tramo 1:**  $Q_s = 960$  [kW],  $L = 38$  [m],  $Le = 45,6$  [m],  $p_1 = 1,2$  [Bar];  $p_2 = 1,08$  [Bar] (10% de caída de la presión manométrica [32]),  $d = 1,5$  [12],  $E = 0$  [Pa<sup>2</sup>] [12].

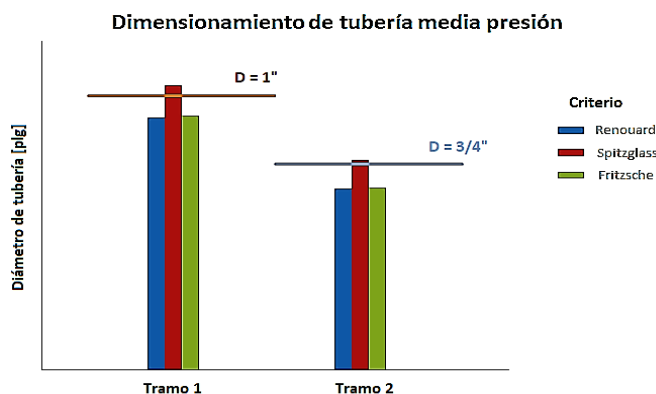
**Tramo 2:**  $Q_s = 360$  [kW],  $L = 40$  [m],  $Le = 48$  [m],  $p_1 = 1,2$  [Bar];  $p_2 = 1,08$  [Bar] (10% de caída de la presión manométrica [32]),  $d = 1,5$  [12],  $E = 0$  [Pa<sup>2</sup>] [12].

La tabla 3 muestra los resultados de los diámetros obtenidos de acuerdo a los criterios planteados, para cada uno de los tramos, y como se tienen comercialmente diámetros definidos, aquellos resultados intermedios deben ser ajustados a los diámetros comerciales inmediatamente superiores.

**Tabla 3.** Diámetros de tubería (media presión)

Tramo	Renouard		Spitzglass		Fritzche	
	Calc	Com	Calc	Com	Calc	Com
	plg	plg	plg	plg	plg	plg
1	0,921	1	1,04	1 ¼	0,925	1
2	0,660	¾	0,765	1	0,666	¾

En la figura 2 se muestra la comparación de los diámetros obtenidos y el ajuste a realizar al diámetro comercialmente superior.



**Figura 2.** Diámetros de tuberías calculados vs. diámetros comerciales disponibles para media presión.

Para los tramos 1 (960 kW) y 2 (360 kW), los criterios de Renouard y Flitzche entregan resultados de diámetros bajo 1" y 3/4" respectivamente. El criterio de Spitzglass es más conservador y arroja unos resultados de 1 1/4" y 1" respectivamente, y si escogeríamos este criterio estaríamos sobredimensionando el sistema.

### b) Baja presión

Se utilizan las ecuaciones 10, 11 y 12 con las siguientes constantes para el cálculo en baja presión, con las siguientes constantes:

$Q_s = 180$  [kW],  $L = 16$  [m],  $L_e = 19,2$  [m],  $p_1 - p_2 = 150$  [Pa] [33],  $d = 1,5$  [12],  $C = 4,635$ [27].

La tabla 4 muestra los resultados de los diámetros obtenidos para baja presión de acuerdo a los criterios planteados.

Tabla 5. Diámetros de tubería (baja presión)

Renouard		Spitzglass		Fritzche	
Calc	Com	Calc	Com	Calc	Com
plg	plg	plg	plg	plg	plg
0,976	1	1,08	1 1/4	1,072	1

En la figura 3 se muestran los diámetros calculados que han sido ajustados al diámetro comercial inmediatamente superior.

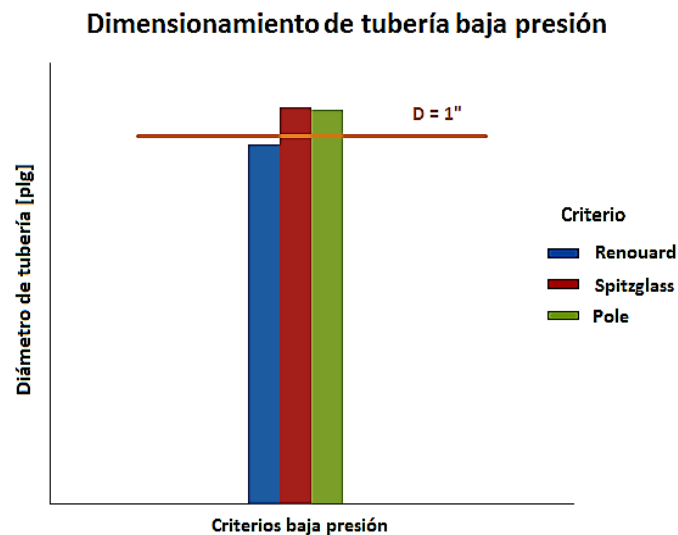


Figura 3. Diámetros de tuberías calculados vs. diámetros comerciales disponibles para baja presión.

El criterio de Renouard entrega un resultado de diámetro bajo 1". Los criterios de Spitzglass y Pole son más conservadores y su resultado debe aproximarse a un diámetro comercial de 1 1/4", esto indica que si se escogen los criterios o de Spitzglass Pole, se estará sobredimensionando el sistema, se deberá comprar una tubería de diámetro mayor, y por ende se encarece el proyecto.

La disposición final de la tubería según los tramos y los criterios escogidos se puede observar en la figura 4.

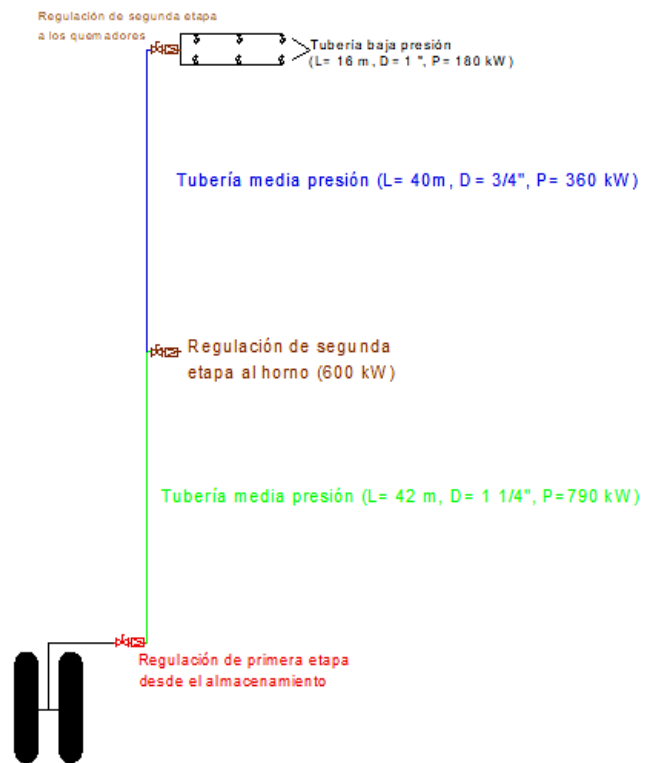


Figura 4. Tramos de tuberías de distribución.

## 4. Conclusiones

- Dimensionar adecuadamente un sistema de conducción de GLP garantiza satisfacer el funcionamiento adecuado de los equipos de consumo según su requerimiento de caudal y presión.
- Al respetar las distancias de seguridad establecidas en las normativas desde los recipientes hacia terceros se disminuye el riesgo generado por el almacenamiento del combustible.
- Un óptimo dimensionamiento de un sistema va a generar ahorros significativos en los usuarios, al no tener que invertir en tuberías y accesorios de diámetros mayores.



- Un óptimo dimensionamiento parte de los datos correctos de los usuarios sobre las potencias de los equipos de consumo que va a disponer en su sistema y las horas proyectadas de consumo.
- No siempre es posible encontrar espacio disponible en una planta industrial para colocar los recipientes, por lo que se hace indispensable encontrar mecanismos para poder optimizar su ubicación.
- Si se prevé realizar futuras ampliaciones con nuevos equipos, se puede optar por dimensionar tuberías con criterios más conservadores, sobredimensionando inicialmente al sistema.

## 5. Referencias

- [1] D. Kimemia and H. Annegarn, "Domestic LPG interventions in South Africa: Challenges and lessons," *Energy Policy*, vol. 93, pp. 150–156, 2016.
- [2] L. Raslavi, S. Mockus, N. Ker, and M. Starevi, "Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 513–525, 2014.
- [3] K. J. Morganti, T. Mun, M. J. Brear, Y. Yang, and F. L. Dryer, "The Research and Motor octane numbers of Liquefied Petroleum Gas (LPG)," *Fuel*, vol. 108, pp. 797–811, 2013.
- [4] R. Kities, P. Mulder, and P. Rietveld, "Energy poverty reduction by fuel switching. Impact evaluation of the LPG conversion program in Indonesia," *Energy Policy*, vol. 66, pp. 436–449, 2014.
- [5] P. Boggavarapu, B. Ray, and R. V Ravikrishna, "Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners : Experimental and numerical studies," *Fuel*, vol. 116, pp. 709–715, 2014.
- [6] L. Raslavi, S. Mockus, N. Ker, and M. Starevi, "Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 513–525, 2014.
- [7] F. Chica, F. Espinoza, and N. Rivera, "Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diesel con la finalidad de reducir la contaminación del aire," *Ingenius Rev. Cienc. y Tecnol.*, vol. 4, pp. 73–81, 2010.
- [8] D. Venegas Vásconez, S. Celi Ortega, J. Rocha Hoyos, C. Ayabaca Sarria, and E. Mena Mena, "Manejo inseguro del gas licuado de petróleo en Panamá," *RIDTEC*, vol. 13, no. 2, pp. 22–30, 2017.
- [9] M. A. Johnsen and G. Nardini, "Manual de seguridad: Aspectos de inflamabilidad de los gases hidrocarburos," *Naciones Unidas*, 2009.
- [10] D. Venegas, "Seguridad en la instalacion de gases industriales (GLP)," in *II Congreso Internacional de Energía República Dominicana*, 2016, p. 14.
- [11] NFPA, *NFPA 54 Código Nacional de Gas Combustible*. National Fire Protection Association, 2012.
- [12] NFPA, *NFPA 58 Código del Gas Licuado de Petróleo Edición 2014*. National Fire Protection Association, 2014.
- [13] D. Venegas and Ó. Farías, "La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP," in *13º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica CIBEM*, 2017.
- [14] D. Venegas and C. Ayabaca, *Instalaciones de gas licuado de petróleo*, First Edit. 2017.
- [15] S. P. Kumar, B. V. S. S. S. Prasad, G. Venkatarathnam, K. Ramamurthi, and S. S. Murthy, "Influence of surface evaporation on stratification in liquid hydrogen tanks of different aspect ratios," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, pp. 1954–1960, 2007.
- [16] E. López Sopena, "Manual de instalaciones de GLP," 2001. [Online]. Available: <http://www.blancogas.com/estilo/normas/bg/09-glp-cepsa.pdf>.
- [17] D. Venegas, M. Melendrez, and M. Arrocha, "Materiales para instalaciones de Gas Licuado de Petróleo según National Fire Protection Association (NFPA)," in *SAM CONAMET*, 2016, pp. 545–546.
- [18] D. Venegas *et al.*, "Materiales recomendados por las Normas Internacionales para utilizar en una instalación de GLP," in *Asociacion Española de Ingeniería Mecánica*, 2016, pp. 599–606.
- [19] A. Hernández and A. García, "Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C. Depósitos fijos de GLP," 2008.
- [20] T. Abbasi and S. A. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management," *J. Hazard. Mater.*, vol. 141, pp. 489–519, 2007.
- [21] T. Abbasi and S. A. Abbasi, "The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE) is fifty ... and lives on!," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 21, no. 4, pp. 485–487, 2008.
- [22] V. Salazar, G. Martínez, and J. Abad, "Modelo para la determinación del tamaño óptimo de un tanque estacionario de almacenamiento de GLP aplicado al negocio de comercialización al granel," *Repos. la Esc. Super. Politécnica del Litoral*, 2016.
- [23] Fisher Emerson, *Guía para el comprador de Equipos Equipos de Gas LP - 31*. 2011.
- [24] E. B. Brucart, *Natural Gas*. Barcelona, 1987.
- [25] J. A. Andrés, R. Pomatta, S. A. Lastra, and M. . Gándara, *Gaseous Fuels Installations*. Madrid, 1997.
- [26] J. L. . Becco, "Liquified Petroleum Gases," Madrid, 1989.
- [27] P. M. Coelho and C. Pinho, "Considerations about equations for steady state flow in natural gas pipelines," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 262–273, 2007.
- [28] M. Mohitpour, H. Golshan, and A. Murray, *Pipeline desing & construction : A practical approach*. 2000.
- [29] A. Hernández and A. García, "Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias comunes Tipos A, B y C. Cálculo de instalaciones receptoras," 2008.
- [30] Climate-Data, "Clima: Panamá," 2017. [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/location/5885/>.
- [31] Trinity Industries de Mexico, "Tanques estacionarios para

exportación,” 2017. [Online]. Available:  
<http://www.trinitymexico.com/files/tanques-estacionarios-para-exportacion.pdf>.

[32] RegO Products, “RegO Catálogo L-102-SV Equipo de Gas LP y Amoníaco Anhidro,” 2011.

[33] Secretaría de Energía y Combustibles Gobierno de Chile, *Decreto N° 66 Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas*. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, 2007.

## 6. Anexo

### 6.1 Nomenclatura

$A_{\text{Min}}$  = Área mínima para circulación entre recipientes de GLP [ $\text{m}^2$ ]

$A_{\text{Seg}}$  = Área de seguridad para recipientes de GLP [ $\text{m}^2$ ]

Aut = Autonomía del sistema [día]

C = Constante en la Ecuación de Pole

Calc = diámetro obtenido según fórmulas planteadas.

$Cap_{\text{real}}$  = Capacidad real del tanque = 0,65 Capacidad total [Gl] (resta entre el máximo nivel de llenado (85%) – el nivel mínimo de reserva de emergencia 20%)

CLV = Calor latente de vaporización [kWh/Kg]

Com = diámetro comercial más cercano al calculado

$C_p$  = capacidad calorífica del GLP [BTU/Gl]

D = diámetro interno de tubería [m]

d = densidad relativa del gas

$D_{\text{Min}}$  = Distancia mínima para circulación entre recipientes [m]

$D_r$  = Diámetro del recipiente

$D_{\text{Seg}}$  = Distancia mínima de seguridad desde las paredes de los recipientes hacia terceros [m]

E = Energía potencial térmica [ $\text{Pa}^2$ ]

h = horas al día de funcionamiento de equipos [hr/día]

K = Coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del recipiente [ $\text{kW}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ]

L = longitud de tubería [m]

$L_{\text{eq}}$  = longitud equivalente [m],

$L_r$  = Longitud del recipiente

n = Número de recipientes instalados

p = Porcentaje de superficie mojada del depósito

$p_1$  = presión absoluta de entrada a la tubería [Pa]

$p_2$  = presión absoluta de salida en la tubería [Pa]

$P_i$  = Potencia individual del equipo de consumo [kW]

$P_{\text{ins}}$  = Potencia instalada [BTU/hr]

$P_s$  = presión estándar,  $1,013 \times 10^5$  Pa

$P_{\text{tot}}$  = Potencia total instalada del sistema [kW]

Q = Capacidad de vaporización natural [kW]

$Q_s$  = flujo volumétrico a condiciones estándar [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

S = Superficie del recipiente [ $\text{m}^2$ ]

$T_e$  = Temperatura exterior mínima [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_g$  = Temperatura de equilibrio líquido gas [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_s$  = temperatura estándar 288,15 K



## Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador

### Determination of cadmium, lead and ochratoxin in the flour coming from the shells of two varieties of cocoa in Ecuador

Ahmed El Salous<sup>1\*</sup>, Alina Pascual<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Internacional Iberoamericana-UNINI, México, <sup>1</sup>Docente de la Universidad Agraria del Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Internacional Iberoamericana-UNINI, México

\*Autor de correspondencia: [eelsalous@uagraría.edu.ec](mailto:eelsalous@uagraría.edu.ec)

**RESUMEN**— En la presente investigación, se evaluó la presencia de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de las variedades de cacao Nacional Arriba (cacao nativo, fino o de aroma) y el cacao Colección Castro Naranjal (CCN 51) en Ecuador, para su uso en los procesos de elaboración de galletas y panes.

Se tomaron cinco muestras de 2000 g cada una, de 5 lotes diferentes para cada variedad de cacao en dos industrias cacaoteras en la provincia del Guayas. Se realizó la molienda con un molino marca Oster, se homogenizaron las muestras y se empacaron 700 g de las cáscaras molidas de cada variedad de cacao en fundas de polietileno de baja densidad, para poder realizar la determinación de cadmio, plomo y ocratoxina. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado para realizar los análisis correspondientes. Debido a que en Ecuador no existe alguna norma de calidad para la harina proveniente de las cascarillas de cacao, se aplicaron las normas INEN 616 e INEN 621, las cuales definen los requisitos que debe cumplir la harina de trigo y los chocolates respectivamente para que sean aptos para el consumo humano. Los resultados comprueban que la harina proveniente de las cascarillas de ambas variedades cumple con los criterios establecidos en la norma INEN 621 y por consiguiente se garantiza su uso para la elaboración de panes, pasteles o galletas de chocolate como alternativa del uso del cacao en polvo.

**Palabras clave**— *Cacao en polvo, metales pesados, micotoxina.*

**ABSTRACT**— In the present investigation, the presence of cadmium, lead and ochratoxin in the flour from the cascarillas of the cacao varieties Nacional Arriba and the cacao CCN 51 in Ecuador was evaluated, for its use in the processes of cookies and breads making. Five samples of 2000 g each were taken, from 5 different lots for each variety of cocoa in two cacaoteras industries in the province of Guayas. The milling was carried out with an Oster mill, the samples were homogenized and 700 g of the ground husks of each variety of cocoa were packed in low density polyethylene covers, in order to perform the determination of cadmium, lead and ochratoxin. The samples were sent to a certified laboratory to perform the corresponding analyzes. Due to the fact that in Ecuador there is no quality standard for flour from cocoa husks, the INEN 616 and INEN 621 standards were applied, which define the requirements that wheat flour and chocolates must comply with in order to be fit for human consumption. The results prove that the flour from the husks of both varieties meets the criteria established in the INEN 621 standard.

**Keywords**— *Cocoa powder, heavy metals, mycotoxin.*

### 1. Introducción

El cultivo y la transformación del cacao en Ecuador tienen un gran aporte económico al país. Revisando los datos dados por la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (ANECACAO), se observó que durante el año 2015 la exportación de productos semielaborados (pasta, manteca y torta de cacao) y terminados del cacao (barras de chocolate y bombones rellenos) alcanzó 24,19 mil toneladas, según datos considerados hasta el mes de noviembre del mismo año [1].

Sin embargo, las cascarillas que se eliminan de los granos del cacao se consideran como desechos

agroindustriales, generando un problema en el manejo de las mismas ya que no son utilizadas para el consumo humano, ni genera un ingreso económico importante para las industrias. Se realizó un estudio en Venezuela utilizando las cascarillas para la elaboración de infusiones, las cuales tenían ventaja económica, pero la calidad microbiológica estuvo fuera de los límites permitidos según los parámetros del documento no oficial Convenin (2002) [2].

Por otro lado, en el trabajo realizado en Brasil (2017) sobre la aplicación de las cascarillas del cacao en la industria, se confirmó que las cascarillas tienen alto

**Citación:** A. El Salous y A. Pascual, "Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, n.º 1, pp. 49-53, Jun. 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 26 de enero de 2018. **Recibido con correcciones:** 30 de enero de 2018. **Aceptado:** 11 de abril de 2018.

**Copyright:** 2018 A. El Salous y A. Pascual. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

valor nutricional y diferentes biocompuestos como los compuestos fenólicos, teobromina y fibras dietéticas. Además, el perfil de los lípidos es similar a la manteca del cacao; el color y sabor de las cascarillas son similares al del chocolate, por lo antes mencionado a la cascarilla del cacao se la considera materia prima con gran potencia para ser explotada en la industria, según los investigadores [3].

Con relación a la presencia de la ocratoxina en el cacao, una investigación se realizó en Perú para evaluar la presencia de ocratoxina en el cacao blanco durante el proceso de cosecha, fermentado, secado y almacenado, donde se observó la presencia de esta toxina solo durante la etapa de fermentación con una concentración de  $(1,92 \pm 0,02 \mu\text{g kg}^{-1})$ , estando ausente en el resto de las etapas [4]. Por otro lado, en un estudio realizado en Malasia para determinar los metales pesados en cacao y derivados de cacao, se determinó un nivel de contaminación con cadmio en las cascarillas del cacao tostado del  $1,53 \text{ mg/Kg}$  al  $2,11 \text{ mg kg}^{-1}$  mientras que, para la concentración de plomo en las cascarillas de cacao tostado, los investigadores determinaron un valor del  $7,21 \text{ mg kg}^{-1}$  al  $9,14 \text{ mg kg}^{-1}$  [5].

En base a estos antecedentes, el objetivo de esta investigación es determinar la presencia de ocratoxina, plomo y cadmio en la harina proveniente de las cascarillas del cacao de las variedades Nacional Arriba y CCN 51, debido a la falta de información científica sobre la presencia de los contaminantes antes mencionados en las cascarillas del cacao, con la finalidad de determinar su utilidad en los procesos de elaboración de productos de panadería como galletas, panes y pasteles para el consumo humano.

## 2. Materiales y métodos

La toma de muestras para la presente investigación fue realizada en la provincia del Guayas, Ecuador. Para llevar a cabo esta investigación, se tomaron cinco muestras de 2000 g de cascarillas de cacao tostado de cinco lotes diferentes en dos industrias cacaoteras, una industria facilitó las muestras provenientes del cacao Nacional Arriba y la otra industria facilitó las muestras provenientes del cacao CCN 51. De esta manera se contó con un total de 10 muestras para las dos variedades de cacao.

Para la obtención de la harina, las muestras de ambas variedades fueron molidas por separado en un molino

marca Oster para después ser homogenizadas y almacenadas en fundas de polietileno de baja densidad. Dos muestras de 500 g de cada variedad fueron enviadas a un laboratorio acreditado en la ciudad de Guayaquil para la determinación de cadmio y plomo, mientras que, para la determinación de la presencia de ocratoxina, dos muestras de 200 g de cada una fueron enviadas a un laboratorio acreditado en la ciudad de Quito.

Para la determinación de ocratoxina existen diferentes métodos, entre los cuales están: Cromatografía líquida acoplada a la espectrometría de masas (LC-MS-MS), Cromatografía líquida de alta resolución acoplada a un detector de fluorescencia, técnica cualitativa del Test (ELISA), empleo de inmunosensores específicos para la detección de OTA, extracción con polímeros de impronta molecular e inmunosensores nanoestructurados piezoeléctricos y electroquímicos; y detección de metabolitos fúngicos con actividad tóxica mediante bioensayos sobre *Artemia salina* [6].

El análisis para determinar la ocratoxina fue realizado en un laboratorio en la ciudad de Quito bajo el método Elisa (validado por el USDA/FGIS y método oficial AOACO) por su rapidez, alta sensibilidad y bajo costo.

Para determinar el cadmio y el plomo en las muestras de la harina de las cascarillas procedentes de ambas variedades de cacao, se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica.

Los espectrofotómetros de absorción atómica constituyen una de las técnicas más empleadas para la determinación de más de 60 elementos, principalmente en el rango de  $\mu\text{g/ml}$ - $\text{ng/ml}$  en una gran variedad de muestras [7].

El método de espectrofotómetro de digestión con horno de microondas debido a que, si bien es cierto el equipo utilizado es sustancialmente más caro, la manipulación de la muestra es mínima, evitándose la pérdida de analitos por volatilización, la contaminación de la muestra, la exposición por parte del analista a los vapores generados durante la digestión ácida y la disminución sustancial del tiempo invertido en la mineralización de la materia orgánica [8].

Para la determinación de metales pesados, se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica, según los métodos de referencias: Pi\_MP2 AOAC

999.10 Ed. 20, 2016 para la determinación de cadmio y  $Pi\_MP3$  AOAC 999.10 Ed. 20, 2016 para la determinación de plomo, donde se realizó la digestión de las muestras por microonda y espectroscopia de absorción atómica en horno de grafito.

Debido a que en Ecuador no existe alguna norma de calidad para la harina proveniente de las cascarillas de cacao, se aplicaron las normas INEN 616 e INEN 621, las cuales definen los requisitos que debe cumplir la harina de trigo y los chocolates respectivamente para que sean aptos para el consumo humano.

### 3. Resultados y discusión

Con relación a la presencia de la ocratoxina, los resultados de los análisis para la harina proveniente de las cascarillas de cacao CCN 51 y Nacional Arriba se detallan en la tabla 1, donde se puede observar que la harina proveniente de ambas variedades no cumple con los parámetros según la norma INEN 616 (2015) para harina de trigo, mientras que en la norma INEN 621 (2010) para chocolate, no se presenta una referencia para la ocratoxina. Así mismo, se puede observar que el valor obtenido para la presencia de dicha toxina es menor en la harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba.

**Tabla 1.** Determinación de ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN 51 y del cacao Nacional Arriba

Variedad de cacao	Valor obtenido	Límite de aceptación según INEN 616	Límite de aceptación según INEN 621
CCN 51	25 $\mu\text{g kg}^{-1}$	5 $\mu\text{g kg}^{-1}$	No aplica
Nacional Arriba	7,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$	5 $\mu\text{g kg}^{-1}$	No aplica

En un trabajo realizado en Brasil en el 2013 sobre la presencia de ocratoxina en cascarillas, almendras, pasta, torta, polvo de cacao y polvo alcalizado de cacao se determinó niveles de concentración en las cascarillas del  $1.13 \pm 1.28 \mu\text{g kg}^{-1}$  mencionando que es el nivel más alto de ocratoxina encontrado con comparación a los restos de productos estudiados en dicha investigación, sin embargo esta concentración es mucho más baja que lo reportado en el presente trabajo [9].

Por otro lado, en una investigación realizada en Ecuador sobre 87 muestras de chocolate para la determinación de ocratoxina y comparar los resultados con la norma brasileña, se confirmó que el 3,4% de las muestras se encuentran dentro de la norma (5 ppb) y el 96,6% se encuentran fuera de la norma [10].

Mientras que Soto, confirmó la ausencia de ocratoxina en todas las muestras de las cascarillas del cacao en su investigación realizada en Venezuela, justificando en sus resultados que la ausencia de contaminación en el cacao fue por utilizar equipos de secado [2], por lo que la contaminación de las muestras en el estudio actual puede deberse al secado solar o por fermentación inadecuada de las almendras del cacao.

Con relación a la determinación de plomo y cadmio en la harina proveniente de las cascarillas del cacao, los resultados se presentan en las tablas 2 y 3 respectivamente. Para la harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN 51 como se puede observar en la tabla 2, el contenido de cadmio está por encima de los límites de aceptación según la norma INEN 616 (2015) [8], con un valor de  $0,54 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que la norma INEN 621 (2010) [9] no establece ningún criterio para este metal.

**Tabla 2.** Resultados de la determinación de cadmio y plomo en la harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN 51

Parámetro	Valor obtenido	Límite de aceptación según INEN 616	Límite de aceptación según INEN 621
Cadmio	0,54 $\text{mg kg}^{-1}$	0,2 $\text{mg kg}^{-1}$	No aplica
Plomo	0,17 $\text{mg kg}^{-1}$	0,2 $\text{mg kg}^{-1}$	1 $\text{mg kg}^{-1}$

Por otro lado, los resultados sobre la presencia de cadmio y plomo en la harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba reflejan valores más altos para ambos metales, en comparación con los resultados reportados para la harina proveniente de las cascarillas de cacao CCN 51, tal como se puede observar en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de la determinación de cadmio y plomo en la harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba

Parámetro	Valor obtenido	Límite de aceptación según INEN 616	Límite de aceptación según INEN 621
Cadmio	1,11 mg kg <sup>-1</sup>	0,2 mg kg <sup>-1</sup>	No aplica
Plomo	0,34 mg kg <sup>-1</sup>	0,2 mg kg <sup>-1</sup>	1 mg kg <sup>-1</sup>

Según la norma INEN 616 (2015) los resultados de la presencia de cadmio y plomo están por encima de los límites de aceptación en ambas variedades [11], pero según la norma INEN 621 (2010) el nivel de plomo está en el rango de aceptación, sin embargo, esta norma no exige límite para el cadmio [12]. En un estudio realizado en el año 2017 para determinar los niveles de metales tóxicos en el polvo de cacao utilizando el método de Espectrometría de masas de plasma acoplado por inducción, se reportó una concentración de  $0,303 \pm 0,035$  mg kg<sup>-1</sup> para el cadmio, valor más bajo del reportado en la presente investigación para ambas variedades; y para el plomo la concentración fue de  $1,228 \pm 0,146$  mg kg<sup>-1</sup> valor aproximadamente más alto con 350% que lo reportado para la cascarillas de la variedad Nacional Arriba y aproximadamente 700% más alto que lo reportado para las cascarillas del cacao CCN 51 [13].

Un estudio realizado confirmó que la intoxicación humana por cadmio es muy rara y la exposición crónica a altos niveles de cadmio puede aumentar la acumulación de este metal en algunos órganos del cuerpo humano [14].

En el trabajo realizado sobre la determinación de metales pesados en las almendras de cacao en Venezuela, para el periodo 2013, se encontró que niveles de contaminación con cadmio entre 1,74 y 2,09 mg kg<sup>-1</sup> para el cacao híbrido, mientras que, para el cacao porcelana, los valores de contaminación de este metal estuvieron entre 1,82 y 1,9 mg kg<sup>-1</sup>. Para ambos tipos de cacao estudiados, se reportaron niveles más altos de este metal que los reportados en esta investigación [15].

Los resultados de cadmio obtenidos en las harinas del cacao Nacional Arriba y del cacao CCN 51 fueron comparados con los niveles establecidos en el documento titulado Propuestas de niveles máximos para

el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao, elaborado por la Comisión de Codex Alimentarios en el año 2015 [16], donde se reportan niveles de cadmio en polvo de cacao hasta de 1,5 mg Kg<sup>-1</sup>, mientras que para chocolate con contenido de materia seca total de cacao  $\geq 50\%$ , valores hasta de 2 mg/Kg, los cuales son niveles más altos que los reportados en esta investigación, mientras que el documento antes mencionado no establece niveles de plomo.

Por otro lado, en un estudio realizado en Pakistán para determinar la concentración de cadmio y plomo en derivados de chocolate, se encontraron concentraciones de 1,4 mg/Kg para el plomo y 0,19 mg/Kg para el cadmio [17]. Comparando estos resultados con los resultados de la presente investigación, se puede observar que la concentración de plomo reportada por Rehman y Husnain (2012) es más alta que la concentración de plomo reportada en ambas harinas, sin embargo, la concentración de cadmio es menor que las concentraciones encontradas en ambas harinas de este estudio.

Según la investigación realizada en 2013, se confirmó que la presencia de cadmio en los granos de cacao tiene relación con el pH del suelo [18]. Es importante indicar que en la investigación antes mencionada no se evidenció acumulación o concentración del cadmio en las cascarillas del cacao. Sin embargo, la acumulación del cadmio en los granos podrá ser considerado como un indicador al absorber este metal desde el árbol del cacao, y por consecuencia, en las cascarillas de las almendras del cacao.

Con relación a la contaminación del cacao con plomo, se confirmó que la contaminación con este metal tiene un nivel promedio de  $\leq 0,5$  ng g<sup>-1</sup> para los granos frescos tomados de seis fincas cacaoteras en Nigeria, lo cual es una concentración que aumenta durante el proceso de elaboración de derivados del cacao hasta alcanzar un valor de, 230 ngg<sup>-1</sup> para cacao en polvo y hasta 70 ng g<sup>-1</sup> para chocolate. Este aumento se atribuye a la contaminación atmosférica debido a la capacidad de las cascarillas del cacao a absorber el plomo [19], como por ejemplo la contaminación por los gases emitidos por los automóviles, ya que el secado solar de las almendras del cacao se realiza en el paso cerca de las vías y a veces sobre el asfalto, o también por los equipos que

trabajan con combustible durante la fabricación de derivados de cacao.

#### 4. Conclusiones

Las harinas provenientes de las cascarillas de las variedades de cacao analizadas tienen niveles altos de ocratoxina según la norma INEN 616, sin embargo, no fue posible realizar una comparativa con la norma INEN 621 debido a que no establece límites para esta toxina. Con relación a la presencia de plomo, los valores obtenidos en la harina proveniente de las cascarillas tanto del cacao CCN 51 como del cacao Nacional Arriba cumplen con los parámetros establecidos en la norma INEN 621.

Respecto al nivel de cadmio en la harina proveniente de las cascarillas del cacao CCN 51, el valor determinado supera el límite máximo según la norma INEN 616, mientras que, los niveles de cadmio y plomo obtenidos en la harina proveniente de las cascarillas del cacao Nacional Arriba sobrepasan los límites máximos establecidos en esta norma.

Por tanto, la harina proveniente de las cascarillas del cacao analizada en este estudio, se considera como un derivado de cacao y podrá ser comercializada según la norma INEN 621 para chocolates siempre y cuando se realizaran los análisis nutricionales correspondientes según las normas del país.

Dicha harina podrá ser considerada como una alternativa del uso de la cocoa o cacao en polvo para la elaboración de panes, pasteles o galletas de chocolate.

#### 5. Referencias

- [1] ANECACAO. (s.f.). Recuperado el 11 de Junio de 2016, de <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>.
- [2] Soto, M. (Marzo de 2012). Desarrollo del proceso de producción de cascarilla de semilla de cacao en polvo destinada al consumo humano. Obtenido de Tesis de grado, Universidad de Simón Bolívar: <http://159.90.80.55/tesis/000155680.pdf>
- [3] Okiyama, D., Navarro, S., Rodrigues, C. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology, Volume 63*, 103-112.
- [4] Ramos, N., Castro, A., Juárez, J., De la Cruz, O., Rodríguez, N., Blancas, B., Escudero, J. y Navarro, A. (23 de Enero de 2017). Evaluación De Ocratoxina A En Theobroma Cacao L. Cacao Blanco” Durante El Proceso De Cosecha, Fermentado, Secado Y Almacenado. *Rev Soc Quím Perú*. Obtenido de SCIELO PERU: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a05v82n4.pdf>
- [5] Lee, C. y Low, K. (1985). Determination of Cadmium, Lead, Copper and Arsenic in Raw Cocoa, Semifinished and Finished Chocolate Products. Obtenido de *Pertanika*, vol.8 N.2, Universiti Putra Malaysia: [http://psasir.upm.edu.my/2305/1/Determination\\_of\\_Cadmium,\\_Lead,\\_Copper\\_and\\_Arsenic\\_in.pdf](http://psasir.upm.edu.my/2305/1/Determination_of_Cadmium,_Lead,_Copper_and_Arsenic_in.pdf)
- [6] Abreu, A., Armendáriz, C., Fernández, A. y De la Torre, A. (2011). La ocratoxina A en alimentos de consumo humano: revisión. *NUTRICIÓN HOPITALARIA. ISSN 0212-1611*, 1215-1226.
- [7] Razmilic, B. (1994). *CONTROL DE CALIDAD DE INSUMOS Y DIETAS ACUICOLAS- SPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/ab482s04.htm>
- [8] Silva, P. (2012). Digestión en horno de microondas para determinación de contenido de hierro y zinc totales en alimentos. *Tecnología en Marcha, Vol. 25, N.º 3*, 96-100.
- [9] Copettia, M., Iamanaka, B., Nester, M., Efraim, P., Taniwaki, M. (2013). Occurrence of ochratoxin A in cocoa by-products and determination of its reduction during chocolate manufacture. *Food Chemistry, Volume 136, Issue 1*, 100-104.
- [10] Bonilla, W. y Cazar, M. (Marzo de 2013). Análisis De Ocratoxina En Chocolate De Hoja Comercializado En Los Mercados De La Ciudad De Cuenca. Tesis De Maestría. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CUENCA: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2525/1/09713.pdf>
- [11] INEN. (2015). INEN 616. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/nte-inen-616-4.pdf>.
- [12] INEN. (2010). INEN 621. Obtenido de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/621.pdf>
- [13] Lo Dico, G., Galvano, F., Dugo, G., D'ascenzi, C., Macaluso, A., Vella, A., Giangrosso, G., Cammilleri, G., Ferrantelli, V. (15 de Abril de 2017). Toxic metal levels in cocoa powder and chocolate by ICP-MS method after microwave-assisted digestion. *FOOD CHEMISTRY, Volume 245*, 1163-1168.
- [14] Page, A. El-Amamy, M y Chang, A. (2017). Cadmium in the Environment and its Entry into Terrestrial Food Chain Crops. En A. E.-A. Page, *Handbook of Experimental Pharmacology* (págs. 33-74). Springer. VENEZUELA. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. ISSN: 1315-0162, 106-115.
- [15] Lanza, J., Cesar, P., Liendo, N. y López, V. (2016). Evaluación Del Contenido De Metales Pesados En Cacao (Theobroma Cacao L.) de Santa Bárbara Del Zulia.
- [16] CODEX. (16-20 de Marzo de 2015). Anteproyecto De Niveles Máximos Para El Cadmio En El Chocolate Y Productos Derivados De Cacao. Obtenido de FAO: [ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09\\_06s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09_06s.pdf)
- [17] Rehman, S. y Husnain, S. (2012). Assessment of trace metal contents in chocolate samples. *Journal of Trace Element Analysis*, 1-11.
- [18] Crozier, J. (2013). Heavy Metals in Cocoa. Obtenido de CABI: <https://www.icco.org/sites/sps/documents/Cadmium%20Workshop/CABI.pdf>
- [19] Rankin, C., Nriagu, J., Aggarwal, J., Arowolo, T., Adebayo, K., y Flagal, A. (26 de Octubre de 2005). Lead Contamination in Cocoa and Cocoa Products: Isotopic Evidence of Global Contamination. Obtenido de *Environmental Health Perspectives*: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1281277/>

# Arquitectura de *software* para el desarrollo de videojuegos sobre el motor de juego Unity 3D

## Software architecture for the development of videogames on the game engine Unity 3D

Andy Hernández Paez<sup>1\*</sup>, Javier Alejandro Domínguez Falcón<sup>2</sup>, Alejandro Andrés Pi Cruz<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Centro de Entornos Interactivos 3D, Vertex, Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2½, Torrens, La Lisa, La Habana, Cuba

\*Autor de correspondencia: [andyhp@uci.cu](mailto:andyhp@uci.cu)

**RESUMEN**— En los últimos años la arquitectura de *software* se ha consolidado como una disciplina que intenta contrarrestar los efectos negativos que pueden surgir durante el desarrollo de un producto informático, ocupando un rol significativo en la estrategia de negocio de una organización que basa sus operaciones en el *software*, volviéndose necesaria para todo tipo de desarrollo, incluyendo los videojuegos. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar una arquitectura de *software* para videojuegos desarrollados sobre el motor de juego Unity 3D, que permita organizar y estructurar sus características funcionales básicas. A partir del estudio de arquitecturas usadas en videojuegos se agruparon las clases candidatas de la solución propuesta, identificándose los paquetes principales, dependencias entre ellos, patrones de diseño y buenas prácticas empleadas, concretando una arquitectura de *software* basada en la integración de los tipos de arquitectura: en capas y basada en componentes. Se desarrolla un prototipo funcional de un videojuego del género plataformas, empleando para describirlo elementos del diseño de videojuegos, especificación de mecanismos y las vistas propuestas por Robert Nord: conceptual, de módulos, de código y de implementación. La arquitectura propuesta fue validada a través de las técnicas de evaluación basadas en prototipos, en escenarios y en conjunto con la aplicación del método de Análisis de Acuerdos de Arquitectura de *Software*. Con la aplicación de esta técnica se identificaron los riesgos presentes en la arquitectura propuesta, teniendo en cuenta el comportamiento de atributos de calidad sobre la solución, según el modelo ISO/IEC 25010.

**Palabras clave**— *Arquitectura de software, ISO/IEC 25010, Unity 3D, videojuegos.*

**ABSTRACT**— In recent years, the software architecture has consolidated as a discipline that tries to counteract the negative effects that may arise during the development of a computer product, playing a significant role in the business strategy of an organization that bases its operations on software, becoming necessary for all kinds of development, including video games. The present research aims to develop a software architecture for video games developed on the game engine Unity 3D, which allows organizing and structuring its basic functional characteristics. Based on the study of architectures used in video games, the candidate classes of the proposed solution were grouped, identifying the main packages, dependencies among them, design patterns and good practices used, specifying a software architecture based on the integration of architecture types: layered and component based. It develops a functional prototype of a video game of the genre platforms, using to describe it elements of video game design, specification of mechanisms and the views proposed by Robert Nord: conceptual, modules, code and implementation. The proposed architecture was validated through evaluation techniques based on prototypes, in scenarios and in conjunction with the application of the Software Architecture Agreement Analysis method. The application of this technique identified the risks present in the proposed architecture, taking into account the behavior of quality attributes on the solution, according to the ISO / IEC 25010 model.

**Keywords**— *Software architecture, ISO / IEC 25010, Unity 3D, videogames.*

### 1. Introducción

El uso de las Tecnologías de Información y la Comunicación (TIC) en los últimos años ha permitido extender la informática a muchos sectores, ocupando un lugar creciente en la vida humana y en el sistema de la sociedad. Uno de los procesos que mayor impacto ha tenido en la sociedad es el de creación de videojuegos, que se vuelve más complejo con el tiempo producto del aumento de los requerimientos de los usuarios.

Los videojuegos son una vía de entretenimiento interactivo en el que uno o varios usuarios, mediante un

dispositivo de entrada, se comunican con un sistema que posea imágenes de video. La plataforma en la que se desarrolle (o sistema) puede ser una computadora, consola, o incluso un celular. La interactividad usuario-sistema está dada por la capacidad del equipo de trabajo de planificar un sistema en el que el usuario se sienta cómodo y controle la situación [1].

Estos productos de *software* han evolucionado con increíble rapidez en los últimos años, convirtiéndose en una industria que cuenta con equipos de trabajo multidisciplinarios, al punto que para desarrollar un



videojuego es necesario, desde el concepto inicial hasta su versión final, el conocimiento de varias disciplinas y habilidades por parte del equipo de trabajo, tales como: programación, arquitectura de *software*, diseño y *marketing*. El desarrollo de productos de este tipo pasa por la creatividad y tiene en cuenta otros factores, como la estética o la temática en el instante de definir ciertos géneros [2].

Actualmente, se pueden encontrar en los mercados diferentes opciones de videojuegos, tales como: basados en licencias libres como comerciales que usan diferentes motores, los que se encargan de renderizado para los gráficos 2D y 3D, motor físico o detector de colisiones, sonidos, *scripting*, animación, inteligencia artificial, redes, *streaming*, administración de memoria y un escenario gráfico [3].

Entre los motores de juego más utilizados se encuentra Unity 3D [4], que es empleado para realizar proyectos tanto 2D como 3D, dado que posee un entorno de desarrollo sencillo de manejar para los principiantes y suficientemente potente para los expertos, permitiendo crear fácilmente videojuegos y aplicaciones para diversas plataformas.

El diseño y desarrollo de un videojuego es demasiado complejo para que pueda ser abordado por completo sin utilizar una estructura lógica que describa los componentes que lo forman. Otro aspecto esencial para estructurar y desarrollar un videojuego con la calidad deseada es la Arquitectura de *software* (AS), la cual se encarga de definir de forma abstracta, los componentes de un sistema, sus interfaces y la comunicación entre ellos. Una AS, consiste en un conjunto de patrones y abstracciones coherentes que proporcionan soluciones a problemas de manera eficiente [5], así como se encarga de satisfacer determinados atributos de calidad, tales como: mantenibilidad, extensibilidad, flexibilidad e interacción con otros sistemas de información [6].

En la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) en colaboración con los Estudios de Animación del Instituto Cubano de Arte e Industria Cinematográfico (ICAIC) se realizan videojuegos de diferentes géneros. Para ello la universidad cuenta con el Centro de Entornos Interactivos 3D Vertex, el cual tiene como objetivo generar soluciones integrales, tecnologías, productos y servicios informáticos virtuales que cumplan con las necesidades y expectativas de los

usuarios, con un alto valor agregado, resultado de un ciclo completo de I+D+I (Investigación-Desarrollo e Innovación) [7].

Este centro ha desarrollado varios productos utilizando el motor de juego Unity 3D, los cuales han sido liberados satisfactoriamente desde la Dirección de Calidad de la Universidad, algunos son: Súper Claria, Aventuras en la Manigua, Especies invasoras, La Neurona, Villa Tesoro y Caos Numérico. Después de la entrega de los productos antes mencionados se ha continuado con el desarrollo de nuevos videojuegos, pero se ha detectado, mediante consultas a expertos en el desarrollo, algunas limitaciones. La inexistencia de una estructura lógica basada en paquetes de la implementación dificulta el entendimiento de esta por parte del equipo de desarrollo y de los nuevos especialistas. Además, la poca representación y documentación que describe el funcionamiento de un videojuego que se desarrolle sobre el motor de juego Unity 3D, obstaculiza el proceso de su aprendizaje para los desarrolladores. Por otra parte, no se tiene referencia sobre el código fuente que se necesita para el desarrollo de nuevos videojuegos, lo que provoca desorganización en la implementación y diversidad en el modo que se implementa en los proyectos de este tipo. El análisis anterior conduce al siguiente problema de la investigación: ¿Cómo establecer una organización y estructuración funcional de las características básicas de un videojuego que se desarrolle sobre el motor de juego Unity 3D? El objetivo de esta investigación consiste en: Desarrollar una arquitectura de *software* para videojuegos implementados sobre el motor de juego Unity 3D, que permita organizar y estructurar sus características funcionales básicas.

## 2. Materiales y métodos

Como métodos científicos de investigación para la obtención de información sobre el proceso de desarrollo de videojuegos centrado en la arquitectura se emplearon, dentro de los teóricos: el histórico-lógico para el análisis y las tendencias actuales de las arquitecturas de *software*; el analítico-sintético para extraer y analizar la información sobre las principales arquitecturas de *software* usadas en el Centro de Entornos Interactivos 3D, Vertex. Dentro de los métodos empíricos se utilizaron: consultas de fuentes de información para el análisis de fuentes bibliográficas y

criterios de personal involucrado directamente con el proceso de desarrollo de videojuegos en el centro Vertex; la observación para observar los resultados obtenidos en la caracterización e identificación de los principales tipos de arquitecturas de *software* y proponer la solución

## 2.1 Arquitectura de *software*

Kruchten, en Rational Unified Process plantea: “La arquitectura de *software* representa la estructura o las estructuras del sistema, que consta de componentes de *software*, las propiedades visibles externamente y las relaciones entre ellas” [8].

Por otro lado, Robert Nord plantea [9]: “Arquitectura de *software* es sobre tomar decisiones estructurales fundamentales que son costosas de cambiar una vez implementado. Opciones de arquitectura de *software*, también llamados decisiones arquitectónicas, incluyen opciones estructurales específicas de posibilidades en el diseño de *software*. Por ejemplo, los sistemas que controlaban la lanzadera de espacio vehículo de lanzamiento tenía el requisito de ser muy rápido y muy confiable. Por lo tanto, una adecuada computación en tiempo real lengua tendría que ser elegido. Además, para satisfacer la necesidad de fiabilidad la elección podría realizarse para tener múltiples redundantes e independientemente producido copias del programa y ejecutar estas copias en independiente *hardware* y contrastar resultados”.

## 2.2 Conceptualización de videojuegos

Un videojuego o juego de video es un *software* creado para el entretenimiento en general y basado en la interacción entre una o varias personas y un aparato electrónico que ejecuta dicho videojuego; este dispositivo electrónico puede ser una computadora, una máquina arcade, una videoconsola, un dispositivo de mano (un teléfono móvil, por ejemplo) los cuales son conocidos como "plataformas" [1].

Aunque, usualmente el término "video" en la palabra "videojuego" se refiere en sí a un visualizador de gráficos, hoy en día se utiliza para hacer referencia a cualquier tipo de visualizador. Se entiende por videojuegos todo tipo de juego digital interactivo, con independencia de su soporte [2].

## 2.3 Arquitecturas de *software* utilizadas para el desarrollo de videojuegos

Un ejemplo que se podría citar es la Arquitectura para videojuegos serios con aspectos culturales, publicada por Ricardo Emmanuel Gutiérrez Hernández, Francisco Álvarez Rodríguez y Jaime Muñoz [10], de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en México, que consiste en una arquitectura en seis Capas, las cuales son: interfaz de usuario, escenario, objetos juego, decoración, aplicación y contexto cultural.

Para la propuesta de solución no se utilizará como referencia esta arquitectura, debido a que los videojuegos desarrollados en el centro Vertex no se centran en contextos culturales, sin embargo, el estudio de la organización de sus componentes brinda una mayor visión de cómo estructurar un sistema en capas, definiendo qué almacena cada una de manera más organizada.

Otro ejemplo cercano al contexto que se analiza es la tesis que lleva por título: “Diseño y Desarrollo de un Prototipo Básico de un Videojuego de Plataformas en 2D” publicada por Carlota Esteban Cazalla [11]. Para esta tesis se utilizó como motor de juego Unity 3D y una arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC).

El patrón MVC permite separar los datos de la lógica del videojuego. Sin embargo, desacoplar el modelo de la vista no significa que los desarrolladores del modelo puedan ignorar la naturaleza de las vistas. Si el modelo experimenta cambios frecuentes, podrían desbordarse las vistas con una lluvia de requerimientos de actualización, lo que trae consigo que no cumpla con el atributo de calidad mantenibilidad en proyectos con cambios frecuentes en los requisitos como suelen ser los videojuegos. Teniendo en cuenta estas limitantes, dicha arquitectura es utilizada como referencia solamente para concebir la estructuración y organización de los componentes del sistema en capas.

### 2.3.1 Arquitecturas de *software* utilizadas para el desarrollo de videojuegos en el centro Vertex

En el centro Vertex se han desarrollado videojuegos de diferentes géneros, contando con equipos de diversos programadores y arquitectos de *software*, que en la mayoría de los casos no coinciden, por lo que sus criterios a la hora de definir una AS para el videojuego difieren. Esto, sumado a que en muchos casos no se contaba con un estudio del arte referente al tema, ha traído consigo desorganización y dio origen a la

necesidad de proponer una AS que satisfaga la situación problemática antes descrita [12].

### 2.3.2 AS del videojuego Especies Invasoras

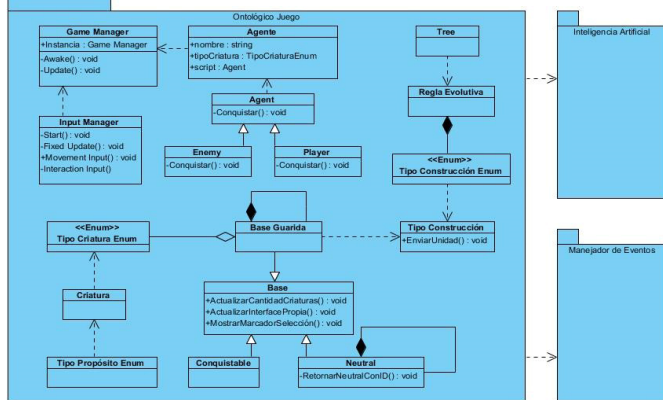


Figura 1. AS del videojuego Especies Invasoras.

En el videojuego Especies Invasoras se utilizó una arquitectura en tres Capas representada como se muestra en la figura 1 [12], funcionando de la siguiente manera:

**Ontológico Juego:** En esta capa se encuentra la lógica del videojuego, junto a las clases principales, cuya comunicación se evidencia de la manera planteada en la figura 1. En el Game Manager se implementó el patrón de diseño singleton, de manera que se tiene en el videojuego una única instancia de dicha clase para usarse cuando se requiera. Se puede apreciar también cómo heredan atributos y métodos las clases Conquistable, Neutral y Base Guardia de Base y Enemy y Player de Agent respectivamente.

**Manejador de Eventos:** En esta capa se implementó el patrón de diseño Event Handler, estando suscritas algunas de las clases del juego al manejador de eventos y controlando los mismos (el orden entre ellos) mediante una lista, debido a que el videojuego contaba con demasiados estados como para ser controlado con eficiencia mediante consultas simples.

**Inteligencia Artificial:** En esta capa se implementó la lógica de la inteligencia artificial y el comportamiento tanto de los personajes como los enemigos.

De la AS usada en el videojuego “Especies Invasoras”, buenas prácticas observadas que se pueden incorporar a la propuesta de solución son:

- La herencia de algunas de sus clases, que garantiza reutilización y extensibilidad.

- El polimorfismo observado en métodos como Conquistar(), que permite separar los elementos que cambian de los que no lo hacen. El método mencionado se implementa de diversas formas, facilitando la ampliación, el mantenimiento y la reutilización del código.
- El uso del patrón de diseño singleton en el Game Manager, que garantiza que haya una sola instancia de dicha clase, reduciendo la carga en memoria de datos y optimizando el código.
- El uso del manejador de eventos (Event Handler), lo que posibilita optimizar el control de acciones en un juego que tiene demasiados estados.

### 2.3.3 AS del videojuego Caos Numérico

Como solución a la estructura del videojuego Caos Numérico se usó una arquitectura por Capas [12], definida de la forma que se muestra en la figura 2.

En la capa principal se encuentran los managers (Game Manager, Data Manager, Audio Manager, Level Manager, Load Manager), cada uno de ellos tiene un patrón Singleton (una única instancia) implementado para comunicarse entre ellos y con la capa inferior.

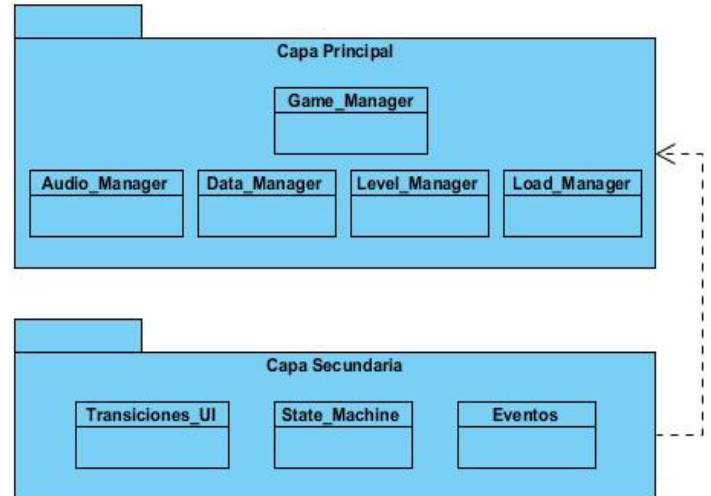


Figura 2. AS del videojuego Caos Numérico.

En la capa secundaria se encuentran las clases:

- **Transiciones UI:** Se encarga de las transiciones de la interfaz de usuario.
- **State Machine:** Se encarga de los diferentes estados que puede tener la escena principal, que es en la que se implementó la máquina de estados.
- **Eventos:** Usa tipo de datos delegate o delegado (propio de C#), representando métodos con una lista

de parámetros determinada y un tipo de valor devuelto. Se usa para llamar a los métodos a través de la instancia del delegado.

De la AS usada en el videojuego “Caos Numérico”, buenas prácticas observadas que se pueden incorporar a la propuesta de solución son:

- El uso del tipo de datos delegado para llamar a los métodos a través de instancias de ese tipo.
- El uso del patrón de diseño Singleton en cada uno de los *managers* (Game Manager, Audio Manager, Data Manager, Level Manager, Load Manager).
- La organización y estructuración del sistema en Capas.

A pesar de estas buenas prácticas cabe señalar que en la capa principal pudo implementarse el patrón de diseño fachada en el Game Manager. El objetivo de usarlo sería mantener una sola instancia de dicha clase y no de todas las que se accederá desde el Game Manager (Audio Manager, Data Manager, Level Manager, Load Manager).

Por otro lado, se toma como referencia para la propuesta de solución la posibilidad de estructurar los componentes de un producto base en diferentes capas según las arquitecturas estudiadas. De igual forma, la relación con las capas inmediatas que requieren y proporcionan determinados servicios para el control de los eventos contribuye a la extensibilidad de las soluciones que se desarrollen sobre el dominio de aplicación de videojuegos.

### 3. Resultados y discusión

A partir del estudio realizado se propone, una arquitectura que combina los patrones arquitectónicos: en Capas y basado en componentes, para estructurar los diferentes elementos necesarios en un videojuego. Los componentes de cada Capa se comunican con componentes de otras Capas a través de interfaces definidas o instancias de clases (en el caso de las clases se comunican con el Game Manager únicamente dado que es el que provee una fachada para las clases de la Capa Principal para interactuar con las demás). En la figura 3 se observa la distribución de las Capas presentes en la arquitectura propuesta estructurada en 3 Capas.

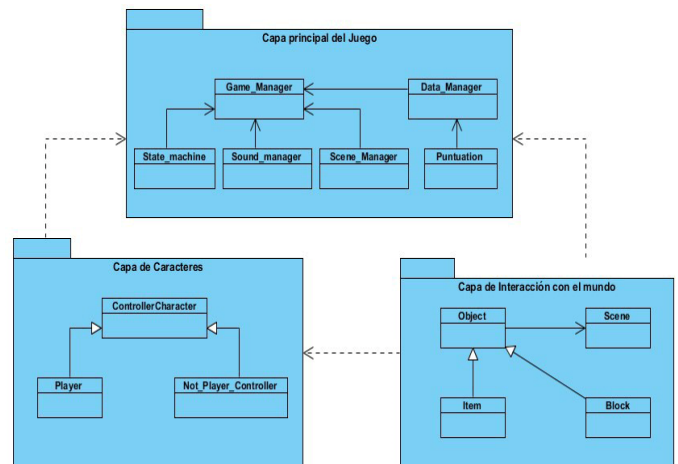


Figura 3. AS base para el desarrollo de videojuegos.

Según Pressman, desde un punto de vista orientado a objetos, un componente es un conjunto de clases que colaboran [5], por lo que en cada script de la AS propuesta se definen las clases requeridas para definirlo como un componente. Para cada uno de los componentes de la AS propuesta se definen las clases (con los atributos y operaciones apropiadas). Cada clase dentro de un componente se elabora por completo para que incluya todos los métodos y acciones relevantes para su implementación. Estos componentes fueron construidos teniendo en cuenta lo reutilizable, involucran interfaces, las funciones que realizan, así como la comunicación y colaboración que requieren. Como parte de la solución, también se definen todas las interfaces que permiten que las clases se comuniquen y colaboren con otras clases dependiendo de la Capa en la que se encuentren.

Las Capas están compuestas de la siguiente manera:

**Capa Principal del Juego:** En esta capa se encuentra el controlador principal del juego (Game Manager), la máquina de estados (State Machine), el sonido (Sound Manager), datos (Data Manager), escenas (Scene Manager System) y Puntuación.

- **Game Manager:** Es el controlador principal del sistema. Se implementa como un `gameObject` de Unity que se encuentra en todas las escenas del videojuego. Tiene asociados el resto de los managers, almacenando una instancia de cada uno de ellos. En caso de que se necesite usar puntuaciones para el videojuego, los datos se guardan en hashtables o tablas hash, que se encarga de asociar datos con valores y puede ser usada en la AS

propuesta para almacenar grandes cantidades de información si es necesario. Si se desea acceder al controlador principal del juego se usa un patrón de diseño singleton que se implementó en el mismo.

- **State Machine:** Se encarga de definir los estados del videojuego. Guarda los mismos en un enum que posee todos los diferentes estados que puede asumir el videojuego en un momento dado.
- **Sound Manager:** Controla el sonido del juego y particularmente de cada elemento o acción que active un sonido. Guarda los tipos de sonidos (dos tipos de sonido, o sea, dos listas: FX para Effects y BGM para Background) en listas usando estructuras (struct), formadas por tres elementos: un AudioClip, un AudioSource para poder reproducir el AudioClip y un enum que guarda los nombres de los sonidos para diferenciarlos a la hora de agregarlos al videojuego.
- **Data Manager:** Maneja los datos del juego. Se encarga de cargar, guardar el estado del videojuego o la puntuación.
- **Scene Manager:** Maneja las escenas del juego y los cambios entre ellas.
- **Puntuación:** Controla la puntuación del juego. En caso de no existir se puede eliminar esta clase de la arquitectura.

**Capa de Caracteres:** En esta capa se encuentran los caracteres (ControladorPersonaje), diferenciándose entre ellos por ser jugables (Player) o no jugables (NPC). Si se desea agregar otro tipo de personaje que intervenga en el videojuego se incorpora en esta capa.

**Capa de Interacción con el mundo:** En esta capa se encuentran el escenario y los objetos que pertenecen al mismo. Si existen otros tipos de objetos que modifiquen el videojuego se agregan a esta capa.

### 3.1 Restricciones arquitectónicas

- La arquitectura debe garantizar que los productos que se desarrollen sean multiplataforma (Android, Windows, Ubuntu).
- La arquitectura debe permitir la actualización, modificación o incorporación de componentes de forma natural.
- Las prestaciones de *hardware* dependerán de los requerimientos no funcionales de los productos que se desarrollen utilizando la arquitectura propuesta.
- Se debe usar como motor de videojuegos Unity 3D.

### 3.2 Vistas arquitectónicas

Para describir la arquitectura de *software* propuesta sobre el prototipo funcional desarrollado se utilizaron las vistas arquitectónicas que propone Robert Nord [9] y las buenas prácticas de ingeniería de *software* propuestas por el marco de trabajo ingenieril para el proceso de desarrollo de videojuegos utilizado en el centro Vertex [13]:

- Vista conceptual
- Vista de módulos
- Vista de código
- Vista de ejecución.

#### 3.2.1 Vista conceptual

En esta vista se describe el sistema en términos de sus elementos principales de diseño y las relaciones entre estos según el dominio como se visualiza en la figura 4. Esta vista es independiente de las decisiones de implementación [14].

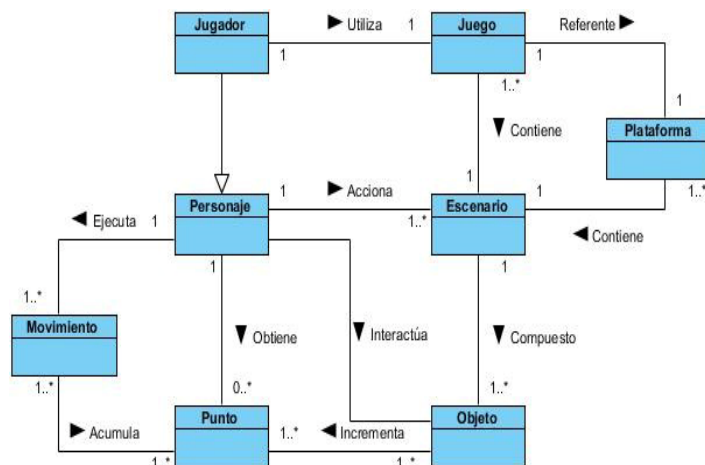


Figura 4. Modelo conceptual de la solución propuesta.

#### 3.2.2 Vista de módulos

En esta vista se captura la descomposición funcional y las Capas del sistema. El sistema es descompuesto lógicamente en subsistemas, módulos, y unidades abstractas. Cada capa representa las distintas interfaces de comunicación permitidas entre los módulos [14]. Las dependencias entre paquetes resumen dependencias entre los elementos internos a ellos como se muestra en la figura 5 [11].

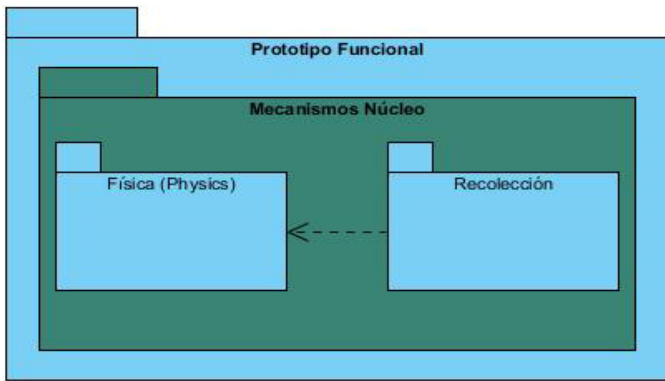


Figura 5. Diagrama de paquetes de la solución propuesta.

Para la representación de la interacción de las funcionalidades de la solución se utilizaron los diagramas de transición de estados para representar el comportamiento de objetos que se relacionan en procedimientos ejecutados del videojuego en tiempo real, tal y como se muestra en la figura 6.

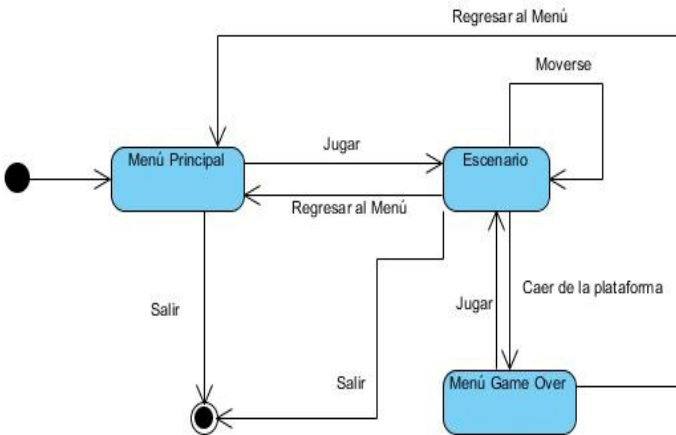


Figura 6. Diagrama de transición de estados: Mecanismo de Física.

### 3.2.3 Vista de código

En esta vista se organiza el código fuente representando la estructura y organización del prototipo funcional. Además, se puede apreciar la distribución de los componentes en cada una de las Capas.

La figura 7 visualiza desde una vista más cercana al código, cómo el prototipo funcional es dividido en componentes y muestra las relaciones de dependencias entre estos componentes.

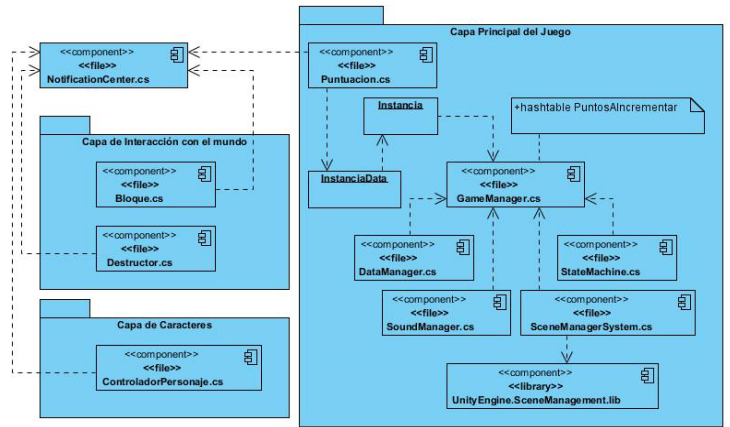


Figura 7. Diagrama de componentes de la solución propuesta.

### 3.2.4 Vista de ejecución

En la vista de ejecución se describe la estructura dinámica del videojuego en términos de sus elementos en tiempo de ejecución como se muestra en la figura 8. Algunos de los aspectos que se consideran en esta vista son: el desempeño y el entorno de ejecución [14].

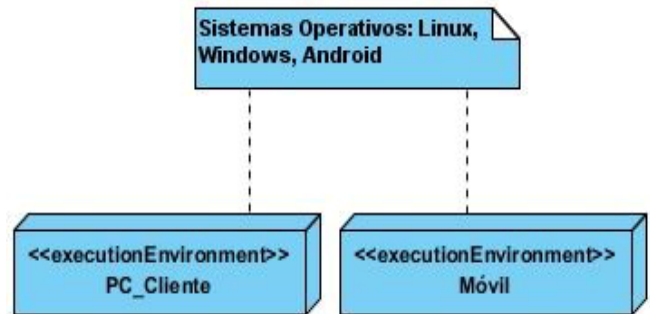


Figura 8. Diagrama de despliegue.

### 3.3 Evaluación de la arquitectura de software propuesta

El método de Análisis de Acuerdos de Arquitectura de Software (ATAM) está compuesto por nueve pasos divididos en cuatro fases, los cuales se adaptarán de acuerdo a los requerimientos del proyecto [15]. Después de la descripción de la solución propuesta y el análisis realizado, se procede a evaluar la arquitectura propuesta empleando este método.

Se seleccionó el método ATAM para la validación de la arquitectura propuesta, debido a que permite obtener los requerimientos de los atributos de calidad que son importantes para lograr cumplir las metas del contexto base que se desarrolla. La expresión concreta

de estas metas son los escenarios de los atributos de calidad que aparecen en las hojas del árbol de utilidad [16].

Los escenarios aplicados y las propuestas se unen cuando se pregunta cómo estos son soportados por la arquitectura. El resultado es un conjunto de decisiones arquitectónicas. Si estas decisiones son potencialmente problemáticas o especialmente importantes, o si afectan a más de un atributo, entonces deben ser registradas como riesgos. Por tanto, el método ATAM permite identificar los riesgos arquitectónicos que potencialmente prohíben a una organización conquistar las metas del contexto [16]; mientras que el esfuerzo dedicado a contrarrestar estos eventos garantiza una estructura lógica y robusta de las funcionalidades bases de un producto de *software* de calidad.

**Árbol de utilidad:** Los atributos presentes en el árbol de utilidad [16], usados para evaluar la arquitectura mediante el método ATAM, en conjunto con técnicas basadas en escenarios y prototipo, son los más relevantes a comprobar sobre el dominio de aplicación desarrollado (videojuegos), dado que aportan interpretaciones consistentes, pertinentes, facilitando el análisis de su comportamiento desde el núcleo arquitectónico hasta los horizontes de la arquitectura relacionados con las funcionalidades más básicas del videojuego (prototipo funcional). Las especificaciones de atributos pertenecen al modelo de calidad ISO/IEC 25010 [17] y sus descripciones se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Árbol de utilidad

Atributo	Subatributo	Escenario	Prioridad
Adecuación Funcional	Corrección Funcional	El videojuego debe proveer resultados correctos con el nivel de precisión requerido.	Alta
Eficiencia	Comportamiento Temporal	Los tiempos de respuesta y procesamiento del videojuego con respecto a cada una de las acciones del usuario deben ser	Alta

		cortos.	
	Utilización de recursos	Las cantidades y tipos de recursos utilizados cuando el videojuego lleva a cabo su función deben ser bajos.	Alta
Compatibilidad	Coexistencia	El videojuego debe poder coexistir con otro <i>software</i> independiente, en un entorno común, compartiendo recursos comunes sin detrimento.	Media
	Interoperabilidad	El videojuego debe poder intercambiar información y utilizar la información intercambiada con otro sistema.	Media
Usabilidad	Estética	La interfaz de usuario debe agradar y satisfacer la interacción con el usuario.	Media
	Aprendizaje	El usuario debe comprender el sistema con facilidad.	Media
	Operabilidad (Jugabilidad)	El sistema debe satisfacer la experiencia del jugador.	Media
Fiabilidad	Tolerancia	El sistema opera según lo previsto en presencia de fallos <i>hardware</i> o	Alta

		<i>software.</i>	
	Disponibilidad	El sistema está disponible cuando se requiere su uso.	Alta
Seguridad	Confidencialidad	El sistema protege contra el acceso a datos e información de personas no autorizadas, ya sea accidental o deliberadamente.	Media
	Integridad	El sistema previene accesos o modificaciones no autorizados a sus datos.	Alta
Mantenibilidad	Modularidad	Al realizar un cambio en un componente del sistema debe tener un impacto mínimo en los demás.	Alta
	Reusabilidad	Los elementos del videojuego deben ser reusables en otros desarrollos.	Alta
	Capacidad de ser modificado	El sistema puede ser modificado de forma efectiva y eficiente sin introducir defectos o degradar el desempeño.	Alta
Portabilidad	Adaptabilidad	El producto puede ser adaptado de forma efectiva y eficiente a	Media

		diferentes entornos determinados de <i>hardware</i> , <i>software</i> , operacionales o de uso.	
	Facilidad de instalación	El producto se puede instalar y/o desinstalar de forma exitosa en un determinado entorno.	Media

### 3.4 Evaluación basada en escenarios con presencia de riesgos sobre la propuesta

Tabla 2. Descripción del Escenario Confidencialidad del atributo Seguridad

Atributo de Calidad	Seguridad
Subatributos/Sub-característica	Confidencialidad.
Objetivo	El sistema protege contra el acceso a datos e información de personas no autorizadas, ya sea accidental o deliberadamente.
Origen	Usuarios del sistema
Artefacto	Videojuego.
Entorno	El sistema desplegado.
Estímulo	<b>Respuesta: Flujo de eventos (Escenarios)</b>
1. Se accede al sistema sin autorización.	
Se accede al sistema sin autenticarse.	El sistema no posee autenticación de usuarios.
Medida de respuesta	
Desplegar el sistema.	

Tabla 3. Descripción del Escenario Integridad del atributo Seguridad

Atributo de Calidad	Seguridad
Subatributos/Sub-característica	Integridad.
Objetivo	El sistema previene accesos o modificaciones no autorizados a sus datos.
Origen	Usuarios del sistema.
Artefacto	Videojuego.



<b>Entorno</b>	El sistema desplegado.
<b>Estímulo</b>	<b>Respuesta: Flujo de eventos (Escenarios)</b>
<b>1. Se accede al sistema sin autorización y se modifican las puntuaciones.</b>	
Se accede al sistema sin autenticarse.	El sistema no posee autenticación de usuarios, por lo que se pueden modificar las puntuaciones.
<b>Medida de respuesta</b>	
Modificar datos del sistema.	

A partir de la información obtenida tras la aplicación del método ATAM como se muestra en las tablas 2 y 3, se identificaron dos riesgos en la arquitectura propuesta como se presentan en la tabla 4. Estos riesgos están asociados a los escenarios Seguridad: Integridad y Confidencialidad.

**Tabla 4.** Riesgos identificados

Escenario	Riesgo
<b>Seguridad:</b> El sistema protege contra el acceso a datos e información de personas no autorizadas, ya sea accidental o deliberadamente.	El sistema no posee autenticación de usuarios, por lo que cualquier usuario puede acceder al mismo.
<b>Seguridad:</b> El sistema previene accesos o modificaciones no autorizados a sus datos.	Comportamiento Temporal.

Además, como parte del proceso de validación de la arquitectura, para comprobar la calidad de la misma se utilizaron las siguientes métricas de calidad [18]:

- **Métrica de Complejidad estructural ( $S_i$ ):** Para el cálculo de esta métrica se tuvo en cuenta el número de módulos subordinados a cada módulo del prototipo funcional, obteniéndose como valor:  $S_i = 6$ .
- **Métrica de Complejidad de datos ( $D_i$ ):** Para la determinación de esta métrica se tuvieron en cuenta las variables de entrada y salida por cada uno de los módulos que comprende el videojuego desarrollado sobre la arquitectura propuesta, originándose como resultado:  $D_i = 31$ .
- **Métrica de Complejidad del sistema ( $C_i$ ):** Para el cálculo de esta métrica se agruparon los valores

obtenidos por  $S_i$  y  $D_i$ . Teniendo en cuenta esta adición se obtuvo un valor:  $C_i = 37$ .

A medida que crecen los valores de complejidad, crece la complejidad arquitectónica del sistema. Teniendo en cuenta que el prototipo funcional desarrollado sobre el motor de juego Unity 3D, se corresponde con un videojuego del género de plataformas, el mismo permitió comprobar la utilidad de la arquitectura en un escenario sencillo de este tipo con valor de  $C_i = 37$ . Sin embargo, muchos de los atributos de calidad evaluados arrojaron como resultados que la arquitectura de *software* propuesta es adaptable, reutilizable y modificable. Por tanto, en otro escenario de desarrollo el valor de  $C_i$  puede variar sin que cambien las propiedades básicas de la solución arquitectónica propuesta.

• **Métrica de Complejidad a nivel de componentes:**

Para la determinación de esta métrica se diseñó el grafo de flujo para cada una de las operaciones contenidas en los componentes implementados. Posteriormente se calculó la complejidad ciclomática para cada grafo de flujo. Esto arrojó un valor promedio de 4 puntos, para un total de once componentes implementados de la solución con sus respectivas operaciones. Este valor puntual indica que se disponen a lo sumo de 4 caminos lógicos linealmente independientes para la ejecución de escenarios en sus métodos. Esto demuestra el grado de optimización de las funcionalidades desarrolladas como parte de la arquitectura base para el desarrollo de videojuegos. Además, este resultado denota la aplicabilidad en la solución arquitectónica propuesta de otros atributos de calidad, tales como: extensibilidad, fiabilidad y mantenibilidad.

**3.5 Evaluación basada en prototipo**

Para evaluar la AS fue implementado un prototipo funcional de un videojuego de plataformas según se muestra en la figura 9, en el que, luego de tener una comprensión mejor del mismo mediante las vistas arquitectónicas modeladas, se puede apreciar la interacción de los componentes del prototipo y con la arquitectura propuesta como solución a cada uno de los mecanismos [19] del videojuego.

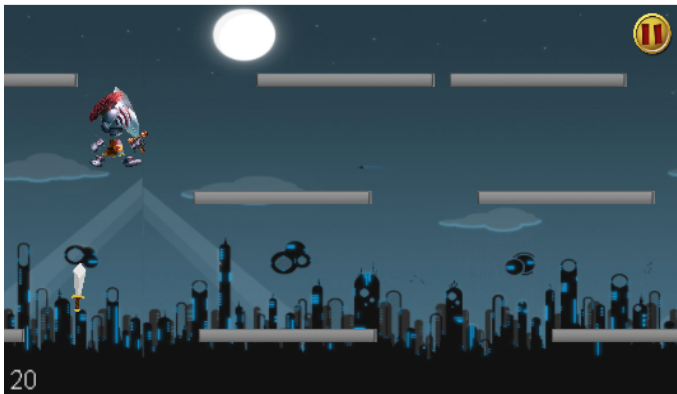


Figura 9. Escena de juego del prototipo funcional.

Para ejecutar cada uno de los estados el personaje se vale del componente animator de Unity, contando con los siguientes scripts para completar las acciones:

**ControladorPersonaje:** Se encarga de determinar en qué estado se encuentra el personaje y realizar la acción correspondiente. Se encuentra suscrito al NotificationCenter (Observer) para posibilitar que en el momento que empiece a correr y, por consiguiente, se generen los elementos y objetos del videojuego.

**Puntuación:** Controla la puntuación ejecutando las acciones de incrementar 1 punto si el personaje se sitúa sobre un bloque o 5 puntos en caso de que acumule un objeto. Suscrito también al NotificationCenter, accede a las tablas de puntos contenidas en el GameManager, así como al DataManager para obtener la puntuación máxima guardada ahí y al método de guardar para sobrescribirla en caso de que se acumule una puntuación máxima superior. Para interactuar entre escenas se usa el SceneManager, que se encarga de los cambios de escenas, siendo implementado ahí los métodos que se encargan de dicho cambio entre escenas.

#### 4. Conclusiones

Con la realización de esta investigación, se define y se valida una arquitectura de *software* para el desarrollo de videojuegos, probada sobre un prototipo funcional de un videojuego del género de plataformas, la cual permite reutilizar componentes, facilitar la base para la implementación y el uso de recursos, contribuyendo de este modo al desarrollo base de futuros videojuegos. La combinación de los patrones arquitectónicos: arquitectura en tres Capas y en componentes, permitió desarrollar una AS que satisface los atributos de calidad: reusabilidad, mantenibilidad, extensibilidad y

eficiencia, que eran pautas a tener en cuenta a la hora de proponer una solución. El uso de las vistas arquitectónicas propuestas por Robert Nord, permitió tener una mayor visión de la propuesta de solución implementada en el prototipo funcional. Las evaluaciones realizadas, mediante el método ATAM: basadas en escenarios y prototipo, arrojaron la presencia de riesgos en el prototipo funcional y sobre la arquitectura propuesta, los cuales son considerados para futuros desarrollos de videojuegos.

#### 5. Referencias

- [1] Stack, P. History of video game consoles. Time Magazine website 2005; Available from: [http://www.time.com/time/covers/1101050523/console\\_timeline](http://www.time.com/time/covers/1101050523/console_timeline) . [Ene. 19, 2018].
- [2] Greenslade, A. Gamespeak: A glossary of Gaming Terms. 2006; Available from: <https://archive.is/TbSs#selection-147.12-147.29>. [Ene. 20, 2018].
- [3] Ward, J. What is a Game Engine?. 2008; Available from: [https://www.gamecareerguide.com/features/529/what\\_is\\_a\\_game\\_.php](https://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_.php). [Ene. 20, 2018].
- [4] Technologies, U. Motores Gráficos. 2011; Available from: [http://www.mat.ub.edu/futurs\\_ub/activitats/Matefest/2011/triptic/s/motoresgraficos.pdf](http://www.mat.ub.edu/futurs_ub/activitats/Matefest/2011/triptic/s/motoresgraficos.pdf). [Ene. 21, 2018].
- [5] Pressman, R.S. "Ingeniería de software. Un enfoque práctico". Séptima Edición. 2010.
- [6] Camacho, E., Fabio Cardeso, Gabriel Nuñez. "Arquitecturas de software. Guía de estudio". 2004.
- [7] GESPRO 16.05. Herramienta de Gestión de Proyectos. 2017. Project Management Suite. Universidad de las Ciencias Básicas. Available from: <https://gespro.vertex.prod.uci.cu>. [Ene. 21, 2018].
- [8] Kruchten, P. "The Rational Unified Process". Addison Wesley Longman, 2003.
- [9] Nord, R.L. "Un modelo general de diseño de arquitectura de software derivado de cinco enfoques industriales". 2007.
- [10] Gutiérrez, H., Ricardo Emmanuel; Francisco J. Álvarez, Jaime Muñoz-Arteaga. Arquitectura de Software para Juegos Serios con Aspectos Culturales: Caso de Estudio en un Videojuego para Fórmulas Temperatura. 2013; Available from: [https://www.researchgate.net/publication/236162869\\_Arquitectura\\_de\\_Software\\_para\\_Juegos\\_Serios\\_con\\_Aspectos\\_Culturales\\_Caso\\_de\\_Estudio\\_en\\_un\\_Videojuego\\_para\\_Formulas\\_Temperatura](https://www.researchgate.net/publication/236162869_Arquitectura_de_Software_para_Juegos_Serios_con_Aspectos_Culturales_Caso_de_Estudio_en_un_Videojuego_para_Formulas_Temperatura). [Ene. 21, 2018].
- [11] Cazalla, C.E. "Diseño y desarrollo de un prototipo básico de un videojuego plataformas en 2D". 2014.
- [12] GitLab. GitLab Community Edition. 2017; Available from: [https://gitlab.prod.uci.cu/users/sign\\_in](https://gitlab.prod.uci.cu/users/sign_in). [Ene. 21, 2018].
- [13] Hernández, P.A. "Marco de trabajo ingenieril para el proceso de desarrollo de videojuegos". RACCIS 7(1), 13-26, Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software. 2017.

- [14] Reynoso, C.y.K., Nicolás. "Estilos y Patrones en la Estrategia de Arquitectura de Microsoft". 2004.
- [15] Delgado, A., Alberto Castro, Martín Germán. "Evaluación de Arquitecturas de Software con ATAM". Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Instituto de Computación. Uruguay. 2007
- [16] Clements, P.K., R & Klein, M. "Evaluating software architectures: Methods and case studies". Boston: Addison-Wesley. 2001.
- [17] ISO/25010. ISO/IEC 25010. 2011 Available from: <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>. [Ene. 21, 2018].
- [18] Pallares, E.Y. y .P.V., Johana Andrea. "Métricas del Modelo del Diseño". 2012; Available from: <http://ing-software3.blogspot.com/2012/11/metricas-del-modelo-del-diseno.html>. [Mar. 22, 2018].
- [19] Adams, J.D.E. "Game Mechanics. Advanced Game Design". 2012.

# Efecto de los parámetros del proceso de bruñido por rodillo en el campo de esfuerzos residuales

## Effect of the parameters of the roller burnishing process in the residual stress field

Edgar López Martínez <sup>1\*</sup>, Octavio Vázquez Gómez <sup>2,3</sup>, Héctor Javier Vergara Hernández <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Campus Tehuantepec, Universidad del Istmo, México*

<sup>2</sup> *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México*

<sup>3,4</sup> *Posgrado en Ciencias en Metalurgia, Instituto Tecnológico de Morelia, México*

\***Autor de correspondencia:** [lopeze@sandunga.unistmo.edu.mx](mailto:lopeze@sandunga.unistmo.edu.mx)

**RESUMEN**— Mediante la formulación de un modelo matemático resuelto con el método de elemento finito del proceso de bruñido por rodillo, se analizó el efecto de la fuerza, número de pases y avance del rodillo, sobre el campo de esfuerzos residuales, el máximo esfuerzo residual compresivo y su profundidad en discos de acero AISI 1045. La validación del modelo se llevó a cabo comparando los resultados experimentales del porcentaje de variación del diámetro de discos de acero (obtenidos de la literatura) con los obtenidos de la simulación. La principal diferencia entre estos resultados se debe a que, en la simulación, el rodillo presenta un comportamiento mecánico rígido. Se observó que la fuerza es el principal parámetro que influye sobre los parámetros de salida. Debido a la importancia del acero API X52 en la industria petrolera, se analizó el efecto de la fuerza de bruñido sobre el campo de esfuerzos residuales.

**Palabras clave**— *Acero AISI 1045, Acero API X52, Bruñido por Rodillo, Campo de Esfuerzo Residual.*

**ABSTRACT**— By formulating a mathematical model solved with the finite element method of the roller burnishing process, the effect of force, number of passes and feed were analyzed on the residual stress field and the magnitude and depth of the maximum compressive residual stress in AISI 1045 steel specimens. The model validation was performed comparing experimental results of the percentage change in diameter of steel discs (obtained from the literature) with those obtained from the simulation. The main difference between these results is due that in the simulation, the roller has a rigid mechanical behavior. It was observed that force is the main parameter influencing the output parameters. Because of the importance of API X52 steel in the oil industry, the effect of burnishing force on residual stress field was analyzed.

**Keywords**— *AISI 1045 Steel, API X52 Steel, Roller Burnishing, Residual Stress Field.*

### 1. Introducción

Diversos procesos de deformación plástica superficial (PDPS), se han desarrollado para mejorar algunas de las propiedades y características mecánicas de los materiales metálicos, tales como: la dureza, el acabado superficial y los esfuerzos residuales compresivos [1]–[7], con la finalidad de mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión asistida por esfuerzos y la resistencia a la fatiga [3], [6], [8], [9], sin dañar el medio ambiente [10]. Entre los procesos más importantes están el bruñido de baja plasticidad, bruñido por rodillo, bruñido por bola y lanzamiento de granalla. En el proceso de bruñido por rodillo, un rodillo cilíndrico duro aplica una fuerza compresiva sobre la superficie de un material, causando el flujo plástico debido a la fuerza aplicada. Los parámetros más importantes que influyen en este

proceso son: la fuerza compresiva, el avance del rodillo y el número de pases [11]–[14]. Otros parámetros que tienen menos influencia son: la velocidad de bruñido [11], [13], [14], la rugosidad inicial [15], la dureza superficial inicial [13], [15], la lubricación [16], la combinación con otros tratamientos [14], [15] y el ancho de contacto con el rodillo [16]. En especial, las características del material producidas por el bruñido por rodillo son: la rugosidad y la dureza superficial, la microdureza, el espesor de la capa endurecida, la disminución del diámetro externo, la resistencia al desgaste, los esfuerzos residuales, entre otros.

Se han realizado estudios experimentales, tanto en aceros como en aleaciones no ferrosas, sobre el efecto de los parámetros de proceso como: la tolerancia dimensional, la rugosidad, la dureza superficial, el campo de esfuerzos residuales y el espesor de la capa

endurecida [3]–[9], [11]–[13], [15], [17], [18], con la finalidad de obtener correlaciones empíricas para lograr un óptimo acabado superficial. Desafortunadamente, las correlaciones empíricas se encuentran limitadas a las condiciones de experimentación, por lo que no pueden ser extrapoladas a otros valores. Asimismo, se requiere un gran número de pruebas para obtener una correlación aceptable, lo que hace que sea una forma costosa para determinar el efecto de los parámetros de proceso. Una alternativa factible es el uso de modelos matemáticos empleando el método de elemento finito, para el estudio del efecto de los parámetros de proceso. El desarrollo de estos modelos se ha enfocado en dos grupos principales: 1) modelos para determinar el comportamiento de la rugosidad y 2) modelos para determinar el campo de esfuerzos residuales. Los modelos reportados para estos dos grupos han coincidido en modelar solo una parte de la pieza de trabajo a través de su máxima simetría, suponiendo que el comportamiento mecánico de la parte modelada es el mismo que en cualquier otra parte no modelada del componente. Otras simplificaciones de los modelos reportados son que el rodillo presenta un comportamiento rígido y que la pieza de trabajo no se mueve, con lo que se eliminan los cálculos de rotación de los nodos asociados al movimiento de la pieza. La modelación con elementos finitos de deformación plana en 2D simplifica en gran número la cantidad de cálculos computacionales, pero proporciona una mala estimación del campo de esfuerzos residuales en la dirección axial además de que se desconoce el área de contacto real entre la pieza de trabajo y el rodillo debido que ésta depende del diámetro, la geometría y las propiedades mecánicas. Dentro de los modelos reportados se encuentra el modelo de Bouzid y Saï [19], quienes diseñaron y utilizaron el código de elemento finito Zebulon para analizar la evolución de la rugosidad superficial por bruñido. Los resultados de su modelo fueron empleados para calcular el factor de rugosidad [20] y los esfuerzos residuales referentes a la geometría microscópica de contacto. Los resultados fueron satisfactorios para predecir el factor de rugosidad como una función del avance del herramental. Asimismo, los esfuerzos residuales simulados fueron comparados con resultados experimentales reportados en la literatura, donde observaron que los primeros eran de menor magnitud que los segundos. Prasad et al. [21] simularon el proceso de bruñido por rodillo mediante el uso del

paquete comercial ANSYS-10 para determinar el comportamiento de la rugosidad y los esfuerzos residuales como una función de la fuerza aplicada durante el proceso. Debido a la complejidad del problema, en el planteamiento de su modelo solo consideraron una aspereza individual en 2D además de suponer que la rugosidad puede ser representada como una aspereza en forma triangular con un ángulo de  $90^\circ$ . Prasad también utilizó elementos finitos para deformación plana y propiedades mecánicas independientes de la rapidez de deformación y realizaron experimentos para validar su modelo mediante la comparación de la rugosidad experimental y simulada, cuya diferencia fue menor al 10%. Por otro lado, Zhuang y Wicks [22] propusieron un modelo de elemento finito 3D no lineal para simular y predecir los efectos de los parámetros de proceso y obtener el campo de esfuerzos residuales inducido por el proceso de bruñido de baja plasticidad en un motor de avión. Zhuang y Wicks emplearon el paquete comercial Abaqus/Standard para simular el proceso bruñido por bola, suponiendo que la herramienta de bruñido presentaba un comportamiento rígido, además de que despreciaron la fuerza de fricción que prevalece durante el contacto herramienta-pieza. Con datos experimentales reportados en la literatura para un sistema similar demostraron que su modelo es capaz de predecir los efectos de los parámetros del proceso sobre la distribución de los esfuerzos residuales y determinaron que la magnitud y la profundidad de los esfuerzos residuales compresivos se incrementan con la carga y el número de pases. Sartkulvanich et al. [23] formularon un modelo 3D en un sistema simple empleando el método de elementos finitos del proceso de bruñido por rodillo. El modelo fue utilizado para determinar la penetración máxima del rodillo para una presión específica; los parámetros de estudio fueron la presión de bruñido y el avance. A su vez, la penetración fue aplicada en un modelo 2D para determinar el efecto de los parámetros de entrada sobre la rugosidad final y el campo de esfuerzos residuales; ambos modelos fueron implementados en el paquete comercial DeformTM. De los resultados se observó que el campo de esfuerzos residuales calculado en la dirección tangencial tiene una buena concordancia con aquellos determinados experimentalmente, sin embargo, en la dirección axial, los resultados computacionales muestran un campo de

esfuerzos residuales de tensión sobre la superficie y hasta una cierta profundidad de la pieza bruñida, lo cual no concuerda con el campo compresivo obtenido experimentalmente en esa misma dirección debido a que en su modelo suponen un estado de deformación plana.

El objetivo de este trabajo es analizar, con la ayuda de simulación numérica, el efecto de los parámetros de proceso sobre el campo de esfuerzos residuales. Los parámetros de entrada analizados fueron la fuerza, el número de pases y el avance sobre el campo de esfuerzos residuales, el máximo esfuerzo residual compresivo y su profundidad; además, se analizó el efecto de las propiedades mecánicas del material comparando los resultados simulados para un acero AISI 1045 y un API X52.

## 2. Modelo matemático

El proceso de bruñido por rodillo consiste en deformar plásticamente la superficie de especímenes cilíndricos (discos) mediante el uso de un rodillo. El disco es colocado en un torno paralelo a velocidad constante (velocidad de bruñido) mientras que en el porta herramientas se coloca el rodillo. El rodillo se hace pasar a lo largo del espesor de la pieza a una velocidad constante, lo cual es conocido como el avance. Mientras se produce el avance, el rodillo aplica una fuerza contra la superficie del disco para provocar flujo plástico.

### 2.1 Método de solución

El método de elemento finito se ha utilizado ampliamente para resolver problemas que involucran el cálculo de los estados de esfuerzos y por lo tanto el de estado de deformaciones. Para la solución del problema, se decidió utilizar el paquete comercial Abaqus.

En la solución de problemas mecánicos por el método de elemento finito en donde la pieza, y más específicamente los elementos cambian de forma es común utilizar un punto de vista o sistema Lagrangiano en lugar de uno Euleriano. En un sistema Lagrangiano no existe transferencia de material a través de las fronteras de los elementos, es decir, los elementos se deforman y los nodos tienen grados de libertad de rotación, así como de traslación.

### 2.2 Implementación en Abaqus

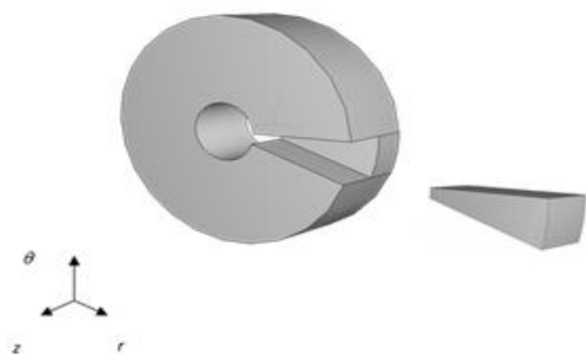
Debido a la naturaleza no lineal del problema, las altas rapidezces de deformación y las interacciones de

contacto entre la pieza y la herramienta que se presentan, se trabajó con Abaqus /Explicit, que es un procedimiento dinámico explícito que puede ser lineal o no lineal.

La secuencia de cálculos se divide en dos partes:

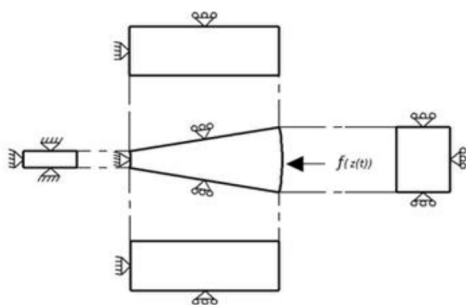
1. Cálculos en los nodos (aceleraciones, velocidades y desplazamientos).
2. Cálculos en los elementos (deformaciones y esfuerzos a partir de ecuaciones constitutivas).

Debido a la naturaleza del bruñido, es computacionalmente muy caro implementar este proceso tal y como es físicamente, es decir, el tiempo que se requeriría para resolver el problema de un rodillo elástico que aplica una fuerza a un disco deformable elastoplásticamente, el cual se encuentra girando sobre su eje, es muy elevado, lo cual lo hace económicamente no factible. Debido a esto, aquellos investigadores que han trabajado con la modelación con elementos finitos [19], [21]–[24] han realizado ciertas simplificaciones. Todos ellos han coincidido en modelar solo una parte de la pieza a deformar plásticamente, es decir, obtienen la mayor simetría posible. Con esto suponen que el comportamiento mecánico en esta parte del disco es igual que aquel que se obtendría en cualquier otra parte del mismo. Otras simplificaciones son suponer que el rodillo presenta un comportamiento rígido y que la pieza no se mueve, con lo que eliminan los cálculos de rotación de los nodos asociados con el movimiento de la pieza. La modelación con elementos finitos de deformación plana en 2D simplifica en gran número la cantidad de cálculos pero proporciona una mala estimación del campo de esfuerzos residuales en la dirección axial [23]; además se presenta el problema de que no se conoce el área real de contacto entre la pieza y el rodillo debido que esta depende del diámetro, geometría y propiedades mecánicas del rodillo y del disco. Por estas razones y para evitar un cálculo erróneo del campo de esfuerzos en la dirección axial, se formuló un modelo de elemento finito en tres dimensiones, en donde apoyándonos de la simetría solo una parte del disco fue modelada (figura 1).



**Figura 1.** Sección del disco modelada.

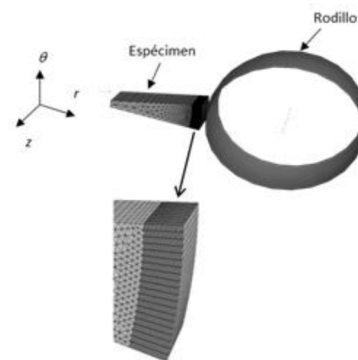
En la interface de Abaqus, se creó la sección del espécimen cilíndrico como un sólido tridimensional deformable extruido; y el rodillo como una superficie rígida analítica de revolución. Se creó una sección sólida con las propiedades mecánicas del acero AISI 1045 y se asignó una orientación de material en coordenadas cilíndricas. Al rodillo no se le asignó momento de inercia ni masa, debido a que todos sus grados de libertad se encuentran restringidos. Para simular el contacto, se creó una interacción de contacto entre el disco y el rodillo. El diámetro interior del disco, el cual está en contacto con el torno, y las caras de simetría, se asumieron como una frontera donde no existe flujo de material. En la figura 2 se muestran las condiciones de frontera.



**Figura 2.** Condiciones de frontera de la sección del espécimen cilíndrico.  $f(z(t))$  es la fuerza de bruñido que es función de la posición axial ( $z$ ), y esta posición a su vez es función del tiempo.

Debido a que el campo de esfuerzos residuales suele desarrollarse alrededor de los 2 mm [11], [21]–[23], se utilizó un control de mallado estructurado hasta una profundidad de 2.6 mm aproximadamente con elementos ladrillo continuos lineales en un estado de deformación tridimensional y con integración reducida.

Para el resto del disco se utilizaron elementos triangulares continuos lineales en tres dimensiones, dando un total de 14,186 elementos. La figura 3 muestra la malla utilizada en la simulación, en donde se puede observar una mayor densidad de mallado en la zona cercana al contacto.



**Figura 3.** Mallado del sistema espécimen-rodillo. En este sistema solo aparece la superficie exterior del rodillo debido a que fue creado como una superficie rígida analítica.

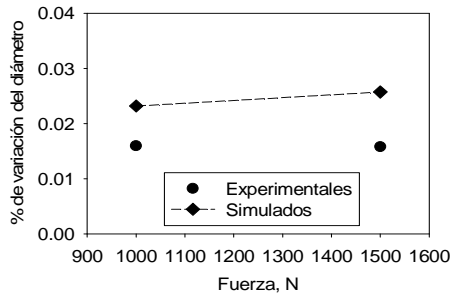
Se crearon tres procedimientos de cálculo. En el primer procedimiento el rodillo aplica progresivamente una carga hasta alcanzar la fuerza requerida para el proceso; durante este procedimiento el rodillo está restringido en todas las direcciones con excepción de la dirección radial que es la dirección de carga. Una vez alcanzada la fuerza requerida (fuerza de bruñido), en el segundo procedimiento se mantiene esta fuerza y se aplica movimiento al rodillo en la dirección del avance (dirección axial), hasta alcanzar la orilla opuesta de la aplicación de la carga en el primer procedimiento, lo que significa que el rodillo realizó un pase. Si se requiere de dos pases, se aplica movimiento al rodillo en la dirección contraria a la del pase anterior hasta alcanzar la posición original del procedimiento 2; y así sucesivamente hasta alcanzar el número de pases requeridos. Por último, en el tercer procedimiento se retira el rodillo y se permite que el disco se recupere elásticamente.

### 3. Resultados y análisis

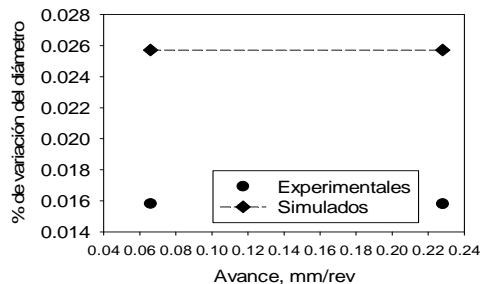
Los resultados experimentales de porcentaje de variación de diámetro obtenidos por Díaz y Robert [25], fueron utilizados para validar el modelo debido a que este dato también puede ser obtenido de los resultados de simulación.

### 3.1 Validación del bruñido por rodillo

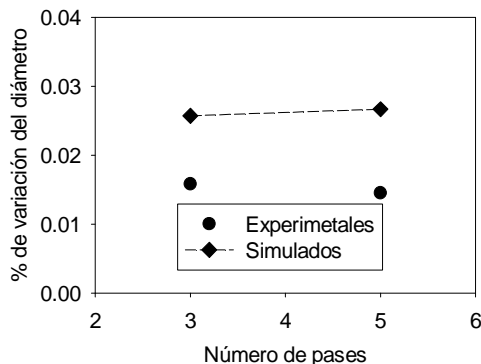
El efecto que tiene la fuerza, el avance y el número de pases del proceso de bruñido por rodillo sobre el porcentaje de variación del diámetro de los discos se muestra en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente. De las figuras, se puede observar que la fuerza y el número de pases son los parámetros que tienen una mayor influencia sobre este parámetro de salida.



**Figura 4.** Porcentaje de variación del diámetro exterior de los discos de acero 1045 en función de la fuerza aplicada durante el bruñido por rodillo. Los procesos se realizaron con 3 pases y con un avance de 0.228 mm/rev.



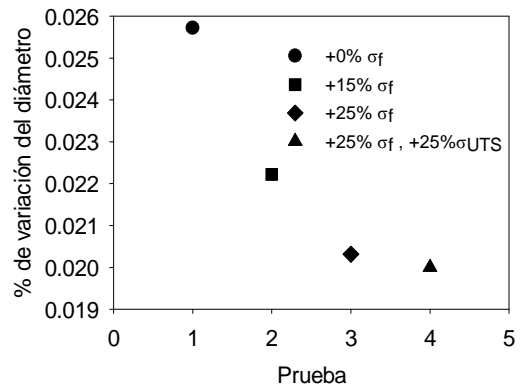
**Figura 5.** Porcentaje de variación del diámetro exterior de los discos de acero 1045 en función del avance aplicado durante el bruñido por rodillo. Los procesos se realizaron en con 3 pases y con una fuerza de 1500 N.



**Figura 6.** Porcentaje de variación del diámetro exterior de los discos de acero 1045 en función del número de pases

aplicados durante el bruñido por rodillo. Los procesos se realizaron con un avance de 0.228 mm/rev y una fuerza de 1500 N.

Se puede observar un comportamiento similar de los resultados experimentales y los simulados del % de variación del diámetro, aunque numéricamente se sobre estiman los valores. En la modelación matemática se asumió un rodillo rígido, esto provoca que la fuerza aplicada deforme en mayor magnitud al disco, ya que el rodillo no admite ningún tipo de deformación, a diferencia del proceso real en donde el rodillo se deforma elásticamente. Otra causa de esta sobre estimación es que en la simulación no se consideró el efecto de la rapidez de deformación sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, es decir, las propiedades mecánicas que se utilizaron fueron obtenidas de un ensayo de tracción realizado a una rapidez de deformación lenta; contrario a lo que ocurre durante el bruñido por rodillo donde se alcanzan rapidez de deformación de hasta 4 s<sup>-1</sup>. Para determinar éste efecto, se realizó un análisis de sensibilidad en donde tres casos fueron propuestos: 1) aumento de la resistencia a la fluencia en un 15%, 2) aumento de la resistencia a la fluencia en un 25%, y 3) aumento de la resistencia a la fluencia y a la tracción de 25%. La figura 7 muestra los resultados de estas simulaciones en donde se puede notar que efectivamente cuando la resistencia a la fluencia aumenta, como sería en el caso de un acero sensible a la rapidez de deformación, se obtiene un % de variación del diámetro menor. El aumentar la resistencia a la tracción no presenta un efecto significativo.



**Figura 7.** Análisis de sensibilidad de la resistencia a la fluencia y a la tracción en el % de variación del diámetro. Los

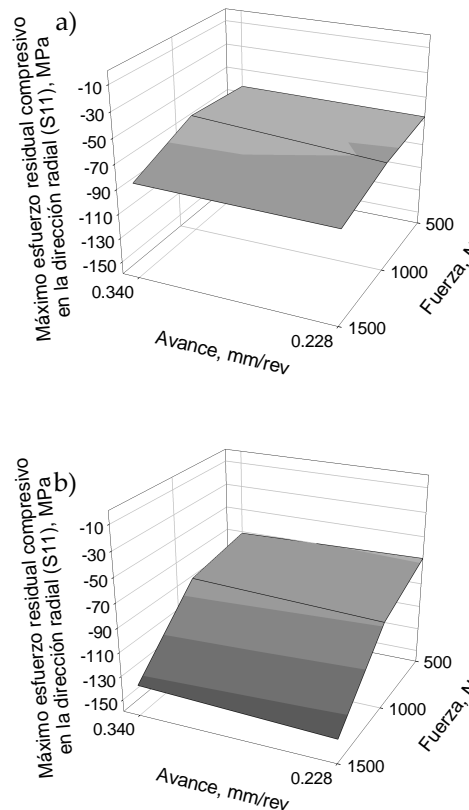


procesos se realizaron con un avance de 0.228 mm/rev y una fuerza de 1500 N.

### 3.2 Efecto de los parámetros de bruñido sobre el máximo esfuerzo residual compresivo

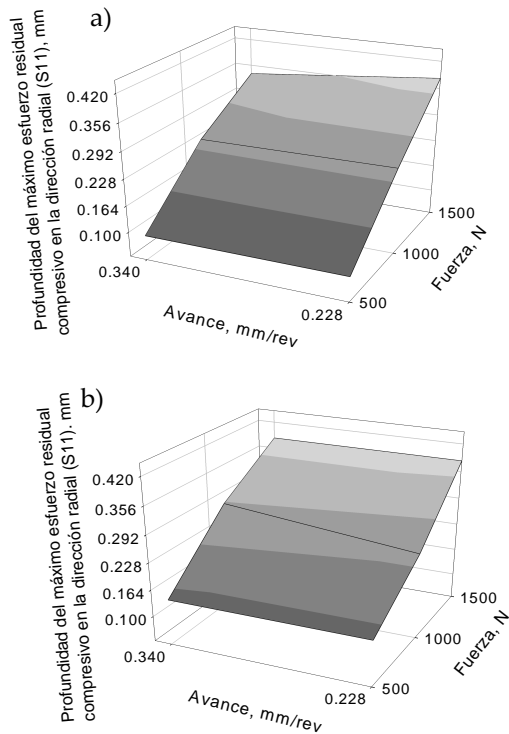
Debido a que los máximos esfuerzos residuales compresivos están ligados con el aumento en la dureza subsuperficial, resistencia a la corrosión bajo tensión, resistencia a la fatiga y resistencia a la fluencia, entre otras propiedades [15], [16], [26], [27], es importante determinar cuál es el efecto de los parámetros de bruñido de entrada sobre el campo de esfuerzos residuales, el máximo esfuerzo residual compresivo y la profundidad de este. El máximo esfuerzo residual compresivo y su profundidad como función de la fuerza, el avance y el número de pases, son analizados en las figuras 8 y 9. En la figura 8 se observa que un aumento en la fuerza aplicada aumenta el máximo esfuerzo residual compresivo para uno y tres pases, a diferencia del avance que presenta poco efecto sobre él. Sin embargo, con respecto a la profundidad del máximo esfuerzo residual compresivo, en un pase y con una carga de 1500 N se observa influencia del avance (figura 9 a); este efecto se debe a que, con un avance de menor magnitud, el rodillo pasa más tiempo cargando al disco en una misma posición, provocando que el campo de esfuerzos pueda tener una mayor penetración. Con tres pases el avance pierde su influencia debido a que se alcanza un equilibrio mecánico (figura 9 b). La mayor profundidad del máximo esfuerzo residual compresivo se obtiene con una fuerza de 1500 N y un avance de 0.228 mm/rev. En general el avance presenta poca influencia sobre el máximo esfuerzo residual compresivo, pero no en su profundidad cuando el proceso es realizado en un pase.

Las interacciones que existen entre la fuerza y el número pases con respecto al máximo esfuerzo residual compresivo son mayores que en el caso de las interacciones fuerza-avance. El número de pases no afecta significativamente el máximo esfuerzo cuando se



**Figura 8.** Efecto de la fuerza y el avance sobre el máximo esfuerzo residual compresivo. a) un pase b) tres pases.

aplica una fuerza de 500 N, pero sí afecta la profundidad, en otras palabras, se puede lograr un mismo máximo de esfuerzo residual compresivo a diferentes profundidades variando el número de pases y manteniendo una fuerza de 500 N. La respuesta del máximo esfuerzo residual compresivo cuando se utiliza un avance de 0.34 mm/rev no es sensible al número de pases cuando se utiliza una fuerza baja (500 N) pero la profundidad sí se afecta, ya que se obtiene la menor cuando se realiza el proceso en un solo pase.



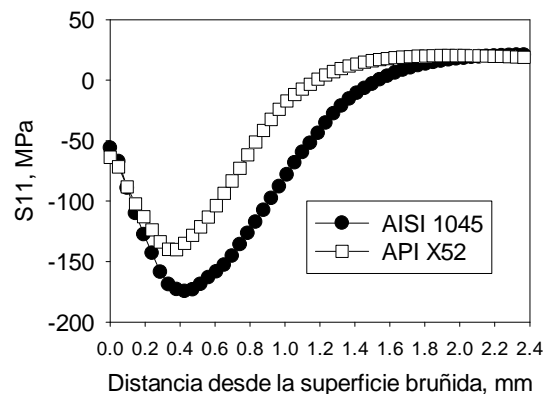
**Figura 9.** Efecto de la fuerza y el avance sobre la profundidad del máximo esfuerzo residual compresivo. a) un pase, b) tres pases.

El máximo esfuerzo residual compresivo aumenta cuando se aplica una fuerza de 1500 N y un avance de 0.228 mm/rev en 3 pases; esto se debe a que el rodillo permanece durante más tiempo en una sola posición; lo que también provoca una mayor penetración del máximo esfuerzo residual compresivo. En otras palabras, en estas condiciones se produce el mayor endurecimiento por deformación. Cuando el avance aumenta a 0.34 mm/rev y se disminuye el número de pases, el rodillo pasa menos tiempo deformando el disco de acero por lo que se obtiene una menor profundidad y menor magnitud de este esfuerzo.

### 3.3 Efecto del material y la fuerza sobre el campo de esfuerzos residuales

En la figura 10 se observa la diferencia en comportamiento del campo de esfuerzos residuales en la dirección radial para un disco de acero AISI 1045 y para otro de acero API X52. El acero API X52 presenta una menor profundidad en el campo de esfuerzos debido a que presenta una resistencia mecánica mayor en

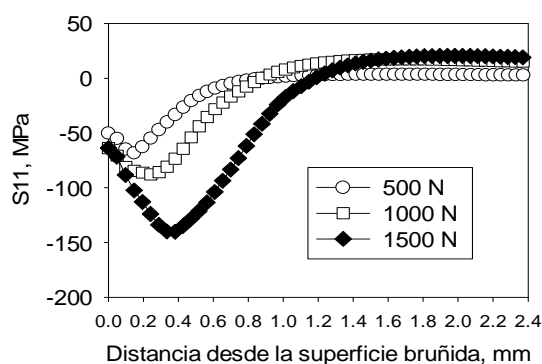
comparación con el acero AISI 1045. También al ser más resistente el acero API X52, la frontera en la dirección radial contraria al punto de aplicación de la carga (frontera sin flujo de material), afecta en menor grado al material provocando un campo de esfuerzo residual de menor magnitud. Por el contrario, el acero AISI 1045 al ser un material menos resistente, se ve más afectado por la frontera antes mencionada, resultando en un campo de esfuerzos residuales mayor; es decir, para una misma geometría y condiciones de bruñido (fuerza, avance y número de pases), el campo de esfuerzos residuales es función de las propiedades mecánicas del material.



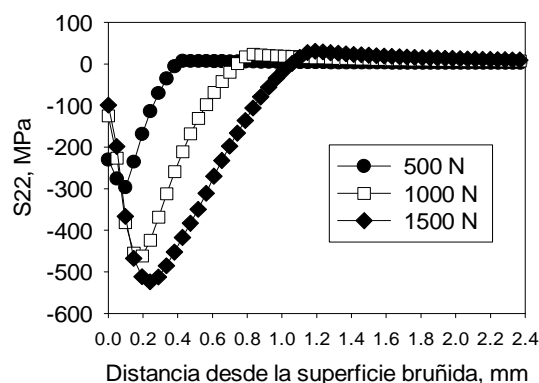
**Figura 10.** Comparación del campo de esfuerzos residuales en la dirección radial (S11) obtenido de la simulación del proceso de bruñido por rodillo de un disco de acero AISI 1045 y otro de acero API X52. En la simulación se utilizó una fuerza de 1500 N y un avance de 0.228 mm/rev en tres pases.

Cuando una pieza metálica va a estar sometida a un estado de esfuerzos tridimensional y/o a un medio corrosivo específico tal que se favorezca un proceso de corrosión bajo tensión, es necesario obtener un campo de esfuerzos residuales compresivos; y mientras de mayor magnitud sea este, el material presentará un mejor comportamiento mecánico y de resistencia a la corrosión. Como se pudo advertir en las figuras 8 y 9, el parámetro de bruñido que presenta la mayor influencia sobre la magnitud y profundidad del máximo esfuerzo residual compresivo es la fuerza. En las figuras 11, 12 y 13, se presenta el campo de esfuerzos residuales en la dirección radial, tangencial y axial respectivamente, a diferentes niveles de fuerza de bruñido para un disco de acero API X52. En la dirección radial, se observa que con una fuerza de 500 N es suficiente para producir esfuerzos residuales compresivos en la superficie y

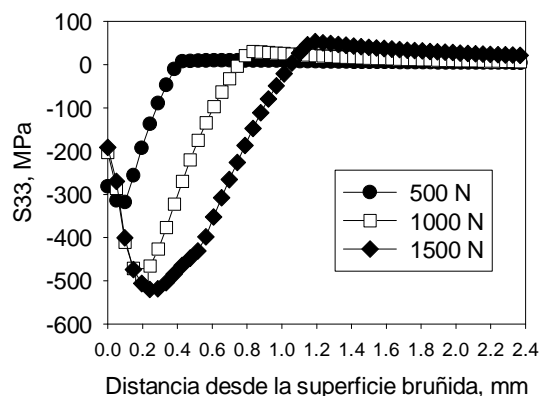
cerca de ella, con una profundidad aproximada de 0.8 mm. Este campo aumenta cuando la fuerza es aumentada a 1000 N debido a que al aplicar una mayor fuerza se provoca que el material experimente una mayor deformación tanto en la superficie como debajo de ella. Con una fuerza de 1500 N, el campo de esfuerzos interno continúa evolucionando aumentando su magnitud y su profundidad debido a que las capas internas de material se resisten a la compresión. Aunque el sistema se encuentra en un estado dinámico, con este nivel de carga debe de producirse un mayor espesor de endurecimiento antes de que la superficie continúe endureciéndose, por ésta razón el esfuerzo residual que se obtiene en la superficie es el mismo que el que se obtuvo con una fuerza de 1000 N.



**Figura 11.** Efecto de la fuerza sobre el campo de esfuerzos residuales en la dirección radial (S11) de un disco de acero API X52. Simulación en tres pases y avance de 0.228 mm/rev.



**Figura 12.** Efecto de la fuerza sobre el campo de esfuerzos residuales en la dirección tangencial (S22) de un disco de acero API X52. Simulación con tres pases y avance de 0.228 mm/rev.



**Figura 13.** Efecto de la fuerza sobre el campo de esfuerzos residuales en la dirección axial (S33) de un disco de acero API X52. Simulación con 3 pases y avance de 0.228 mm/rev.

Igual que en el caso de la dirección radial, en las direcciones tangencial y axial también se observa que se produce un campo de esfuerzos residuales compresivos cerca de la superficie (figuras 12 y 13); solo que en éstas direcciones este campo presenta una magnitud mayor. Conforme la carga aumenta también se observa un aumento de esfuerzos residuales de tensión; esto se debe a que mientras una mayor fuerza se aplique con el rodillo al disco, este va a responder con la misma fuerza en dirección contraria. Este comportamiento también se debe a que las fronteras del modelo se encuentran muy cercanas al punto de aplicación de la fuerza. En la superficie se obtiene una magnitud de esfuerzo residual compresivo mayor cuando se utilizó una fuerza de 500 N en comparación que cuando se utilizó una fuerza mayor. Esto se debe a que cuando se producen deformaciones mayores, las capas de material interno (que está más endurecido que la superficie) se oponen a las cargas compresivas pudiendo, dependiendo de la cantidad de deformación, llegar a tensionar al material en la superficie. En la dirección radial no ocurre esto porque existe una gran cantidad de material a deformar debido a que las fronteras se encuentran muy alejadas del punto de aplicación de la fuerza.

#### 4. Conclusiones

Se formuló un modelo matemático para predecir el campo de esfuerzos residuales en el proceso de bruñido por rodillo de discos de acero. Debido a la dificultad en la medición experimental de los esfuerzos residuales, el modelo matemático se validó comparando el porcentaje

de reducción del diámetro experimental con los simulados para un acero AISI 1045, en donde se observó similitud en los resultados.

La principal diferencia del porcentaje de variación del diámetro entre los resultados experimentales y simulados se debe a la suposición de que el rodillo tiene un comportamiento mecánico rígido.

El modelo matemático se utilizó para determinar el efecto que presenta la fuerza de bruñido, número de pases y avance sobre el porcentaje de variación del diámetro, campo de esfuerzos residuales, máximo esfuerzo residual compresivo y profundidad de este máximo.

De los resultados obtenidos de la modelación matemática, se llega a las siguientes conclusiones:

1. La fuerza es el parámetro que más afecta los parámetros de salida. Las piezas metálicas sometidas a un estado de esfuerzos alto, debido a la aplicación de una fuerza de bruñido alta, tendrán un porcentaje de variación del diámetro mayor en comparación con piezas sometidas a un estado de esfuerzos bajo; sin embargo, esta variación es menor al 0.021%.

2. Después de la fuerza, el número de pases es el parámetro que mayor influencia tiene sobre los parámetros de salida, dejando al avance como el parámetro con la menor influencia, ya que el máximo esfuerzo residual compresivo es poco afectado por él.

3. Las interacciones entre la fuerza y el número de pases presentan la mayor influencia sobre los parámetros de salida. Las interacciones entre la fuerza y el avance, y el número de pases y avance, presentan la menor influencia. Una combinación de alta fuerza, incremento en el número de pases y disminución del avance provoca la mayor penetración y el máximo esfuerzo residual compresivo.

4. El porcentaje de variación del diámetro y el campo de esfuerzos residuales también son función de las dimensiones y propiedades mecánicas del material a bruñir.

5. El aumento de la fuerza aumenta el máximo esfuerzo residual compresivo y la profundidad de este en la dirección de la aplicación de la fuerza. Sin embargo, el esfuerzo residual compresivo en la superficie en la dirección axial y tangencial pierde magnitud.

6. Si se desea la máxima profundidad del máximo esfuerzo residual compresivo con cualquier avance, se

debe de realizar el proceso en tres pases con la mayor fuerza.

## 5. Referencias

- [1] E. Rafati and M. S. Mahdieh. "Investigation of Variance of Roller Burnishing Parameters on Surface Quality by Taguchi Approach." *Int. J. Adv. Des. Manuf. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 77–81, 2013.
- [2] M. Sayahi, S. Sghaier, and H. Belhadjsalah. "Finite element analysis of ball burnishing process: Comparisons between numerical results and experiments." *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 67, no. 5–8, pp. 1665–1673, 2013.
- [3] K. A. Patel and P. K. Brahmabhatt. "Implementation of Taguchi Method in the Optimization of Roller Burnishing Process Parameter for Surface Roughness." in *Proceedings of First International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems: Volume 2*, S. C. Satapathy and S. Das, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 185–195.
- [4] M. F. A. Q. Firas. "The Effect of Roller Burnishing on Surface Hardness and Roughness of Aluminum Alloy." *Int. J. Mech. Appl.*, vol. 5, no. 2, pp. 37–40, 2015.
- [5] S. Mezlini, S. Mzali, S. Sghaier, C. Braham, and P. Kapsa. "Effect of a combined machining / burnishing tool on the roughness and mechanical properties." *Lubr. Sci.*, vol. 26, pp. 175–187, 2014.
- [6] K. Konefal, M. Korzynski, Z. Byczkowska, and K. Korzynska. "Improved corrosion resistance of stainless steel X6CrNiMoTi17-12-2 by slide diamond burnishing." *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 11, pp. 1997–2004, 2013.
- [7] X. L. Yuan, Y. W. Sun, L. S. Gao, and S. L. Jiang. "Effect of roller burnishing process parameters on the surface roughness and microhardness for TA2 alloy." *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 85, no. 5, pp. 1373–1383, Jul. 2016.
- [8] N. Kumar, A. Sachdeva, L. P. Singh, and H. Tripathi. "Experimental investigation of effect of roller burnishing process parameters on surface roughness and surface hardness of C40E steel." *Int. J. Mach. Mach. Mater.*, vol. 18, no. 1/2, p. 185, 2016.
- [9] P. Zhang and J. Lindemann. "Influence of shot peening on high cycle fatigue properties of the high-strength wrought magnesium alloy AZ80." *Scr. Mater.*, vol. 52, no. 6, pp. 485–490, 2005.
- [10] S. Díaz Rojas. "Implementación de un procedimiento metodológico para la elaboración de piezas de bruñido por rodillo." Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, 2006.
- [11] M. H. El-Axir. "Investigation into roller burnishing." *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 40, no. 11, pp. 1603–1617, 2000.
- [12] M. H. El-Axir and A. A. Ibrahim. "Some surface characteristics due to center rest ball burnishing." *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 167, no. 1, pp. 47–53, 2005.
- [13] M. H. El-Axir and M. M. El-Khabeery. "Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials." *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 132, no. 1, pp. 82–89, 2003.

- [14] S. J. Ebeid and T. A. Ei-Taweel. "Surface improvement through hybridization of electrochemical turning and roller burnishing based on the Taguchi technique." *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 219, no. 5, pp. 423–430, May 2005.
- [15] A. M. Hassan and A. S. Al-Bsharat. "Improvements in some properties of non-ferrous metals by the application of the ball-burnishing process." *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 59, no. 3 SPEC. ISS., pp. 250–256, 1996.
- [16] D. Butler. "Burnishing for fatigue strength." *Adv. Mater. Process.*, vol. 163, no. 10, pp. 66–68, 2005.
- [17] L. Luca, S. Neagu-Ventzel, and I. Marinescu. "Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels." *Precis. Eng.*, vol. 29, no. 2, pp. 253–256, 2005.
- [18] P. Zhang and J. Lindemann. "Effect of roller burnishing on the high cycle fatigue performance of the high-strength wrought magnesium alloy AZ80." *Scr. Mater.*, vol. 52, no. 10, pp. 1011–1015, 2005.
- [19] W. Bouzid Saï and K. Saï. "Finite element modeling of burnishing of AISI 1042 steel." *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 25, no. 5–6, pp. 460–465, 2005.
- [20] W. Bouzid, O. Tsoumarev, and K. Saï. "An investigation of surface roughness of burnished AISI 1042 steel." *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 120–125, Jul. 2004.
- [21] K. E. Prasad, S. Nahavandi, M. H. Mohammed, and V. N. Aditya. "Prediction of residual stresses in roller burnished components: a finite element approach." *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 153–163, 2006.
- [22] W. Zhuang and B. Wicks. "Multipass low-plasticity burnishing induced residual stresses: Three-dimensional elastic-plastic finite element modelling." *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 218, no. 6, pp. 663–668, Jun. 2004.
- [23] P. Sartkulvanich, T. Altan, F. Jasso, and C. Rodriguez. "Finite element modeling of hard roller burnishing: An analysis on the effects of process parameters upon surface finish and residual stresses." *J. Manuf. Sci. Eng. Trans. ASME*, vol. 129, no. 4, 2007.
- [24] A. Saldaña-Robles, E. Aguilera-Gomez, H. Plascencia-Mora, E. R. Ledesma-Orozco, J. F. Reveles-Arredondo, and N. Saldaña-Robles. "Three-dimensional modeling of surface roughness for burnishing process." *DYNA*, vol. 90, no. 4, pp. 423–432, 2015.
- [25] S. F. Díaz Rojas and T. Robert Núñez, "Bruñido por Rodillo Simple en el Acer40 AISI 1045," *Ing. Mecánica Tecnol. y Desarrollo*, vol. 2, no. 1, pp. 32–40, 2005.
- [26] P. S. Prevéy, R. a. Ravindranath, M. Shepard, and T. Gabb. "Case Studies of Fatigue Life Improvement Using Low Plasticity Burnishing in Gas Turbine Engine Applications." *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 128, no. 4, p. 865, 2006.
- [27] P. S. Prevéy and J. T. Cammett. "The influence of surface enhancement by low plasticity burnishing on the corrosion fatigue performance of AA7075-T6." *Int. J. Fatigue*, vol. 26, no. 9, pp. 975–982, 2004.

## Analysis and construction of a prosthetic foot

### Análisis y construcción de un pie protésico

John Alexander Hernández Martín<sup>1\*</sup>, Luis Alberto Parra Piñeros<sup>1</sup>, César Augusto Pinzón Pinzón<sup>1</sup>, Oscar Heli Bejarano Peña<sup>1</sup>, Jairo Alberto Romero Gutiérrez<sup>1</sup>, Pedro Eladio García Benavides<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Diseño y Metrología, <sup>1</sup>SENA Regional Distrito Capital, Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

\*Autor de correspondencia: [jhonmartin56@gmail.com](mailto:jhonmartin56@gmail.com)

**ABSTRACT**— The assistive devices for people with disabilities are configured as a set of mechanical, electromechanical, orthotic and prosthetic parts designed to assist in the rehabilitation process of patients who suffered amputation of their lower limbs, whether the injury generates. The implementation of a transtibial or transfemoral prosthesis these elements must be performed with proper analysis of pre-amputation, amputation and post amputation in order to achieve specific objectives for each patient, achieving the best possible treatment. It is important to ensure that in the treatment of lower limb disability by amputation, the best decisions are generated for the patient, with the objective of bringing the patient closer to a normal gait pattern. Considering these characteristics it will be possible to elaborate a prosthetic element that meets the physical and personal characteristics of the patient such as activity level, age, weight ... etc. Taking into account each of these variables we have decided to analyze in depth a crucial element in the implementation of lower limb prosthesis such as the foot, which we carry from a phase of analysis, design, to implementation in carbon fiber where we currently perform tests with our patients under study.

**Keywords**— *Amputation, foot, prosthetic foot, cosmesis.*

**RESUMEN**— Los dispositivos de ayuda para las personas en condición de discapacidad se configuran como un conjunto de piezas mecánicas, electromecánicas, ortésicas y protésicas están diseñados para ayudar en el proceso de rehabilitación de pacientes que sufrieron amputación de sus miembros inferiores, ya sea que la lesión genere la implementación de una prótesis transtibial o transfemoral estos elementos deben realizarse con análisis propios de pre-amputación, amputación y post amputación con el fin de lograr objetivos específicos para cada paciente logrando el mejor tratamiento posible. Es importante garantizar que, en el tratamiento de una discapacidad de miembros inferiores por amputación, se generen las mejores decisiones para el paciente, teniendo como meta acercarlo al paciente con un patrón normal de la marcha. Considerando dichas características será posible elaborar un elemento protésico que cumpla con las características físicas y personales del paciente como son nivel de actividad, edad peso...etc. Teniendo en cuenta cada una de estas variables hemos decidido analizar a profundidad un elemento crucial en la implementación de una prótesis de miembro inferior como lo es el pie, el cual llevamos desde una fase de análisis, diseño, hasta la implementación en fibra de carbono donde actualmente realizamos pruebas con nuestros pacientes objeto de estudio.

**Palabras Clave**— *Amputación, pie, pie protésico, cosmesis.*

### 1. Introduction

Currently, there is a number of prosthetic feet in the market for individuals with transtibial amputation. All of these elements ultimately intend to increase the degree of wellbeing to be offered to the patient; this degree of wellbeing includes elements with a paramount importance, such as size, aesthetics and cost. These factors are rather relevant when implementing a prosthetic component [1]. There are substantial differences as to purpose, materials used in assembly and nominal cost of each of the feet available in the market.

Generally, we can describe the fundamental characteristics as follows: *conventional feet* refer to feet with zero energy storage potential, such as the Sach

type. Another type of foot is *energy storing foot*, which intends, as pointed out by its name, storing some sort of energy and returning it in the function of walking. Finally, *bionic feet*, which at some point of walking generate autonomous type movement, which produce movement at some degrees of liberty, based on angular signals or electric potential; this movement is immediately transferred to some of the stages of walking [2][3][4].

Current research determines that results on the different types of feet are still not conclusive, meaning they do not display efficient results along walking cycle and even less over a prolonged period of around 30.000 use cycles. Feet with a more favorable result in walking cycle are the ones that store and somehow return energy

to the general cycle of walking, since they are not made out of complex elements which depend on programming or patient adaption, but rather their natural founding lies in the use of high-density compounds and geometrical design which mechanically compensate both dorsiflexion and plantarflexion at patient's walk.[5][6][7]. The fundamental purpose of this type of research in the field of orthopedic devices is being able to imitate the biomechanics of human ankle through components which display some sort of relevance when augmenting the levels of wellbeing for the patient, this is what our research seeks, "making a difference" [3].

Making proper analysis, it becomes necessary to have basic functionality, mechanic and esthetic characteristics to be born in mind for appropriate design of a component. Here, we will include the parameters used at the beginning of the design (they correspond to the first stage of the project).

- Patient's body mass: 80 kg
- Shoe size: 34
- Height: 1.70 m
- Activity level: 3
- Stump length: middle third
- State of the stump: Optimum conditions
- Articulation status: Preserved
- Muscular strength: 4
- Maximum foot length: 4
- Dorsiflexion: 20°
- Plantarflexion: 50°
- Manufacturing material: Carbon fiber.

If we put these parameters to good use, it will be possible to fully restore vital elements of the foot, such as weight, cosmesis and durability, besides generating appropriate time to achieve balance between walk and accumulated energy immerse in the component [8][9]; this type of balance is easily verifiable with a walk analysis through a walk behavior laboratory, where the different stages of prosthesis manufacturing are analyzed [10][11].

Walking pattern is a set of well-articulated movements, which make up a total that can become daily in a person's life. On the other hand, patient's movement can be affected by a great number of anomalies; the most worth noting ones are:

- Diabetes.
- Cerebrovascular accidents.

- Paralysis of lower limbs or other types of paralysis (cerebral).
- Dystrophy of some type.
- Accidents which lead to amputation (Victims of armed conflict)[12, 13][14], among others.

These can lead to the presence of permanent limitations and conditions of disability [15].

An important reference, given that World Health Organization-OMS does not state that 15% of population suffer some type of disability and indicators in this study lead to believe that this figure is on the rise, and that population numbers with this condition is increasing. For Colombia, the 2005 census from the National Administrative Department of Statistics (Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia – DANE) [16], the analysis shows statistics by department on people's disabilities. Most relevant parameters indicate that the departments with the highest figures of disability are Cali (Valle del Cauca), Antioquia and Bogotá. According to this analysis, the official figure for this year suggests that in Colombia there are 2'624.898 disabled people. Off the record, by 2015 the WHO claimed the same indicator to be 3'051.217. For specifically physical disabilities, the figure corresponds to 29,3% of the population, according to the same statistics [17][18].

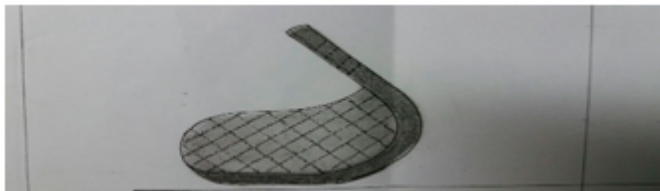
This analysis generates the necessity of designing and implementing our own prototype, according to geographic, labor and socioeconomic considerations; which complies with morphological parameters of the patients who have suffered amputation due to the armed conflict, disabled soldiers, whose average weight ranges 80 Kg. These factors, along with proper alignment [19], and further walking analysis [20][21], can provide a prototype capable of resisting high impact and functionally accommodating to the design parameters required [22].

## 2. General analysis of prosthesis

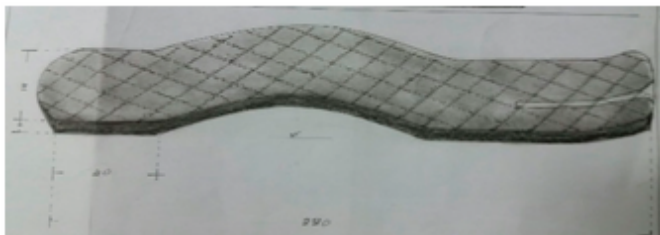
The analysis of prosthesis begins with the parameters taken into account when designing the prosthetic component, which will not be discussed, as they have been thoroughly treated in previous papers [23].

The elaboration of the foot in carbon fiber is determined starting from the design and specifications, based on anthropometric and biomechanical measurements, specific to the patients object of study.

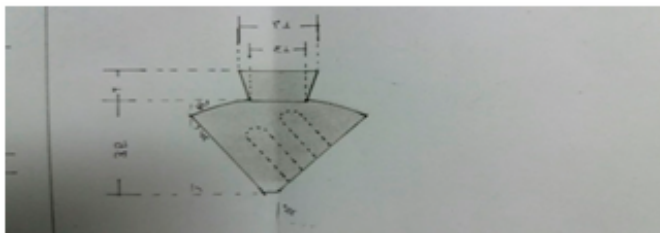
First, sketches are modeled by specialized staff of the school of orthopedic technology of the Centro de Diseño y Metrología-SENA Center for Design and Metrology-SENA.



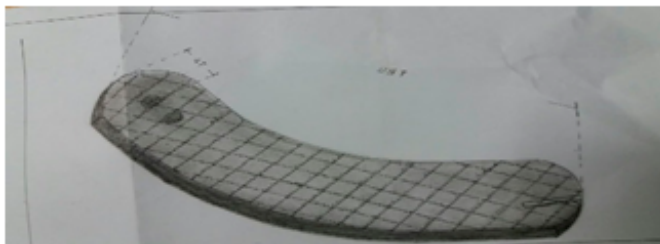
a)



b)



c)



d)



e)

**Figure 1.**a) Ankle b) Sole c) Adapter d) Instep e) General.

Next, the design is elaborated using micro porous sheets.



**Figure 2.** General assembly in micro porous sheets.

### 3. Full articulation assembly

In the general prosthesis assembly, the first step is making molds in plaster to make each of the components which compose the device, complying with required dimension (activity, weight, length, width, thickness, degrees, height).

Afterwards, the first tests were made with molds, using 100 grs of acrylic resin; 6 strips of carbon fiber were cut bidirectionally at 90°; the six layers of fiber were put in the mold, and the resin was poured inside. The mold was pressed until hardened for four (4) hours; then it was extracted from the mold and burr was removed from the pieces obtained. Uniformity and resistance of the piece were checked (Stencil, heel, instep, adapter) in anticipation for assembly. This process was repeated with each of the pieces forming the model.

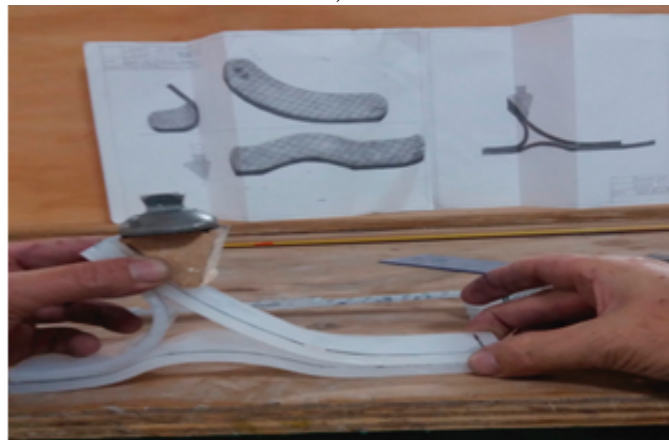


a)





b)



c)

**Figure 3.** a) Stencils b) Mold c) Assembly.

Once all the pieces have been obtained, and their quality has been checked, they are assembled, paying special attention to proper alignment and fitting.

Proper adaptation is checked when assembling the components, thus determining the alignment recommended and optimal for socket and prosthetic foot respectively.

### 3.1 Materials and method

Given that the article is shown as a set of experiences for the manufacture of an element it is necessary to specify the methodologies required to make the different prototypes, the methodologies used were the casting molding where prototype was obtained in polypropylene in thermoplastic, after that a molding was made for carbon fiber construction with 6 layers of

bidirectional carbon fiber placed at 90 °, the adapter was made with a duralumin block machined in a four axis lathe, the description of the elements is as follows:

- Polypropylene.
- Duralumin.
- Carbon fiber in bidirectional mantle.
- Rivets.

The final result of our manufacture is the following:

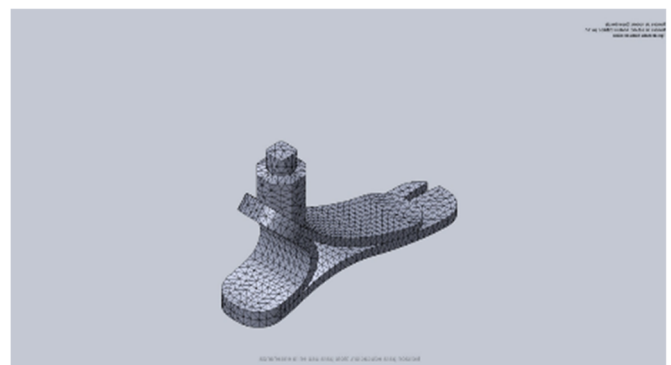


**Figure 4.** Final Assembly.

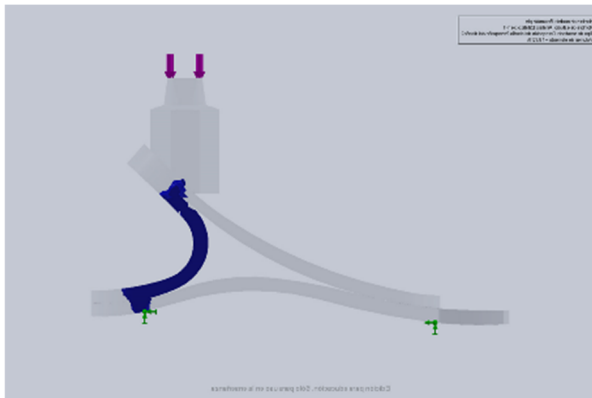
### 4. Model analysis and results by finite elements

To begin the analysis, the prosthesis was defined in a model format \*.igs for proper visualization and software adjustment during the use of the structural analysis module.

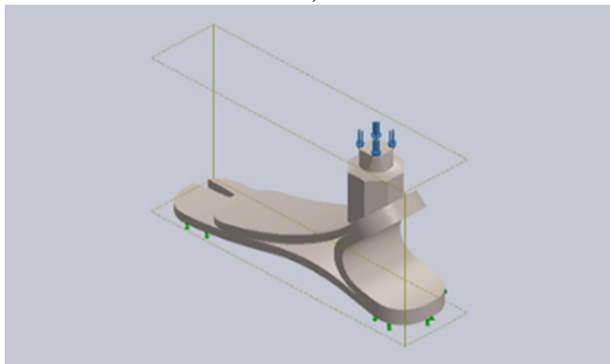
In the first step, the prosthesis was visualized fully and all components were verified.



a)



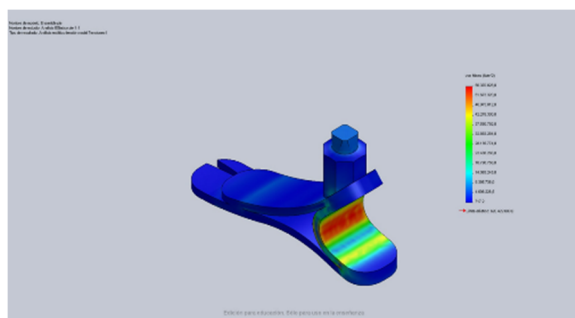
b)



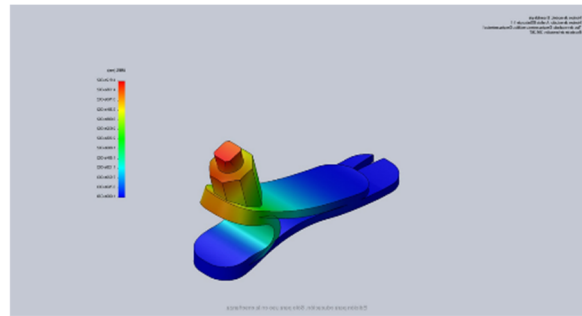
c)

**Figure 5.** a) Tetragonal mesh b) Forces implementation  
 c) Forces applied on critical elements.

When mesh visualization was finished, a single load vector was applied, corresponding to 100Kg, located in the zone where the previously analyzed socket or adapter will be placed. The load is studied as follows (figure 5) and it is verified to make sure it is not tilted.



a)



b)

**Figure 6.** a) Von Misses tension force 100Kg.  
 b) Implementation of forces focused on the adapter.

**Table 1.** Results of the static analysis for tension

Name	Type	Min.	Max.
Tension	VON: von Misses tension	717.23 N/m <sup>2</sup> Node: 10111	5.63708e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 12505

Static analysis feet- Tensions

**Table 2.** Results of static analysis for displacement

Name	Type	Min.	Max.
Displacements 1	URES: Resulting displacement	0 mm Node: 6919	0.045 1218 mm Node: 699

Static analysis foot- displacements

**Table 3.** Results static analysis for deformations

Name	Type	Min.	Max.
Unitary Deformation	ESTRN: Equivalent Unitary Deformation	3.82251e -009 Element: 5949	0.0001715 92 Element: 7141

Mostly, foot components display aggressive curve radiuses and fatigue failure possibility, due to the permanent load cycle it will endure. Therefore, breaking points, displacements and deformations, were revised, as seen in tables 1,2 and 3. In latter manufacturing, these issues will be corrected.

#### 4.1 Security factor

Since the safety factor is configured as the relationship between the maximum stress and the permissible stress of the material. And performing the respective calculation for the model gives us a value of 8%, assuming then that the value is eight points above. Exceeding widely the fracture values of the material.

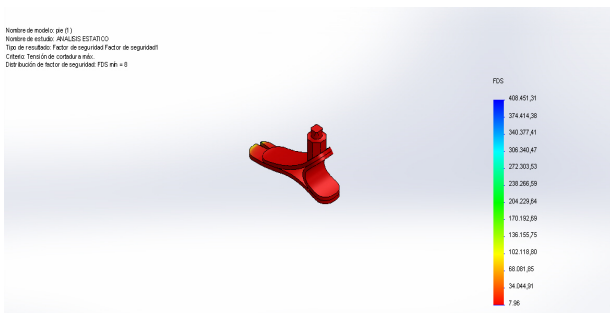


Figure 7. Security Factor 8%.

#### 5. Conclusions

- In the first test with molds, we were able to prove that it is not functional, due to the limited space of the piece for proper accommodation of carbon fibers.
- Mostly, foot components display aggressive curve radiuses and fatigue failure possibility, due to the permanent load cycle it will endure.
- For the case of the ankle, it is necessary to comply with active flexion and extension movements in the load and balance phase, in order to resemble static and dynamic movements (cinematic) of physiological walk.
- Foot must respond to mechanical functions of ankle component and assume functions proper to said component.
- The value of the safety factor is 8%, which allows us to have peace of mind in the use of the materials and the use that has been given to this piece, for greater safety we are making the test tubes for

analysis and the respective analysis of march for the proper use of the prosthesis.

#### 6. Referencies

- [1] C. Curtze, A. L. Hof, H. G. van Keeken, J. P. Halbertsma, K. Postema, and B. Otten, "Comparative roll-over analysis of prosthetic feet," *Journal of biomechanics*, vol. 42, pp. 1746-1753, 2009.
- [2] J. D. Ventura, G. K. Klute, and R. R. Neptune, "The effect of prosthetic ankle energy storage and return properties on muscle activity in below-knee amputee walking," *Gait & posture*, vol. 33, pp. 220-226, 2011.
- [3] H. Masum, S. Bhaumik, and R. Ray, "Conceptual Design of a Powered Ankle-foot Prosthesis for Walking with Inversion and Eversion," *Procedia Technology*, vol. 14, pp. 228-235, 2014.
- [4] A. Mai and S. Commuri, "Intelligent control of a prosthetic ankle joint using gait recognition," *Control Engineering Practice*, vol. 49, pp. 1-13, 2016.
- [5] D. Heitzmann, J. Block, M. Alimusaj, and S. Wolf, "Evaluation of a novel prosthetic foot while walking on level grotimesund, ascending and descending a ramp," *Gait & Posture*, vol. 42, pp. S94-S95, 2015.
- [6] A. D. Segal, K. E. Zelik, G. K. Klute, D. C. Morgenroth, M. E. Hahn, M. S. Orendurff, *et al.*, "The effects of a controlled energy storage and return prototype prosthetic foot on transtibial amputee ambulation," *Human movement science*, vol. 31, pp. 918-931, 2012.
- [7] B. W. Townsend and B. K. Claudino, "Prosthetic foot with tunable performance," ed: Google Patents, 2003.
- [8] K. Z. Takahashi and S. J. Stanhope, "Mechanical energy profiles of the combined ankle-foot system in normal gait: insights for prosthetic designs," *Gait & posture*, vol. 38, pp. 818-823, 2013.
- [9] M. Van der Linden, S. Solomonidis, W. Spence, N. Li, and J. Paul, "A methodology for studying the effects of various types of prosthetic feet on the biomechanics of trans-femoral amputee gait," *Journal of biomechanics*, vol. 32, pp. 877-889, 1999.
- [10] B. A. Ebrahimi, S. R. Goldberg, and S. J. Stanhope, "Changes in relative work of the lower extremity joints and distal foot with walking speed," *Journal of Biomechanics*, 2017.
- [11] D. Rusaw and N. Ramstrand, "Sagittal plane position of the functional joint centre of prosthetic foot/ankle mechanisms," *Clinical Biomechanics*, vol. 25, pp. 713-720, 2010.
- [12] R. Diaper, E. Wong, and S. A. Metcalfe, "The implications of biologic therapy for elective foot and ankle surgery in patients with rheumatoid arthritis," *The Foot*, 2017.
- [13] P. Seng, F. Theron, E. Honnorat, D. Prost, P.-E. Fournier, and A. Stein, "Raoultella ornithinolytica: An unusual pathogen for prosthetic joint infection," *IDCases*, vol. 5, pp. 46-48, 2016.
- [14] D. C. Morgenroth, A. D. Segal, K. E. Zelik, J. M. Czerniecki, G. K. Klute, P. G. Adamczyk, *et al.*, "The effect of prosthetic foot push-off on mechanical loading associated with knee

- osteoarthritis in lower extremity amputees," *Gait & posture*, vol. 34, pp. 502-507, 2011.
- [15] S. Portnoy, A. Kristal, A. Gefen, and I. Siev-Ner, "Outdoor dynamic subject-specific evaluation of internal stresses in the residual limb: hydraulic energy-stored prosthetic foot compared to conventional energy-stored prosthetic feet," *Gait & posture*, vol. 35, pp. 121-125, 2012.
- [16] C. G. de la Nación, "Primer informe de seguimiento y monitoreo de los entes de control a la ley 1448 de 2011 de víctimas y resttución de tierras," ed: Bogotá, 2012.
- [17] A. a. Víctimas, "Dirección Contra Minas, Ministerio De Postconflicto Derechos Humanos Y Seguridad," 2016.
- [18] C. I. D. L. C. ROJA, "Minas terrestres: legado de la guerra," 2016.
- [19] S. Litzemberger, A. Sabo, and F. K. Fuss, "Effect of different mounting angles of prosthetic feet dedicated to sprinting on reaction forces," *Procedia Engineering*, vol. 147, pp. 490-495, 2016.
- [20] B. Altenburg, M. Bellmann, T. Schmalz, J. Sottong, and S. Blumentritt, "Biomechanical investigation of currently available microprocessor controlled prosthetic feet," *Gait & Posture*, p. S94, 2015.
- [21] A. Eisner, J. Rosati, and R. Wiener, "Experimental and theoretical investigation of particle-laden airflow under a prosthetic mechanical foot in motion," *Building and Environment*, vol. 45, pp. 878-886, 2010.
- [22] P. Taboga and A. M. Grabowski, "Axial and torsional stiffness of pediatric prosthetic feet," *Clinical Biomechanics*, 2017.
- [23] J. H. Martin., L. A. P. Piñeros., and G. A. M. Mendieta, "Design and implementation of transtibial prosthesis", 2016.

## Plataforma para la autogestión de datos de pacientes hipertensos en Panamá

### Platform for the data self-control of patients with arterial hypertension in Panamá

Vladimir Villarreal<sup>1\*</sup>, Manuel Samudio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación GITCE, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [vladimir.villarreal@utp.ac.pa](mailto:vladimir.villarreal@utp.ac.pa)

**RESUMEN**— La hipertensión arterial es una enfermedad crónica, caracterizada por el aumento continuo de las cifras de presión sanguínea en las arterias; consecuente al sedentarismo, la falta de actividad física, la alimentación poco saludable efectos negativos para el ser humano. En este artículo, se presenta una plataforma que permite la gestión de datos de pacientes con enfermedades crónicas no transmisibles, como la hipertensión arterial, almacenando los datos de los pacientes, el registro histórico y las tendencias de las medidas almacenadas, alertas y recomendaciones de acuerdo a los rangos de mediciones obtenidas. El desarrollo es planteado a través de una metodología de prototipado para generar modelos a corto tiempo. Actualmente en nuestro país no existe una plataforma que permita a los panameños la autogestión de datos básicos de salud. Este proyecto sigue las metas que establece la Agenda Nacional de Prioridades de Investigación e Innovación para la Salud 2016-2025, en donde se pretende presentar soluciones que resuelva los problemas relacionados al estudio de los estilos de vida y comportamientos asociados a la distribución de la carga global de enfermedades no transmisibles en Panamá y una solución que permite el desarrollo y la sistematización de la información gerencial para conocer la situación de salud. A través de esta plataforma, también podemos generar estadísticas sobre medidas promedio en un tiempo determinado, por edad, por región, por fecha específica que pueden ser usados por las instituciones de salud, para la debida generación de programas y planes de prevención y control de salud en Panamá.

**Palabras clave**— Presión arterial, aplicaciones web, ingeniería de software, servicios web, hipertensión.

**ABSTRACT**— Arterial hypertension is a chronic disease, characterized by the continuous increase of blood pressure figures in the arteries; as a consequence of physical inactivity, unhealthy eating having negative effects for humans. In this article shows a platform that allows the management of patients data with chronic noncommunicable diseases, such as arterial hypertension, storing patient data, historical record and trends of stored measures, alerts and recommendations of agreement through the ranges of measurements obtained is presented. The development is raised through a prototyping methodology to generate models in a short time. Currently in our country there is no platform that allows Panamanians self-management of basic health data. This project follows the objective set by the National Agenda of Research and Innovation Priorities for Health 2016-2025, where it is intended to present solutions to solve the problems related to the study of lifestyles and behavior associated with the distribution of the burden of noncommunicable diseases in Panama and a solution that allows the development and systematization of managerial information to know the health situation. Through this platform, we can also generate statistics on average measures in a given time, by age, by region, by specific date that can be used by health institutions, for the proper generation of prevention and control programs and plans health in Panama.

**Keywords**— Blood pressure, web applications, software engineering, web services, hypertension.

### 1. Introducción

La presión arterial es la fuerza que ejerce la sangre al circular por las arterias. Las arterias son vasos sanguíneos que llevan sangre desde el corazón hacia el resto del cuerpo. Presión arterial alta es cuando la presión arterial es generalmente más alta de lo que debería. También se la denomina hipertensión. Es como un neumático de un automóvil con demasiado aire; si no se reduce la presión, el neumático puede dañarse. Si no se disminuye la presión arterial alta, se pueden afectar los ojos, el cerebro, el corazón, los vasos sanguíneos y los riñones [1].

La hipertensión arterial (HTA) es un problema de salud pública y afecta a millones de personas a nivel mundial, es una enfermedad asintomática y de fácil detección, en caso que no se trate a tiempo puede ocasionar complicaciones graves o letales. En el 2010 un estudio de carga global de la enfermedad reveló que nueve millones de personas fallecieron como resultado de la hipertensión, lo que convierte a este problema cardiovascular en el principal factor de riesgo de salud a nivel mundial [2].

En este artículo se detalla el diseño y desarrollo de la plataforma *AmIHEALTH* que permite gestionar y

realizar seguimiento a pacientes a través de los dispositivos portátiles o de escritorio, obteniendo los datos médicos desde los dispositivos biométricos existentes, para el beneficio de las personas dependientes con problemas de tensión arterial.

El paciente puede almacenar sus datos de tensión arterial, peso, entre otros para su autocontrol médico. Además, los especialistas en salud pueden consultar, previo consentimiento del paciente, el histórico de sus medidas y el comportamiento total de las medidas almacenadas en el servidor.

## 2. Antecedentes de la investigación

Las enfermedades crónicas no transmisibles constituyen en la actualidad la principal causa de muerte en muchas regiones del mundo, dentro de las cuales se encuentra la población de nuestro país y nuestra provincia chiricana.

La hipertensión arterial es el principal factor de riesgo cardiovascular; atribuyéndole el 80% de las muertes por complicaciones cerebrovasculares y cardiovasculares en el grupo de población de 65 años o más. Afecta a casi la mitad de los hombres y en una proporción menor de 1 en 4 a las mujeres.

El consumo de tabaco, la falta de actividad física, una alimentación poco saludable son algunos factores de riesgo de padecer una enfermedad cardiovascular, este mal es la primera causa de muerte en Panamá. Cada año, alrededor de 9.4 millones de personas mueren por hipertensión arterial.

El Presidente de la Fundación Panameña del Corazón, el doctor Bey Mario Lombana, dijo que, de cada tres personas adultas, una es hipertensa. “Un 33% de la población adulta sufre de la presión. De esas personas hay una tercera parte que no sabe que la sufren o no han sido detectadas”, indica y advierte que eso es lo que ven las estadísticas mundiales. “Panamá, tiene sus 'numeritos', que no son los mejores”, señaló Lombana [3]. Esta proporción, según información del Ministerio de Salud contenida en su sitio web oficial, aumenta con la edad: una de cada diez personas de 20 a 40 años, y cinco de cada diez de 50 a 60 años.

Estas cifras se asemejan a las resultantes del estudio de PREFREC, realizado en el 2010 por el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios para la Salud y el Ministerio de Salud, que indican que el 28.4% de los participantes del estudio reportaron el antecedente de

hipertensión por diagnóstico médico y 24.1% tenían valores de presión arterial clasificados como HTA [4].

## 3. Justificación del proyecto

En nuestro país es de gran importancia el desarrollo de tecnologías que faciliten el día a día de los enfermos, para que puedan seguir integrándose a sus actividades diarias. No se propone curar enfermedades, pero sí ofrecer una solución que las haga más llevaderas, minimizando la intrusión de las personas en la vida de los pacientes [5].

Como punto de partida para esta plataforma se propone la creación de un prototipo para facilitar el seguimiento médico y ayudar a la monitorización de pacientes con tensión arterial a través de dispositivos portátiles o de escritorio. A futuro y para posteriores propuestas se pretende desarrollar nuevos prototipos, para otras enfermedades, que formen una “suite” que fortalezcan la plataforma con respecto a un grupo de enfermedades monitoreable.

Esta solución tecnológica es genérica, adaptable, remota y móvil. **Genérica**, porque permite el desarrollo de aplicaciones para cualquier tipo de enfermedades. **Adaptable**, porque ofrece servicios ajustados a cada tipo de enfermedad, evitándole al paciente la tarea de distinguir entre una y otra enfermedad, haciendo la interacción lo más transparente posible. **Remota**, porque el personal médico será capaz de conocer todos los datos obtenidos por los dispositivos biométricos de los pacientes a través de dispositivos portátiles o de escritorio de manera no intrusiva. **Móvil**, porque el desarrollo está basado en la integración de dispositivos de pequeños, portátiles e inalámbricos. Esto le da mayor autonomía al paciente. Todo ello integrado en una plataforma que permita dar seguimiento a diferentes tipos de enfermedades.

Considerando lo anterior se ha desarrollado una plataforma web que permita integrar actividades de control y seguimiento de la hipertensión arterial a través de los dispositivos portátiles o de escritorio, almacenando toda la información, historial y aspectos que permita controlar esta enfermedad. Mediante la creación de esta plataforma web se ofrecen soluciones tecnológicas que permitan a los pacientes un mejor y oportuno seguimiento y control de sus enfermedades, ofreciéndole respuestas constantes en el tiempo adecuado y facilitando la comunicación médico-paciente.

#### 4. Estado del arte: Tensión arterial

La hipertensión arterial es una enfermedad crónica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de la presión sanguínea en las arterias. Aunque no hay un umbral estricto que permita definir el límite entre el riesgo y la seguridad, de acuerdo con consensos internacionales, una presión sistólica sostenida por encima de 139 mmHg o una presión diastólica sostenida mayor de 89 mmHg, están asociadas con un aumento medible del riesgo de aterosclerosis y por lo tanto, se considera como una hipertensión clínicamente significativa.

La hipertensión arterial se asocia a tasas de morbilidad y mortalidad considerablemente elevadas, por lo que se considera uno de los problemas más importantes de salud pública, especialmente en los países desarrollados, afectando a cerca de mil millones de personas a nivel mundial. La hipertensión es una enfermedad asintomática y fácil de detectar; sin embargo, cursa con complicaciones graves y letales si no se trata a tiempo. La hipertensión crónica es el factor de riesgo modificable más importante para desarrollar enfermedades cardiovasculares, así como para la enfermedad cerebrovascular y renal. Se sabe también que los hombres tienen más predisposición a desarrollar hipertensión arterial que las mujeres, situación que cambia cuando la mujer llega a la menopausia, ya que antes de esta posee hormonas protectoras que desaparecen en este periodo y a partir de ese momento la frecuencia se iguala. Por lo tanto, la mujer debe ser más vigilada para esta enfermedad en los años posteriores a la menopausia.

La hipertensión arterial, de manera silenciosa, produce cambios en el flujo sanguíneo, a nivel macro y micro vascular, causados a su vez por disfunción de la capa interna de los vasos sanguíneos y el remodelado de la pared de las arteriolas de resistencia, que son las responsables de mantener el tono vascular periférico. Muchos de estos cambios anteceden en el tiempo a la elevación de la presión arterial y producen lesiones orgánicas específicas [6]. La relación continua existente entre la presión arterial y las complicaciones cardiovasculares y renales hace difícil establecer la distinción entre normotensión e HTA cuando estas se basan en valores de corte de la presión arterial. Esto es aún más evidente en la población general debido a que los valores de presión arterial sistólica y presión arterial

diastólica tienen una distribución *unimodal*. Sin embargo, en la práctica, los valores de corte de la presión arterial se utilizan universalmente, tanto para simplificar la estrategia diagnóstica como para facilitar la toma de decisiones sobre el tratamiento. La clasificación recomendada no ha variado desde las ediciones de la guía sobre HTA de la ESH/ESC (*European School of Hypertension – European Society of Cardiology*) de 2003 y 2007 [7].

En Panamá según la Guía Nacional de Hipertensión Arterial del 2004, se considera hipertensión arterial como una presión arterial mayor o igual a 140/90 mmHg, para diabéticos y nefrópatas, una presión arterial mayor o igual 130/80 mmHg, todas las mediciones por debajo de estos rangos se consideran una presión arterial normal.

**Tabla 1.** Clasificación de la presión arterial. Fuente: [7]

Categoría	Sistólica		Diastólica
Óptima	< 120	y	< 80
Normal	120-129	y/o	80-84
Normal alta	130-139	y/o	85-89
HTA de grado 1	140-159	y/o	90-99
HTA de grado 2	160-179	y/o	100-109
HTA de grado 3	$\geq$ 180	y/o	$\geq$ 110
HTA sistólica aislada	$\geq$ 140	y	< 90

Luego de considerar las clasificaciones propuestas de estudios más recientes como lo son el séptimo informe del Comité Nacional Conjunto sobre la prevención, detección, evaluación y tratamiento de la presión arterial elevada, las pautas europeas para el manejo de la hipertensión, se decidió utilizar la clasificación del Consenso Latinoamericano sobre Hipertensión Arterial para implementarlo en la plataforma, donde el concepto de hipertensión se diagnostica cuando la presión arterial es mayor o igual a 140/90 mmHg, como se muestra en la tabla 1.

#### 5. Materiales y métodos

Para el desarrollo de la plataforma se eligió una metodología de desarrollo evolutivo con modelado de prototipo, el cual se consideró el más acorde con el tipo de proyecto. Esta metodología se basa en la idea de desarrollar una implementación inicial, exponiéndola a los comentarios del usuario y refinándola a través de las diferentes versiones hasta que se desarrolla un sistema adecuado (figura 1). Las actividades de especificación,

desarrollo y validación se entrelazan en vez de separarse, con una rápida retroalimentación entre estas [8].

El paradigma de hacer prototipos (véase la figura 2) comienza con comunicación. Usted se reúne con otros participantes para definir los objetivos generales de *software*, identifica cualesquiera requerimientos que conozca y detecta las áreas en las que es imprescindible una mayor definición. Se planea rápidamente una iteración para hacer el prototipo, y se lleva a cabo el modelado (en forma de un “diseño rápido”). Este se centra en la representación de aquellos aspectos del software que serán visibles para los usuarios finales (por ejemplo, disposición de la interfaz humana o formatos de la pantalla de salida). El diseño rápido lleva a la construcción de un prototipo. Este se entrega y es evaluado por los participantes, que dan retroalimentación para mejorar los requerimientos. La iteración ocurre a medida que el prototipo es afinado para satisfacer las necesidades de distintos participantes, y al mismo tiempo le permite a usted entender mejor lo que se necesita hacer.

El ideal es que el prototipo sirva como mecanismo para identificar los requerimientos del *software*. Si va a construirse un prototipo, pueden utilizarse fragmentos de programas existentes o aplicar herramientas (por ejemplo, generadores de reportes administradores de ventas) que permitan generar rápidamente programas que funcionen [9].

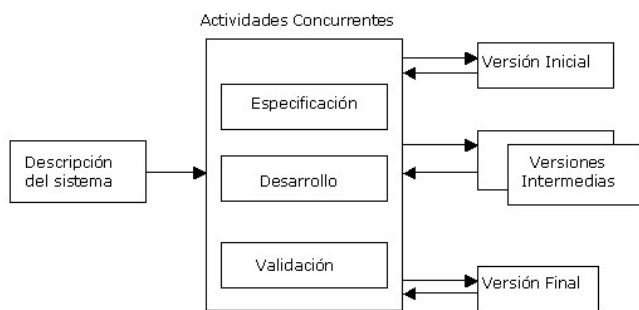


Figura 1. Modelo de proceso evolutivo. Fuente: [8].

### 5.1 Patrones de diseño y arquitectura

Los patrones de arquitectura y diseño de la plataforma están basados en el *framework Laravel* sobre el cual está construida la aplicación.

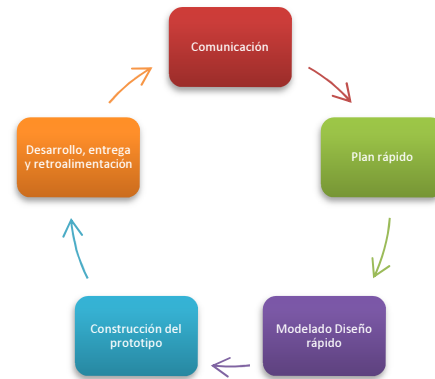


Figura 2. Paradigma de hacer prototipos. Fuente: [10].

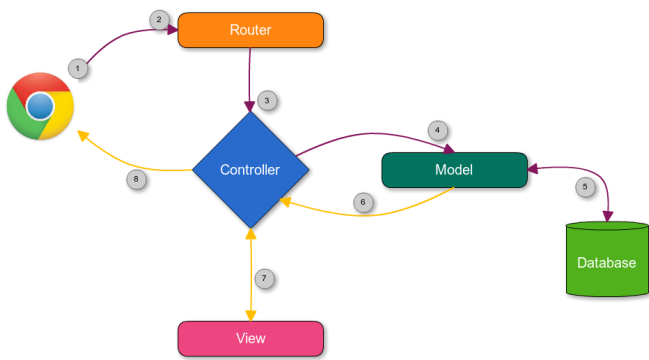
#### 5.1.1 Modelo-Vista-Controlador(MVC)

Es un patrón de arquitectura que separa una aplicación en tres principales componentes lógicos: el modelo, la vista, y el controlador. Cada uno de estos componentes se construyen para manejar aspectos específicos de desarrollo de una aplicación. MVC es uno de los marcos de desarrollo web estándar de la industria más utilizado para crear proyectos escalables y extensibles [10].

En la figura 3 se detalla el funcionamiento de este patrón arquitectónico, donde *Laravel* incluye un sistema de mapeo de datos relacional llamado *Eloquent ORM* que facilita la creación de modelos. Este *ORM* se fundamenta en el patrón *Active Record* y su funcionamiento es muy sencillo. Es opcional el uso de *Eloquent*, pues también dispone de otros recursos que nos facilitan interactuar con los datos, o específicamente la creación de modelos. El mismo incluye un sistema de procesamiento de plantillas llamado *Blade*.

Este sistema de plantillas favorece a crear un código mucho más limpio en las vistas. El sistema *Blade* de *Laravel*, permite una sintaxis mucho más reducida en su escritura. Los controladores contienen la lógica de la aplicación y permiten organizar el código en clases sin tener que escribirlo todo en las rutas.





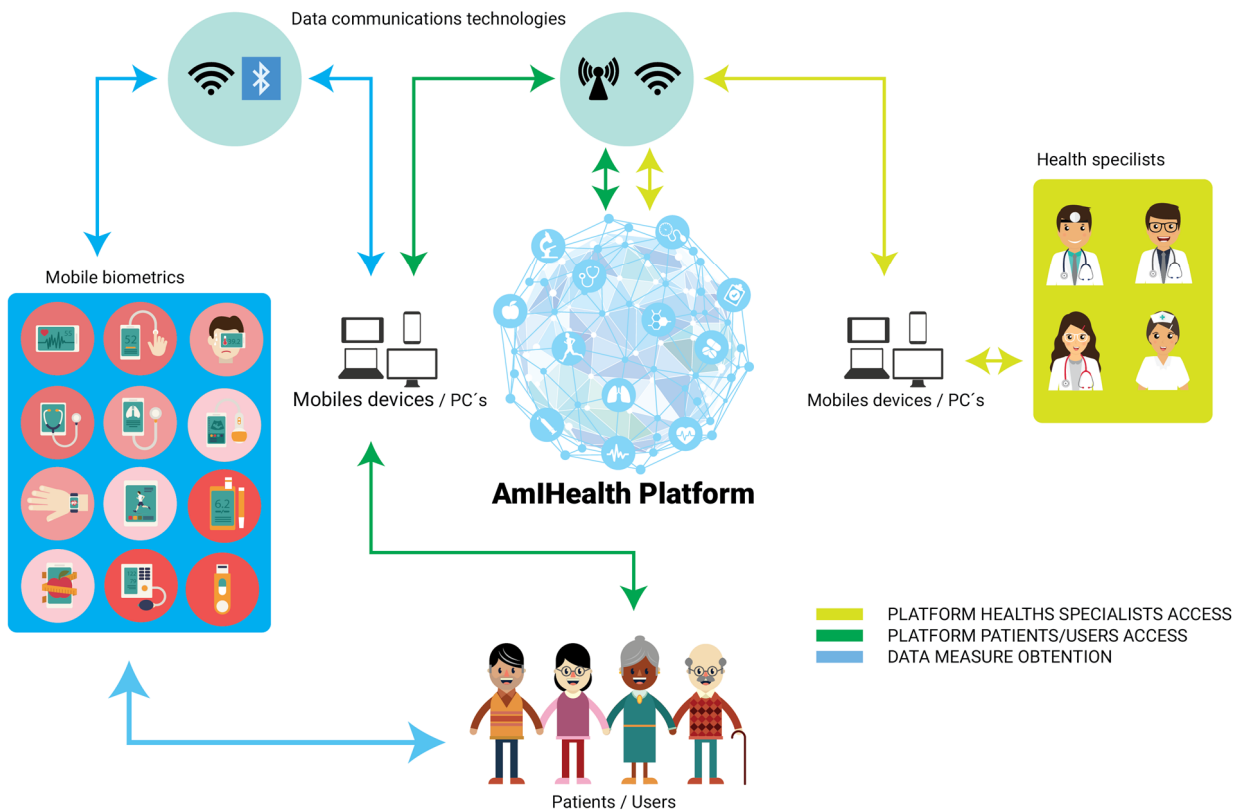
**Figura 3.** Arquitectura MVC. Fuente: [10].

### 5.1.2 Arquitectura de la plataforma

Esta plataforma permite integrar diversas aplicaciones móviles para el autocontrol de enfermedades como la presión arterial, nutrición, diabetes, entre otras.

En la figura 4, se muestran los elementos que integran la plataforma. La plataforma debe permitir la conexión de dispositivos biométricos a través de la tecnología *Bluetooth*, *WiFi*, entre otros. Estos dispositivos son responsables de capturar datos del paciente o del usuario. Esta información se almacena en el dispositivo móvil (Smartphone, Tablet, computadora) a través de una base de datos remota alojada en un servidor central.

La información obtenida de los pacientes puede ser revisada y consultada por especialistas médicos, a través de una aplicación web, donde se puede observar la historia de las mediciones, peso, índice de masa corporal, las recomendaciones generadas, entre otra.



**Figura 4.** Esquema de la plataforma desarrollada. Fuente: los autores.

Además de facilitar el autocontrol del paciente, la plataforma permite la generación de estadísticas de presión arterial promedio por día, mes, año. También es posible obtener estadísticas de tensión promedio por

rango de edad, ubicación geográfica, la mayoría de los alimentos consumidos, entre otros.

Para el desarrollo de la plataforma se ha elegido el *framework Laravel* versión 5.4. para el lenguaje de

programación *PHP* versión 5.6.30. Este *framework* de código abierto nos permite el uso de una sintaxis elegante y expresiva para crear código de forma sencilla y permitiendo multitud de funcionalidades.

Para el desarrollo de la plataforma se ha elegido el *framework Laravel* versión 5.4. para el lenguaje de programación *PHP* versión 5.6.30. Este *framework*, de código abierto, nos permite el uso de una sintaxis elegante y expresiva para crear código de forma sencilla y permitiendo multitud de funcionalidades.

En la figura 5 se muestra la arquitectura del servicio, el cual implementa el protocolo estándar abierto *Open Authorization (OAuth 2.0)*. *OAuth 2.0* es un *framework* de autorización que permite a las aplicaciones obtener acceso limitado a cuentas de usuario en un servicio HTTP, como Facebook, Google e Instagram, etc. Funciona al delegar la autenticación de usuario en el servicio que aloja la cuenta de usuario y autoriza a las aplicaciones de terceros a acceder a la cuenta de usuario. *OAuth 2.0* proporciona flujos de autorización para aplicaciones web, de escritorio y móviles.

La plataforma *AmiHEALTH* expone un servicio web *Restful API* que permite la autenticación a través del registro y acceso a los datos de forma segura en el *middleware OAuth 2.0*, como se ilustra en la figura 5, a los usuarios la aplicación móvil.

En la implementación de esta arquitectura el *framework OAuth 2.0*, nos permite crear un *token client secret* o código de cliente secreto para autenticar las aplicaciones de terceros que quieran conectarse a nuestra plataforma.

Si sus credenciales son correctas, el servidor de autorización emite un *token* de acceso, el cual debe ser almacenado en la aplicación. Una vez el *token* de acceso es almacenado, la aplicación puede hacer consultas de los recursos protegidos por el *middleware* en el servicio web, cada consulta debe contener el *token* de acceso para ser validado por el *middleware*, de lo contrario la aplicación no podrá acceder a las rutas del *API* de la plataforma. Si el *token* expira o el usuario cierra sesión, será necesario que el usuario vuelva a realizar este proceso.

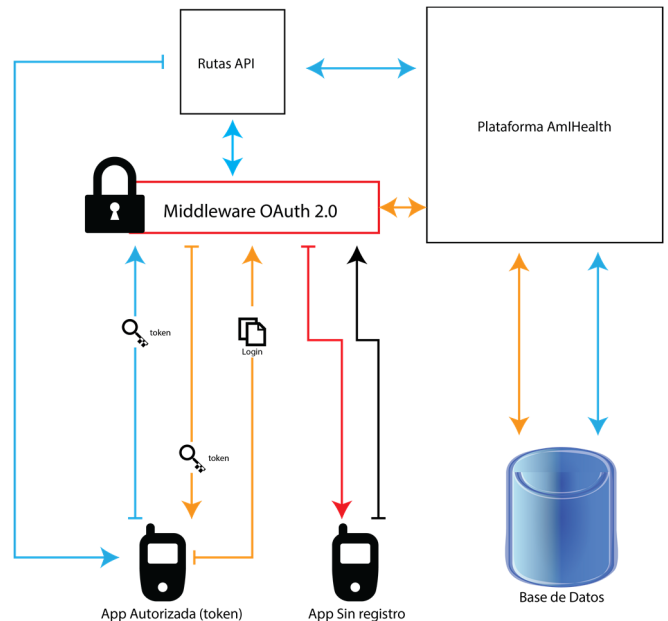


Figura 5. Arquitectura del servicio. Fuente: los autores.

La figura 6 muestra el esquema de base de datos de la plataforma *AmiHEALTH* para el registro de usuarios. Cuando un paciente se registra, debe ingresar sus datos generales además de su origen étnico, peso, estatura y cintura, las cuales son muy importantes para poder generar estadísticas futuras.

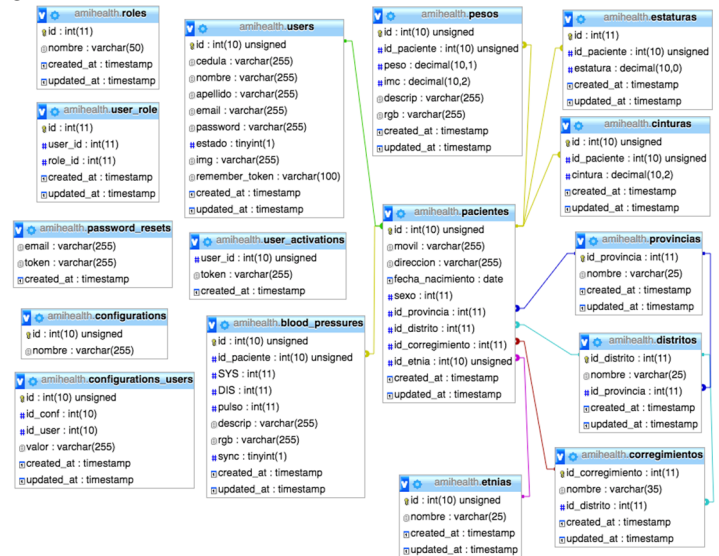


Figura 6. Esquema de la base de datos *AmiHEALTH*. Fuente: los autores.

Una vez que el paciente activa su cuenta puede proceder a registrar sus medidas de presión arterial. La tabla de medidas contiene el número de identificación del paciente, la presión sistólica, la presión diastólica y

el pulso. El paciente podrá ver sus medidas con el tiempo. También, el sistema utiliza las mediciones de la presión arterial del paciente para clasificarlo por grupo o categoría usando la clasificación mostrada en la tabla 1.

## 6. Resultados: Desarrollo de la plataforma

A continuación, se detalla cada una de las características principales de la plataforma web y el servicio expuesto para la autenticación de los usuarios de la aplicación móvil.

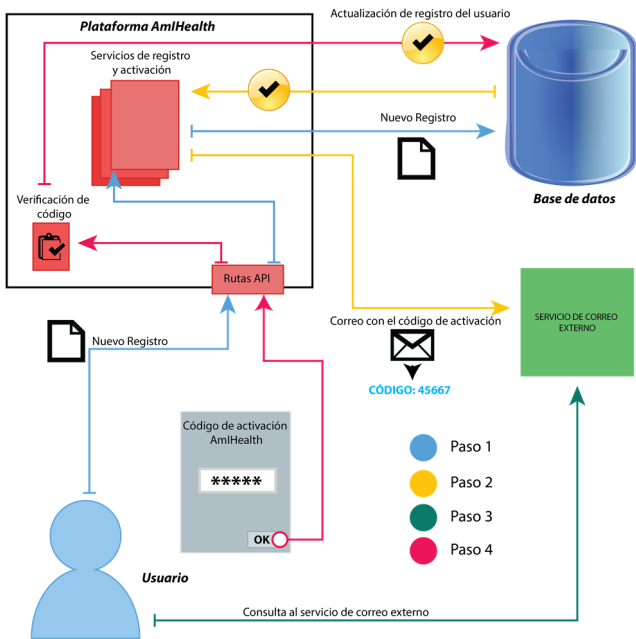


Figura 7. Proceso de autenticación de usuario. Fuente: los autores.

### 6.1 Registro de usuario

Para el registro de usuario en la plataforma hemos implementado el proceso de autenticación de usuario, véase figura 7.

Como se muestra la figura 8, cuando un nuevo paciente se registra debe introducir sus datos generales y datos tales como etnia, altura, cintura. Una vez que el registro sea exitoso, el sistema enviará un correo electrónico al paciente, el cual deberá confirmar para entrar en la plataforma.

Figura 8. Vista del registro. Fuente: los autores.

### 6.2 Inicio de sesión

Esta vista permite al usuario ingresar a la plataforma introduciendo su correo electrónico y contraseña. Además, le permite elegir si desea que el navegador recuerde sus datos. Como se muestra en la figura 9, si el usuario no está registrado, debe hacer clic en el enlace de registro.

Figura 9. Vista del login. Fuente: los autores.

### 6.3 Dashboard

La figura 10 Dashboard del paciente, es el espacio en el cual se muestran las mediciones más recientes de la presión arterial, peso y otras medidas adicionales. Estas se muestran por semana, mes o año y las representa gráficamente de una manera fácil y sencilla de comprender para el paciente. Además, tiene una barra lateral que muestra las diferentes acciones que el paciente puede realizar, como la adición de una nueva medición de la presión arterial, listar las medidas de presión arterial, mostrar las gráficas de presión arterial, añadir pesos, listar los pesos y mostrar gráficas de pesos y índices de masa corporal.

#### Dashboard



Figura 10. Vista del Dashboard. Fuente: los autores.

### 6.4 Mediciones de presión arterial

En la figura 11, se muestra la vista de registro de una nueva medición de presión arterial. El paciente debe introducir los valores de presión sistólica, diastólica y el pulso manualmente, estos valores deben ser dados en mmHg y en Bpm. En la primera versión, la plataforma permite a los pacientes hacer la captura de la tensión arterial de forma manual, posterior a este proceso se estará ajustando el módulo Bluetooth. La decisión se basa en que la mayoría de los pacientes tienen un dispositivo convencional, que no cuenta con tecnología de comunicación.

### Presión Arterial

The form titled 'Nueva Medida de Presión Arterial' has three input fields: 'SYS (mmHg)' with the value 175, 'DIS (mmHg)' with the value 96, and 'Pulso (Bpm)' with the value 89. A green 'Guardar' button is at the bottom.

Figura 11. Registro de presión arterial. Fuente: los autores.

El paciente puede almacenar, las veces que considere necesario, las medidas que tenga que hacerse diariamente, y almacenarlas en el dispositivo móvil.

#### Medidas de Presión Arterial

20 DIC	SYS 185 mmHg	DIS 98 mmHg	PULSO 95 Bpm	Hipertensión grado 3
Miércoles 20, Diciembre 2017, 06:06 PM				
26 NOV	SYS 130 mmHg	DIS 85 mmHg	PULSO 80 Bpm	Normal alta
22 NOV	SYS 146 mmHg	DIS 90 mmHg	PULSO 85 Bpm	Hipertensión grado 1
08 NOV	SYS 165 mmHg	DIS 95 mmHg	PULSO 90 Bpm	Hipertensión grado 2

Figura 12. Lista de mediciones de presión arterial. Fuente: los autores.

El paciente puede listar sus medidas de presión arterial las cuales se muestran en forma cronológica. En la figura 12, se muestra la lista de las mediciones del paciente, la cual muestra la fecha de la medición, el resultado de la presión sistólica, la presión diastólica, el pulso y su clasificación según los rangos definidos en la tabla 1.

Además del histórico en lista, el paciente puede mostrar una gráfica de las tendencias de sus medidas de presión arterial en un periodo de tiempo determinado, como se muestra en la figura 13.

En la gráfica el paciente puede ver las tres medidas obtenidas (presión sistólica, diastólica y pulso), el paciente puede colocarse en cada uno de los puntos y se mostrará la medida almacenada.

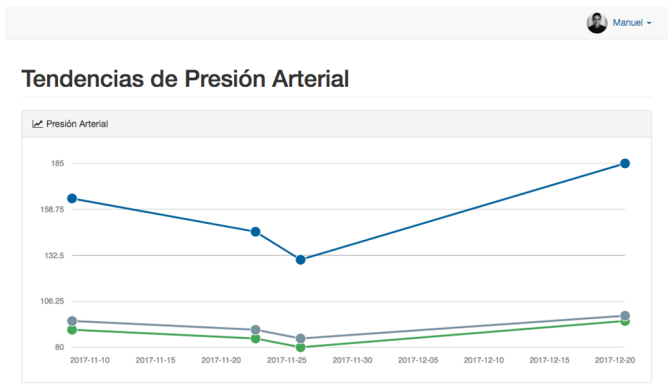


Figura 13. Tendencias de presión arterial. Fuente: los autores.

El paciente puede revisar además de la presión arterial, el peso. El sistema con base en el peso y la talla, calcula el índice de masa corporal (IMC). Este elemento es importante debido a que el sobrepeso, es considerado como un factor de riesgo para padecer de hipertensión arterial. El paciente debe controlar, además de la presión arterial, el peso según transcurra el tiempo.

El peso y el IMC se pueden visualizar, al igual que la presión arterial, en formato de lista y gráfica.

## 7. Prueba de rendimiento y seguridad de la plataforma

Uno de los elementos importantes antes de poner en marcha la plataforma, es evaluar la seguridad de los datos almacenados en el servidor. Esto radica en que toda la información que ofrecen los pacientes, ha sido dada bajo consentimiento propio, con la condicionante que se asegure la integridad y almacenamiento de esos datos. Para ello, se han revisado aspectos relacionados con la vulnerabilidad, para ofrecer una plataforma segura.

### 7.1 Seguridad de la plataforma

Se realizó una evaluación del certificado SSL de la plataforma web el cual obtuvo un resultado calificativo de A+ como se puede observar en la figura 14. Para esta prueba se utilizó unas de las herramientas de *SSL Labs*. Este servicio online gratuito realiza un análisis profundo de la configuración de cualquier servidor web SSL en la Internet pública [11].

Este certificado SSL fue generado utilizando la herramienta de cifrado *Let's Encrypt*. *Let's Encrypt* es una Autoridad de Certificado (CA) libre, automatizada y abierta, ejecutada para beneficio del público. Es un

servicio proporcionado por *Internet Security Research Group (ISRG)* [12].

Como se puede observar en la figura 15, se realizaron pruebas de vulnerabilidades en la plataforma web utilizando la herramienta de OWASP ZAP para pruebas de penetración en sitios web.

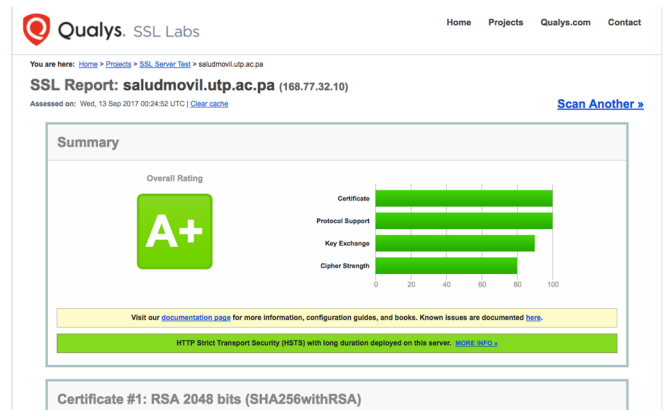


Figura 14. Reporte SSL Labs. Fuente: [11].

Luego de realizar la prueba se encontraron algunas incidencias menores como Error Page Path Disclosure, Login Page password-guessing attack, TRACE method habilitado, Broken links y otros, los cuales fueron mitigados después de realizadas las pruebas de vulnerabilidad.

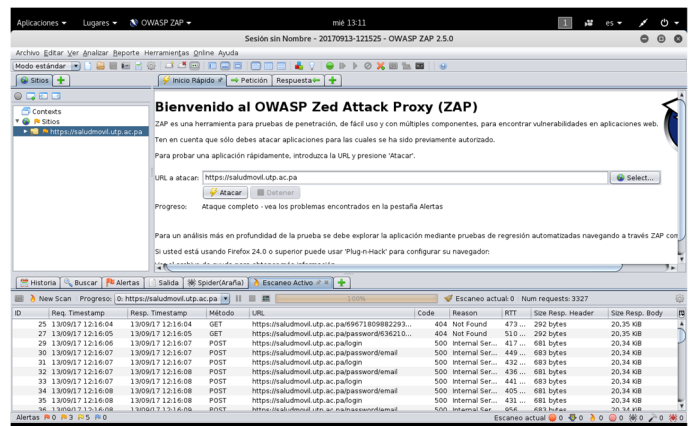


Figura 15. OWASP ZAP test de penetración. Fuente: [12].

Posterior al análisis de seguridad y rendimiento de la plataforma se procederá evaluar aspectos de funcionalidad, diseño y adaptabilidad por parte de los usuarios finales quienes usarán la plataforma por un periodo de tres meses.

Durante estos tres meses tanto los especialistas de la salud como los pacientes, serán encuestados para conocer su experiencia de usuario.

## 8. Conclusiones

El desarrollo de tecnologías que faciliten el procesamiento y almacenamiento de datos de pacientes, son una solución apropiada para la toma de decisiones en cuanto a tendencias de una enfermedad. Luego de desarrollado este proyecto hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- En este proyecto presenta una solución para las personas que necesitan de alguna manera, tener datos actualizados sobre el comportamiento de su presión arterial. Esta solución no está centrado solamente a pacientes hipertensos, sino que le permite a otro que aún no son hipertensos, controlar sus datos de presión arterial. Un paciente informado puede hacer mejor manejo de su enfermedad.
- Por otro lado, se ofrece una solución para los médicos, que pueden visualizar los datos históricos de pacientes (previo consentimiento del paciente) y así ofrecer un diagnóstico más rápido y eficiente tomando en cuenta información pasada y presente.
- Esta plataforma, además de gestionar los datos del paciente, nos permitirá generar estadísticas del comportamiento de la hipertensión según diferentes indicadores. Toda esta información es relevante para el área de salud, ya que nos facilita el desarrollo de planes de prevención. En nuestro país no se cuenta con estadísticas oportunas para la correcta toma de decisiones en aspectos de salud, lo que no permite una correcta gestión de planes de prevención y educación para la población. Esta plataforma permite el almacenamiento de datos de pacientes que posteriormente pueden ser utilizados por esas instituciones de salud e investigadores para desarrollar otros estudios sobre el impacto de la hipertensión en el país.
- Luego de sometidos los diferentes módulos a revisión de vulnerabilidad, podemos ver que tanto los datos como la estructura de la plataforma están desarrolladas con base en estándares de seguridad y alto rendimiento.
- Este proyecto tiene un alto impacto sobre la comunidad científica, ya que se promueve la salud a través del desarrollo de la solución tecnológica que proponemos en donde se pone la tecnología al servicio de la sociedad, además de que el proyecto

abarca uno de los grandes desafíos que tiene el país, en el aspecto de ciencia, investigación, desarrollo tecnológico e innovación en la gestión de datos en el sector salud.

Como proyectos futuros tenemos la integración de enfermedades como diabetes y problemas de obesidad que son factores de riesgos relacionados entre las enfermedades crónicas existentes. Al ser una plataforma adaptable, la integración de nuevas enfermedades se hace de forma transparente.

## 9. Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo financiero del proyecto ITE15-01, a la Fundación Tecnológica de Panamá, a la Universidad Tecnológica de Panamá y muy especialmente a los especialistas en salud que nos han apoyado con información relevante. El primer autor es miembro del SNI como Investigador Nacional I.

## 10. Referencias

- [1] Presión arterial y su salud. (2016). 1st ed. [pdf] American Society of Hypertension, pp.3-4. Disponible en la web: <https://www.ash-us.org/documents/BloodPressureHealthSpanish.pdf> [Consultado el 12 de septiembre de 2016].
- [2] Minsa.gob.pa. (2016). Día Mundial de la Hipertensión Arterial (HTA). [en línea] Disponible en la web: <http://www.minsa.gob.pa/noticia/dia-mundial-de-la-hipertension-arterial-hta> [Consultado el 18 septiembre de 2016].
- [3] La Estrella de Panamá. (2014). Un 33% de población adulta en Panamá sufre de hipertensión arterial. [en línea] Disponible en la web: <http://laestrella.com.pa/vida-de-hoy/salud/94-millones-personas-mueren-cada-hipertension-arterial/23807287> [Consultado el 18 de septiembre de 2016].
- [4] Saludpanama.com. (2016). Hipertensión Arterial: el asesino silencioso. [en línea] Disponible en la web: <http://www.saludpanama.com/hipertension-arterial-el-asesino-silencioso> [Consultado el 18 de septiembre de 2016].
- [5] Villarreal, Vladimir. (2016). AmIHEALTH: desarrollo de soluciones móviles para entornos de salud y dependencia. Casos iniciales Hipertensión Arterial y Diabetes. 1st ed. p.5.
- [6] Es.wikipedia.org. (2017). Hipertensión arterial. [en línea] Disponible en la web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Hipertensi%C3%B3n\\_arterial](https://es.wikipedia.org/wiki/Hipertensi%C3%B3n_arterial) [Consultado el 14 de mayo de 2017].
- [7] Anguita Sánchez, M. (2013). Comentarios a la guía de práctica clínica de la ESC/ESH sobre manejo de la hipertensión arterial de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Europea de Hipertensión 2013. Un informe del Grupo de Trabajo del Comité de Guías de Práctica Clínica de la Sociedad Española

- de Cardiología. [en línea] Disponible en la web: <http://www.revespcardiol.org/es/comentarios-guia-practica-clinica-esc-esh/articulo/90249386/> [Consultado el 15 de mayo de 2015].
- [8] Somerville, I. and Alfonso Galipienso, M. (2005). Ingeniería del software. 1st ed. Madrid: Pearson Education, pp.63-64.
- [9] Presuman, R. (2010). Ingeniería del software. 1st ed. México: McGraw-Hill, p.37.
- [10] [www.tutorialspoint.com](http://www.tutorialspoint.com). (2017). MVC Framework Introduction. [en línea] Disponible en la web: [https://www.tutorialspoint.com/mvc\\_framework/mvc\\_framework\\_introduction.htm](https://www.tutorialspoint.com/mvc_framework/mvc_framework_introduction.htm) [Consultado el 15 de mayo de 2017].
- [11] SSL Server Test. (n.d.). Retrieved September 13, 2017, [en línea] Disponible en la web <https://www.ssllabs.com/ssltest/index.html> [Consultado el 13 de Septiembre de 2017].
- [12] About Let's Encrypt. (n.d.). Retrieved September 13, 2017, [en línea] Disponible en la web <https://letsencrypt.org/about/> [Consultado el 13 de Septiembre de 2017].

# Extracción de datos de perfiles en Google Scholar utilizando un algoritmo en el lenguaje R para hacer minería de datos

## Web Scraping of profiles in Google Scholar using an algorithm in the R language to do data mining

Danny Murillo <sup>1\*</sup>, Dalys Saavedra <sup>2</sup>, Erika Quintero <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [danny.murillo@utp.ac.pa](mailto:danny.murillo@utp.ac.pa)

**RESUMEN**— El objetivo de este artículo es hacer uso de la técnica Web Scraping para extraer datos de Google Scholar (GS) a través de diferentes métodos. El Web Scraping es una forma de minería de datos no estructurada, que permite extraer información de páginas web, escanear su código HTML y generar patrones de extracción de datos. Además, con el fin de realizar un análisis más profundo, se creó un algoritmo en el lenguaje R para comparar la velocidad de extracción de los datos y la eficiencia en el formato de salida de los datos. El artículo muestra las pruebas realizadas de estos métodos para medir la velocidad de extracción de los datos y buscar la mejor forma de extraer los datos de GS de forma estructurada.

**Palabras clave**— *Web Scraping, Google Scholar, minería de datos, lenguaje R, análisis de datos.*

**ABSTRACT**— The purpose of this article is to show a study using the Web Scraping technique to extract data from Google Scholar through several methods. Web Scraping is a way of no structured Data Miner which allow: to extract information from websites, to scan its HTML code and to generate patterns of data extraction. In addition, to obtain better analysis in this study, an algorithm was created based on the R language in order to compare the speed of data extraction and the efficiency related to the format of out data as well as to identify a better way of extraction data from GS as structured way.

**Keywords**— *Web Scraping, Google Scholar, text mining, R language, data analysis.*

### 1. Introducción

Internet, una red de redes que se construye a partir de 1969 y que aún al inicio de 1980 era básicamente una red física de redes, máquinas y cables interconectados que permitían enviar paquetes de información entre computadoras, según Tim Berner-Lee, la idea de la web era diseñar un espacio de trabajo colaborativo que facilitará el flujo de información [1]. Realmente, tal y como la gente lo entiende ahora fue en 1994, a partir de la existencia de un navegador web que se integra con la World Wide Web [2] y la vinculación de páginas con código html, enlaces de hipertexto, contenido multimedia, la WWW dejó de ser una red de enlaces entre páginas y documentos evolucionando a una red de datos [3].

Un gran número de expertos considera que el principal defecto del actual modelo de Internet radica en esa sobreabundancia de información, cuyo tratamiento

exige una enorme cantidad de tiempo y energía a fin de cribar la calidad de los datos sumergidos en tan enorme repositorio de datos [4]. Estos datos están organizados, estructurados y visibles en páginas web, pero, no siempre es posible poder extraerlos, reutilizarlos o analizarlos con la rapidez o la estructura deseada.

Uno de estos ejemplos, es la web de Google Scholar (GS), un buscador de Google lanzado en noviembre de 2004, enfocado al ámbito académico donde se almacena un extenso conjunto de trabajos de investigación científica incluyendo los de acceso abierto[5]. GS recopila la producción científica de un investigador y la ofrece agregada en una página web, añadiendo información sobre el número de citas de cada referencia [6] que proviene de publicaciones realizadas en conferencias, congresos. Es un producto que, a diferencia de las bases de datos bibliográficas tradicionales, no vacía contenidos de revistas, sino que

**Citación:** D. Murillo, D. Saavedra y E. Quintero, "Extracción de datos de perfiles en Google Scholar utilizando un algoritmo en el lenguaje R para hacer minería de datos," *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 1, pp. 93-103, Jun. 2018.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 17 de octubre de 2017. **Recibido con correcciones:** 27 de octubre de 2017. **Aceptado:** 11 de abril de 2018.

**Copyright:** 2018 D. Murillo, D. Saavedra y E. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).



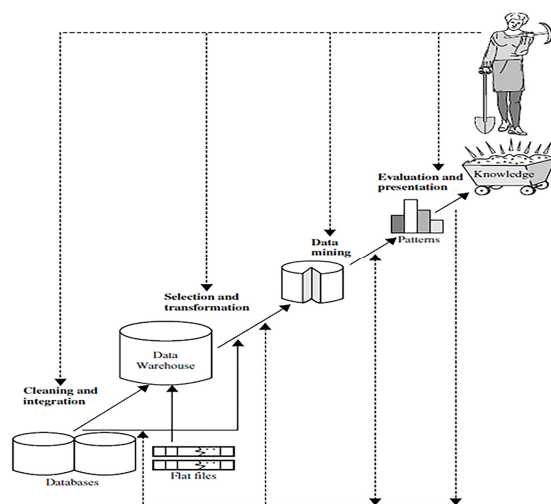
rastrea sistemáticamente la Web siguiendo la misma filosofía que Google, pero haciendo converger en una sola plataforma diferentes servicios [7].

Los datos de GS son relevantes para realizar análisis Bibliométrico. Es posible hacer análisis de datos de: perfiles de investigadores, perfiles de revistas indexadas, número de citas que tienen las publicaciones en estos perfiles, como el impacto de estos perfiles a nivel mundial a través de su h-index. Sin embargo, para poder obtener estos datos es necesario utilizar alguna técnica de minería de texto debido a que GS no cuenta con ninguna forma para extraer sus contenidos.

### 1.1 Minería de datos y Web Scraping

La necesidad de utilizar metodologías de análisis inteligente de datos que permitan descubrir patrones de datos para generar conocimiento útil, es la mejor forma de definir la minería de datos (MD). Esta se representa analógicamente como la extracción de pequeñas partículas de oro (información) en las minas de gran cantidad de rocas (datos), donde es necesario pulir el oro, para generar el verdadero valor (conocimiento) [8].

La búsqueda de este conocimiento en los datos utilizando la minería de datos está basado en el uso de la metodología KDD (Knowledge Discovery in Databases) o Descubrimiento del conocimiento a partir de datos. Este término que fue acuñado en 1989, se refiere a todo el proceso de extracción de conocimiento a partir de una base de datos, el cual marca un cambio de paradigma en el que lo importante es el conocimiento útil que seamos capaces de descubrir a partir de los datos [9] [10]. El proceso para descubrir el conocimiento KDD es un proceso interactivo y recursivo de siete pasos que se van dando a medida que se obtienen resultados preliminares que requieren replantear las variables iniciales. Los pasos de la metodología KDD son: Limpieza de datos, integración de datos, selección de datos, transformación y adaptación de datos, minería de datos, evaluación de patrones, generación de conocimiento mostrados en la figura 1 [11].



**Figura 1.** Paso del Proceso KDD (Knowledge Discovery in Databases).

La MD integra varias áreas como estadísticas, inteligencia artificial, base de datos y programación, y la minería de texto (MT). La MT identifica la información útil de los contenidos / datos / documentos de la web, sin embargo, tales datos en su forma más amplia deben ser reducidos a información útil. Los datos de contenido web consisten en datos estructurados como datos en las tablas, datos no estructurados como textos libres y datos semiestructurados como documentos HTML. Aquí, los diversos enfoques en la minería de contenido web están representados [12] [13].

La MT integra la minería de contenido web, que contiene 4 formas de extracción: minería de datos no estructurada, minería de datos estructurada, minería de datos semiestructurada, datos multimedia. En la “minería de datos estructurada” se encuentran las técnicas de “Web Crawler” que son rutinas o programas que analizan la estructura de una página web. “Page content mining” que funciona en las páginas clasificadas por los motores de búsqueda. En el caso de la técnica de Web Crawler incluye un técnica de extracción llamada “Web scraping” [14] [15]. Particularmente en este estudio se hará énfasis en la técnica Web Scraping. El “Web Scraping” es una técnica que consiste en la extracción del código HTML de una o varias páginas web de forma automatizada. El objetivo de extraer el código es evaluar su estructura y guardar los contenidos de forma estructurada, con datos que resulten con información relevante para su análisis posterior [16].

## 1.2 Análisis del proceso de Web Scraping

Scrapear los datos de un sitio web es una tarea común para buscadores como Google, Yahoo o Bing. Estos sitios realizan una tarea de “scaneo” a través de sus Spider o arañas buscando nuevas páginas web y documentos para su indexación. Este proceso analiza diariamente millones de páginas y documentos web con términos diferentes por página para ser indexados [17].

Esta tarea cotidiana para los motores de búsqueda puede ser restringida por algunas páginas web. De esta manera, su uso debe hacerse de forma responsable y metódica para que no se entienda que el proceso que se está realizando es malicioso, ya que al realizar el proceso de forma repetitiva a la misma página puede traer problemas como bloqueo al sitio web a través del IP. Por ello es necesario antes de hacer web scraping tomar en cuenta aspectos como[18]:

1. Comprobar que el archivo “robots.txt”, no tiene el contenido restringido.  
*User-agent: \* Disallow:*
2. Revisar las políticas de privacidad y acceso de la página web a scrapear.
3. No realizar tareas repetidas de scraping en corto tiempo, ya que puedo ser objeto de bloqueo.
4. Verificar que los contenidos o enlaces a extraer no hayan sido ocultos, a través de la capa de visualización o CSS:none; es una técnica llamada *honeypots* para detectar arañas web.

## 1.3 Objetivos del artículo

Este trabajo muestra el uso de varias herramientas de Scraping para extraer datos de los perfiles y publicaciones de GS. La idea de extraer estos datos surge de la necesidad de conocer el número de citas generadas por los artículos de las revistas de la UTP integrados en el Portal de Revistas e indexadas en Google Scholar en el 2016 [13]. El uso de estas herramientas, aunque permite extraer información estructurada del texto de un sitio web, no lo hacen realmente como está almacenado el contenido en la página. Esto se debe a que las operaciones que están implicadas en la extracción de información deben ser guiadas por un usuario o a través de un proceso automático, algo que no es posible realizar con aplicaciones. Utilizando como base el lenguaje R queremos crear un algoritmo para reducir el tiempo de procesamiento y lograr una mejor estructuración de los

datos al momento de la extracción de datos utilizando Web Scraping. R es un lenguaje de programación de código abierto, desarrollado por el grupo Core Team, además es un lenguaje de script por lo que no requiere ser compilado para ser ejecutado y tiene similitud con otros lenguajes como C o C++[19].

## 2. Trabajos previos de funciones en lenguaje R para extracción de datos en Google Scholar

### 2.1 Función en R “GScholarScaper”

Es una función en R creada en el 2012 por Kay Cichini, permite Scrapear los perfiles y detalles de las publicaciones de un perfil en Google Scholar, pero, solo permite extraer un perfil a la vez y no muestra a que perfil pertenecen las publicaciones extraídas, ni a que afiliación. Su última actualización fue en noviembre de 2016 [20].

### 2.2 Paquete en R llamado “Scholar”

Es un paquete en R que proporciona funciones para extraer datos de GS. Fue creado por James Keirsted en el 2015 y su última actualización es de junio de 2016. Se utilizó la función `get_profile()` para extraer el perfil por separado y la función `get_publications()` para extraer los detalles de las publicaciones, pero, no indica a que usuario de GS pertenece los detalles de las publicaciones extraída [21].

### 2.3 Análisis de métodos de Web Scraping

Se realizó una evaluación de 4 métodos de web scraping para comparar y evaluar la velocidad de extracción y la personalización de la estructura de salida al extraer los datos de los perfiles y detalles de publicaciones en GS.

#### 2.3.1 Selección de métodos

Realizamos las pruebas utilizando 4 métodos: copiar y pegar, *Local Browser*, *Local Software*, *Online*. En la tabla 1 se presenta un resumen de estos métodos. Ha excepción del método de copiar y pegar, fue posible exportar los datos en formato .CSV, no sin antes realizar un proceso de depuración de los datos debido a que los datos que se extraen están unidos a otros textos que no eran de interés.

**Tabla 1.** Método de Web Scraping, aplicación a utilizar y facilidad de uso del método

Métodos	Aplicación	Descarga	Conocimientos del usuario
Copiar y Pegar	Manual	ninguno	ninguno
Web Scraping Local Browser	Extensión Chrome	gratuito	técnico mínimo
Web Scraping Local Software	Fminer	pago	técnico intermedio
Web Scraping Online	Import.io	pago (Free versión)	técnico mínimo

### 2.3.2 Aplicaciones utilizadas para cada método

**2.3.2.1 Copiar y Pegar:** no es un método de Web Scraping, pero es la forma más común de extraer datos de un sitio web, el proceso consistió en copiar y pegar cada dato del perfil y las publicaciones en una tabla de Excel, seleccionando solo el dato que se necesitaban, pero el trabajo resultó muy extenso.

**2.3.2.2 Web scraping Local:** se utilizó la extensión SCRAPER de Google Chrome. Permite seleccionar un bloque de datos de una página web y al activar la extensión, extrae los datos que tengan el mismo patrón de la clase HTML seleccionada, Solo permite scrapear los datos una página por vez del perfil de Afiliación, por lo que el ciclo de repetición de Web Scraping lo debe hacer el usuario [22].

**2.3.2.3 Web scraping Local Software:** FMiner es un *software* que permite abrir la página web en la aplicación y grabar el proceso de selección de nodos html, creando un diagrama de flujo de datos de la página web y asignando el valor seleccionado a cada variable, el proceso es semi-automático, ya que el usuario debe escoger cuales son los datos que desea guardar [23].

**2.3.2.4 Web scraping Online:** Import.io es una aplicación Online que analiza automáticamente la estructura de la página web y muestra los datos en formato de tabla, es posible extraer datos de paginación, sin embargo, en las pruebas realizadas no lograba

identificar las páginas siguientes, por lo que aumentaba el tiempo de extracción de los datos [24].

### 2.3.3 Datos utilizados en cada método

Para realizar las pruebas se seleccionaron 5 perfiles de Universidades en GS: Universidad Francisco Marroquin (UFM), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Universidade Regional de Blumenau (FURB), Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Universidad de La Habana (UH). En la tabla 2 se muestra datos del número de perfiles y publicaciones que tenía cada Universidad en GS.

**Tabla 2.** Perfiles de universidades seleccionadas para web scraping en Goggle Scholar

Universidad	País	#Perfiles	#Publicaciones
UFM	Guatemala	14	393
ESPOL	Ecuador	67	1061
FURB	Brasil	38	1360
UTP	Panamá	77	1434
UH	Cuba	79	2758

### 2.3.4 Tiempo de Scraper de cada método

Para cada perfil de las universidades seleccionadas se aplicó cada método, donde se extrajeron todos los perfiles y las publicaciones de cada perfil, midiéndose el tiempo de extracción en minutos. El resultado de estas pruebas muestra que el **método de Web Scraping Online** obtuvo el mejor tiempo promedio de extracción de datos de una universidad con 35 perfiles y 466 publicaciones, el cual fue de **2 horas 18 minutos** según tabla 3. En estas pruebas no se consideró extraer los detalles de cada publicación, por lo que el tiempo pudo ser mayor.

**Tabla 3.** Tiempo promedio de scraper por método, de los perfiles y publicaciones de las 5 universidades en GS

Universidad	TIEMPO POR MÉTODO WEB SCRAPING Perfiles / Publicaciones (minutos)			
	Copiar / Pegar	Local Browser	Local Software	Online
UFM	8 / 130	2 / 35	3 / 50	2 / 35
ESPOL	42 / 354	9 / 95	14 / 140	9 / 94
FURB	24 / 445	5 / 122	8 / 179	5 / 120

UTP	50 / 482	11 / 129	17 / 189	10 / 127
UH	51 / 920	11 / 245	17 / 363	10 / 244
<b>Promedio</b>	<b>35 / 466</b>	<b>8 / 125</b>	<b>12 / 184</b>	<b>7 / 124</b>

Aunque es posible ver la disminución de los tiempos de scraper entre un método y otro, el objetivo de esta prueba era conocer el valor promedio de extracción de los datos de perfiles y publicaciones utilizando estos métodos. Conociendo que el mejor valor de extracción fue de **2 horas 18 minutos**, se realizó un análisis e implementación de un algoritmo en el lenguaje R para automatizar el proceso de extracción, disminuir el tiempo y generar datos estructurados.

### 3. Metodología

#### 3.1 Recursos

Las aplicaciones, paquetes en R y características técnicas utilizadas en el análisis fueron:

- R commander.
- Aplicación R studio para Windows.
- Paquete en R (rvest) para leer todo el contenido HTML de una página web (web scraping).
- Paquetes en R: xml2, plyr, wordcloud, dplyr, plot.
- Computador con Windows 7 de 64 Bits, Dual Core de 2.2 GHz, y Memoria RAM de 3 GB.
- La velocidad de Internet en periodo de pruebas fue de 1.45 Mb de descarga y 1.90 de Carga.

#### 3.2 Análisis de estructura de datos

Una de las características más utilizadas en la extracción de datos semiestructurada en páginas web es la “técnica basadas en árboles”. La representación de una página Web mediante un etiquetado ordenando de sus nodos se conoce normalmente como DOM (Document Object Model). Cada nodo representa una etiqueta HTML y juntas puede representarse como ramas ordenadas y rotuladas. La jerarquía de árbol representa los diferentes niveles de anidamiento de los elementos que constituyen la página Web, la idea detrás del modelo es que las páginas web que contiene etiquetas HTML, se muestren como texto y palabras clave que puede ser interpretado por el navegador para representar links, botones, imágenes, tablas [25].

En la figura 2 se muestra la estructura del DOM de los bloques de los perfiles de la afiliación de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) en GS, identificando patrones repetitivos en los datos como el nombre, citas, palabras clave.



Figura 2. Listado de perfiles de Google Scholar, afiliación Universidad Tecnológica de Panamá.

Para poder realizar la extracción fue necesario conocer el código HTML que compone cada bloque con datos del perfil en GS. En la figura. 3 se muestra el código HTML extraído del perfil GS, donde se puede ver las etiquetas en rojo que encierran los datos que nos interesan de este perfil (negritas).

```

<div class="gsc_1usr gsc_scl">
  <div class="gsc_1usr_photo">
    <a href="/citations?user=l8gpxl4AAAAJ&hl=es"></a>
    </div>
    <div class="gsc_1usr_text">
      <h3 class="gsc_1usr_name">
        <a
          href="/citations?user=l8gpxl4AAAAJ&hl=es">
            Elida de Obaldia</a>
        </h3>
        <div class="gsc_1usr_aff">Universidad Tecnologica de
        Panama</div>
    </div>
  </div>

```

Figura 3. Estructura HTML de bloque de perfil Scrapeado.

#### 3.3 Búsqueda de patrones

Evaluamos el código HTML extraído de cada bloque de perfil en GS para buscar si los códigos html que contienen los datos tienen el mismo patrón y esquema de datos según tabla 4. Separamos cada uno de los nodos HTML que contenían los datos de los elementos individuales que serían almacenados en variables para luego agruparlas en una tabla en R llamada data.frame, esta permite almacenar diferentes tipos de datos.

**Tabla 4.** Scraper de datos por valor html y los resultados de cada bloque por variable

Variable	Valor html	Función en R	Resultado
url_perfil	https://scholar.google.es/citations?view_op=view_ org&hl=es&org=4736061867397421563	read_html(url_GS)	Código html de la página web
afiliación	h2.gsc_authors_header	html_text(url_perfil, h2.gsc_authors_header)	Nombre de la Universidad
Perfil	div.gs_scl	html_node(url_perfil, div.gs_scl)	Código de Bloque de Perfil
nombre	h3>a	html_text(Perfil, h3>a)	Reinhard Pinzón
url_perfil	href	html_attr(Perfil,href)	https://scholar.google.es/citations?user=1TICxmUAAA AJ&hl=es
Id_user	https://scholar.google.es/citations?user=1TICxmU AAAAJ&hl=es	extraer_id(url_perfil)	1TICxmUAAA AJ&hl

Analizamos cada bloque extraído de los perfiles de la primera página de GS, en ella se muestra una clase CSS que enmarca el contenido de cada perfil, esta clase `div.gs_scl` es un nodo que se repite, al utilizar la función de Scraper en R `html_nodes(url_afiliacion, "div.gs_scl")` con el parámetro de la clase identificada, R mostró los bloques de contenidos extraídos que cumplían con este patrón dentro del código, que en total deben ser 10 nodos de perfil por cada página.

### 3.4 Análisis de los datos de los perfiles de GS

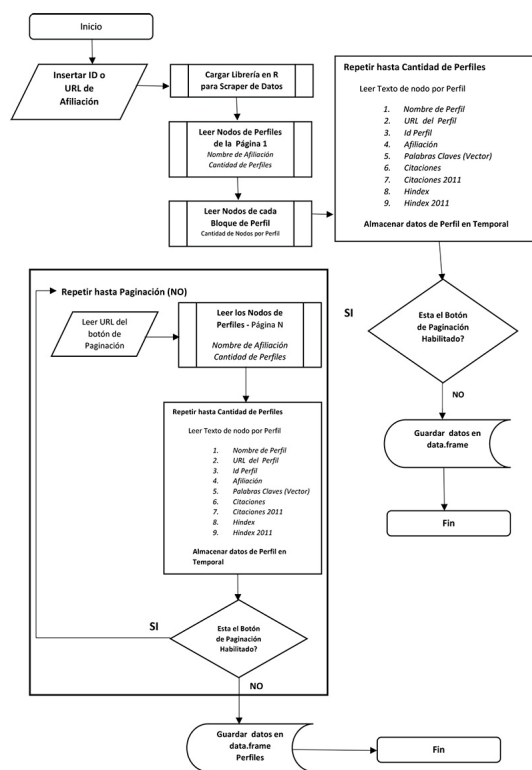
Cada afiliación en GS está compuesta por el listado de perfiles con su `ID_USER`, cada perfil contiene el listado de publicaciones y cada publicación tiene sus detalles, por lo que en el algoritmo que desarrollamos se realizó esta estructura de forma dinámica utilizando dos procesos separados para extraer primero los perfiles y su ID y luego los detalles de las publicaciones.

### 3.5 Esquema de los algoritmos en R

#### 3.5.1 Algoritmo para extraer los perfiles en GS

Se desarrolló un algoritmo para extraer todos los ID de usuarios de los perfiles de una afiliación utilizando la URL de afiliación de una Universidad en GS. En la figura 4 se muestra el esquema del algoritmo, donde se extrae el enlace de cada perfil incluyendo los datos de: nombre, afiliación, palabras clave, citas, citas 2011, hindex, hindex\_2011 y vincular la URL del perfil y el ID del perfil, para luego almacenarlos de manera temporal hasta que terminara el ciclo de repetición, al finalizar, los datos se guardaron en un conjunto de datos

(`data.frame`) que se podía acceder y visualizar al terminar el Scraper de la afiliación.



**Figura 4.** Esquema de Algoritmo para Scraperar datos de Perfiles de una Afiliación en Google Scholar.

#### 3.5.2 Algoritmo para Scrapear detalles de Perfiles

En la figura 5 se muestra el esquema del algoritmo para extraer los detalles de los perfiles utiliza la URL de cada perfil que fue extraído en el algoritmo de extracción de perfiles. Se realiza una lectura de la cantidad de perfiles guardados y se lee el campo URL que contiene el enlace de cada perfil para empezar a leer los datos de cada perfil, los datos extraídos fueron: palabras clave del perfil, citas, citas 2011, hindex, hindex\_2011, estos datos se vincularon a la URL del perfil y el ID del perfil. En este algoritmo se extrajo nuevamente las palabras clave, pero cada palabra fue almacenada separada por coma para su posterior análisis. Los datos fueron almacenados en `data.frame` temporal hasta finalizar el ciclo de repetición.

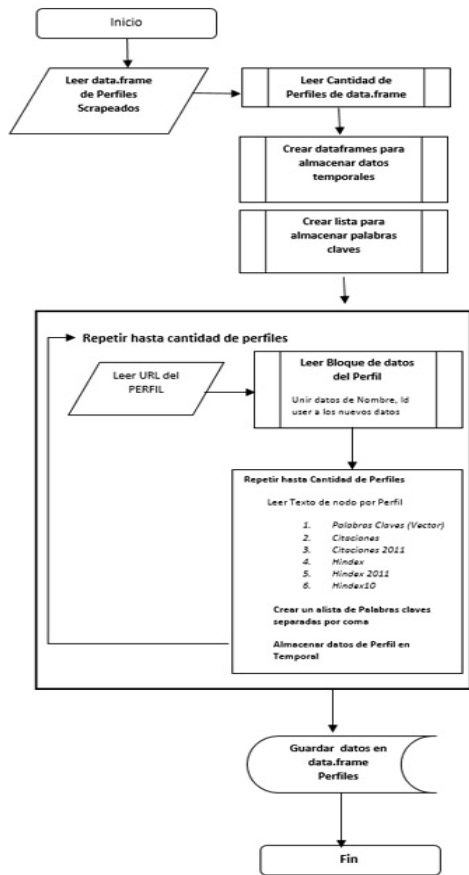


Figura 5. Esquema de algoritmo para Scrapear de detalles de los perfiles de una Afiliación en Google Scholar.

### 3.5.3 Algoritmo para extraer publicaciones en GS

Se creó un segundo algoritmo para extraer todas las publicaciones por perfil. En la figura 6 se muestra el uso del paquete *Scholar* de R y la función `get_publications()` que permitió extraer las publicaciones y sus detalles. El algoritmo utilizó la tabla creada en el algoritmo 1 para contabilizar el número de perfiles a extraer, y utilizar las URL y nombres de cada perfil de la tabla para añadirlo a las publicaciones extraídas. El número de columnas de los detalles de las publicaciones fue dinámica debido a que algunas publicaciones tenían un esquema de datos de datos de revistas, congresos, libros, estos datos también fueron almacenados en un conjunto de datos.

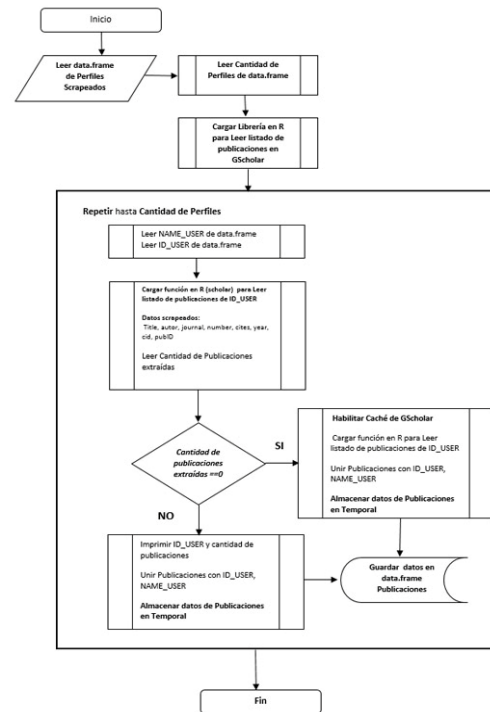


Figura 6. Esquema de Algoritmo para Scrapear todas las Publicaciones por perfil de una Afiliación en Google Scholar

## 4. Resultados

### 4.1 Comparación de métodos y algoritmo en R

Se realizó una evaluación del algoritmo en R utilizando los datos de las cinco universidades anteriores con 55 perfiles y 1400 publicaciones. Las pruebas utilizando el algoritmo en R, método “1 algoritmo en R” es de tres minutos incluyendo perfiles, publicaciones y detalles de las publicaciones la cual se muestra en la tabla 4. El algoritmo generó los datos extraídos de forma estructurada en R, que fueron exportados al formato .CSV y MS Excel, el esquema se muestra en la figura 7.

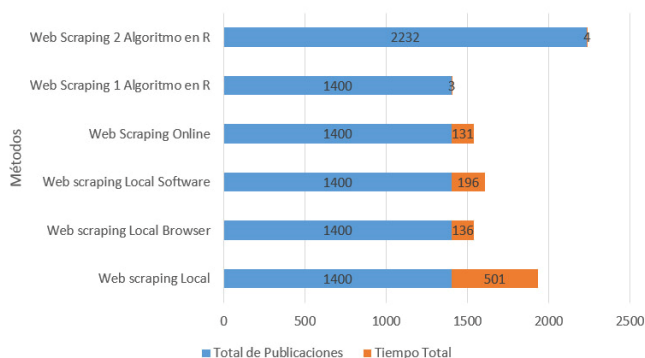
Nombre	word_key	url_user	id_user	citaciones	cita_2011	hindex	hindex_2011
1. Kenneth Riccio-Adames		/citations/user=17C0UAAAABH=esdoeASCI	17C0UAAAABH	935	462	10	6
2. Elda de Ojalba	Material Science, Renewable Energy, Diamond thin fil...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	880	272	9	5
3. Maritza Morales Batista	Intelligence artificial, open data, linked data, big data...	/citations/user=1685UAAAABH=esdoeASCI	1685UAAAABH	467	219	11	8
4. Oscar M. Ramirez	Structural and Earthquake Engineering	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	426	259	6	6
5. Rodney Delgado-Serrano	Atmosphysics, Astronomy, Physics, Mathematics, info...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	413	234	6	6
6. Gilberto Avial Chang, PhD	Structural Engineering, Seismic Engineering	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	361	215	2	2
7. Ildemar Abrego Castillo	Ciencias de los Materiales	/citations/user=1682UAAAABH=esdoeASCI	1682UAAAABH	329	76	5	3
8. Héctor Morales Franceschi	Robotica, Control	/citations/user=1677UAAAABH=esdoeASCI	1677UAAAABH	300	168	11	8
9. Yvelin Vilmaral	Ciencias de materiales	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	275	212	9	6
10. JOSE F. FABRICA-DUQUE	tropical hydrology, environmental chemistry, hydro...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	262	94	8	5
11. Norma L. Miller	Mapas conceptuales, pedagogías activas, aprendizaje...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	207	111	8	6
12. Cristian Ivan Pinzón Trejos	Inteligencia Artificial	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	197	102	7	6
13. Ildemar Abrego Castillo	Ciencias de materiales	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	180	36	6	3
14. Humberto Rodriguez	control of robots, image processing, control of Unim...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	167	35	9	4
15. Adán Vega Saenz	solidator, elementos finitos, mecanica computacion...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	157	115	7	7
16. Ramon Vargas	Structural Engineering, Seismic Design, Steel Structur...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	153	108	6	5
17. Congreso CIBER	Abandon, desarrollo, educación, congreso	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	144	143	6	6
18. Pablo Moreno	Food technology, shelf life, food processing	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	137	131	5	3
19. Cecilia Saavedra	climate change, environmental sciences	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	115	89	2	2
20. Carlos Vergara-Chen	Matte ecology, molecular ecology, aquatic ecologi...	/citations/user=1690UAAAABH=esdoeASCI	1690UAAAABH	89	85	5	5

Figura 7. Estructura de salida de los datos de perfiles en GS extraídos con el algoritmo.

El método 2 algoritmo en R, es el mismo algoritmo, pero se incluyó la Universidad de la República del Uruguay (UDELAR) con 182 perfiles y 6388 publicaciones. El tiempo promedio de este método fue de cuatro minutos, inferior al tiempo de los métodos evaluados anteriormente. En la gráfica 1 se muestra ambas pruebas con el algoritmo, el tiempo de Scraper de los perfiles es inferior al mejor tiempo de los métodos anteriores.

**Tabla 4.** Prueba de tiempo promedio de scraper de datos de GS utilizando diferentes métodos de web scraping

Método	#Perfiles / #Publicaciones	Tiempo Scraper (minutos)			Horas
		Perfiles	Publicaciones	Total	
Local (Copiar/Pegar)	55 / 1400	35	466	501	8,21
Local Browser	55 / 1400	8	125	133	2,13
Local Software	55 / 1400	12	184	196	3,16
Online	55 / 1400	7	124	131	2,11
1 Algoritmo en R	55 / 1400	1	2	3	0,03
2 Algoritmo en R	76 / 2232	1	3	4	0,04



**Gráfica 1.** Comparación tiempo de los métodos de Scrapear de perfiles y publicaciones en GS.

#### 4.2 Resultados de Scraper de las 15 universidades

Se realizó una prueba de extracción de todos los datos de 15 Universidades en GS utilizando el “Algoritmo en R”: Universidad de la República

(UDELAR), Universidad de Costa Rica (UCR), Université de Franche-Comté (UFC), Universidad de Antioquia (UDEA), Universidad de Chile (UCHILE), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad de Osaka (OSAKAU), University of Edinburgh (UED), Universidad Politécnica de Valencia (UPV), University of Illinois at Urbana-Champaign (UILLINOIS).

En la tabla 5 se muestran los resultados de las pruebas de las universidades con un promedio de 100 perfiles y 3400 publicaciones el tiempo de extracción fue de dos **minutos**. El tiempo total de Scraper de 8364 perfiles y 175,086 publicaciones fue de **62 minutos**, inferior al tiempo de cualquier método aplicado, en las pruebas se extrajeron los perfiles, publicaciones y sus detalles.

**Tabla 5.** Publicaciones por universidad en GS y tiempo de scraper con algoritmo en r

Universidad	País	#Perfiles	#Publicaciones	Tiempo (minutos)
UFM	Guatemala	14	393	1
ESPOL	Ecuador	67	1061	1
FURB	Brasil	38	1360	1
UTP	Panamá	77	1434	1
UH	Cuba	79	2758	3
UDELAR	Uruguay	182	6388	2
UCR	Costa Rica	230	6952	2
UFC	Francia	119	7063	2
UDEA	Colombia	383	8429	3
UCHILE	Chile	566	11433	5
UNAM	México	1329	12670	11
OSAKAU	Japón	460	13038	4
UED	Escocia	1471	14091	14
UPV	España	794	29835	11
UILLINOIS	Estados Unidos	2555	58181	62
		<b>8364</b>	<b>175086</b>	<b>122</b>

#### 4.3 Problemas en el uso del paquete “Scholar”

El uso del paquete *Scholar* en el algoritmo de detalles permitió agilizar el desarrollo de este, sin embargo, encontramos que el paquete tenía un error al extraer detalles de publicaciones con más de 100 registros. En las primeras 9 universidades mostradas en la tabla 5 donde se verificó de forma manual que los

resultados de cantidad de perfiles y publicaciones es el indicado. En las otras seis universidades según tabla 6 donde los perfiles tenían más de 100 publicaciones, estos perfiles se extrajeron con 0 publicaciones, al verificar los perfiles algunos casos tenían hasta 2000 publicaciones. En la extracción de datos de la UNAM de 566 perfiles solo se extrajeron 137 perfiles con el número de publicaciones correctas, en OSAKAU de los 1329 solo 140, de la UED 140 perfiles de 460, de la UPV 387 de 794 y de la ULLINOIS 2250 de 2555.

El problema que encontramos es que la función `get_publications()` del paquete “Scholar” el cual extrae los detalles de las publicaciones, contiene una variable (`FLUSH=false`) que extrae los datos que están en el caché de GS, cuando se habilitó a (`FLUSH=true`), algunos perfiles que tenían valor de 100, cambiaron su valor a 1000 ó 2000 a la hora de volver hacer la extracción. Sin embargo, en algunos perfiles que habían sido scrapeados de forma correcta, pasaron a tener 0 publicaciones, por lo que el valor de (`FLUSH=true/false`) no permite extraer los datos de forma correcta cuyos perfiles tengan más de 100 publicaciones.

#### 4.4 Resultados entre Algoritmos utilizando paquete Scholar y sin usar el paquete

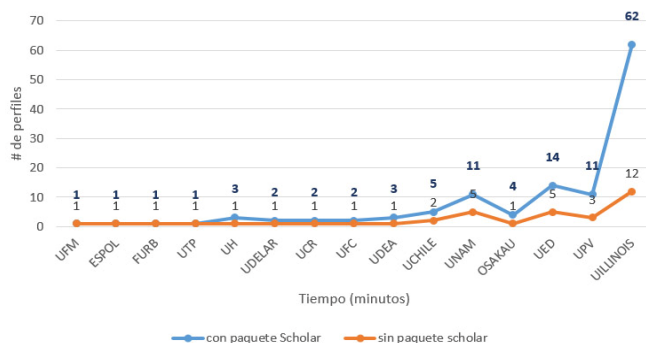
Para probar si realmente el uso del paquete Scholar en el algoritmo de extracción de perfiles era el problema de los malos datos de extracción, se realizó una función en R llamada “`PubGS_publications_get`” para extraer los datos de los perfiles antes de realizar el recorrido de todos los perfiles de afiliación.

En la tabla 5 se muestra el total de perfiles que fueron contabilizados de forma manual por cada Universidad. En la tabla 6 se muestra los perfiles y el tiempo del algoritmo utilizando el paquete Scholar y el algoritmo con la nueva función reemplazando el paquete, los resultados muestran que el nuevo algoritmo no solo extrajo el total de perfiles contabilizados por universidad, sino que el tiempo de extracción por cada universidad fue menor principalmente en las 6 universidades cuyos perfiles no fueron extraídos de forma correcta. El tiempo promedio de extracción por perfil fue de **1.66 segundos** (algoritmo con paquete Scholar), **0.37 segundos** (nuevo algoritmo sin paquete Scholar), el tiempo total de extracción de los perfiles fue de 38 minutos (nuevo algoritmo sin paquete Scholar) y 122 minutos (algoritmo con paquete Scholar) sin el total

de perfiles. En la gráfica 2 se muestra la comparación de tiempo entre los dos algoritmos y cada universidad.

**Tabla 6.** Perfiles extraídos por universidad en Gs utilizando paquete “Scholar” y algoritmo sin paquete Scholar

Universidad	paquete Scholar		Sin paquete Scholar	
	#Perfiles	Tiempo (minutos)	#Perfiles	Tiempo (minutos)
UFM	14	1	14	1
ESPOL	67	1	67	1
FURB	38	1	38	1
UTP	77	1	77	1
UH	79	3	79	1
UDELAR	182	2	182	1
UCR	230	2	230	1
UFC	119	2	119	1
UDEA	383	3	383	1
UCHILE	137	5	566	2
UNAM	138	11	1329	5
OSAKAU	140	4	460	1
UED	147	14	1471	5
UPV	387	11	794	3
UILLINOIS	2250	62	2555	12
<b>Total</b>	<b>4388</b>	<b>122</b>	<b>8364</b>	<b>38</b>



**Gráfica 2.** Comparación de tiempo en minutos de extracción de los perfiles en GS utilizando paquete Scholar y algoritmo sin el paquete Scholar.

#### 4.5 Problemas al scrapear datos de GS

Aunque se siguieron las indicaciones de la metodología para scrapear datos en el sitio web, en varias ocasiones GS bloqueó nuestra IP al extraer datos.



En algunas ocasiones por lapsos de 1 hora y en otras por un periodo de 1 día. GS nos mostró que fuimos bloqueados de la siguiente forma: campo de CAPTCHA en el sitio web, Error 403 Forbidden, Error 503 Service Unavailable, 401 Unauthorized, 404 Not Found, 408 Request Timeout, 429 Too Many Requests.

Para evitar el bloqueo se creó un listado de tiempos aleatorio entre 15 segundos y 60 segundos para que fueran asignados al extraer cada perfil. También se modificó en función “read\_html” que lee el código html a scrapear, modificando el parámetro “useragent” de forma aleatoria, como si fueran diferentes usuarios que acceden con diferentes navegadores, los agent utilizados fueron: "Mozilla/5.0, Trident/6.0)", "Opera/9.80.

Otras opciones que para mejorar el scraper, aunque no fueron aplicadas son: crear un servidor Proxy, rotar el número de IP, crear un algoritmo autónomo capaz de hacer un scaneo de datos de forma estructurada pero aleatoria cada vez que realice el proceso. Otro proceso que si se aplicó fue almacenar los datos scrapeados en un documento, luego cargar el documento y estructurar los datos, esto evita realizar constante consultas al servidor de Google.

## 5. Conclusiones

Con los resultados obtenidos, el Web Scraping resulta ser una alternativa funcional para extraer datos de un sitio web, lo cual no se logra obtener con los métodos web online y de escritorio utilizados comúnmente.

La opción de crear un algoritmo, aunque más compleja a la hora de desarrollarlo, fue la mejor opción para obtener datos personalizados. El tiempo de Scraper resulto inferior en las pruebas y el tiempo máximo de las 15 universidades fue menor al de cualquier método utilizado. Con el algoritmo se logró extraer más datos de perfiles y publicaciones en menos tiempo y los datos fueron estructurados mientras se extraían por lo que permite realizar un mejor análisis de estos.

Las pruebas realizadas entre la versión del algoritmo utilizando el paquete scholar y el nuevo algoritmo, permite mostrar que siempre existe mejoras que se pueden realizar no solo en la optimización del proceso de Web Scraping, sino en la reducción del tiempo de extracción. Estas nuevas pruebas permitieron identificar algunos elementos a considerar en esta técnica para evitar ser bloqueados por los sitios web

donde se van a extraer los datos, tomando en cuenta siempre las políticas de extracción de la página.

La realización de este proyecto y la culminación de forma satisfactoria de esta etapa, será de gran beneficio para las universidades involucradas en la medición de la producción científica y académica en la Red, ya que contarán con una herramienta para minimizar el trabajo de extracción de datos de GS y analizar el impacto de las publicaciones y perfiles.

## 6. Trabajos futuros

Se realizarán cambios en el algoritmo utilizando programación vectorizada, para minimizar el tiempo de ejecución del algoritmo, también creando una pausa entre la extracción de un perfil y otro para verificar si esto elimina el problema en la extracción de perfiles extensos.

Se creará un algoritmo autómatas para poder modificar el proceso de escaneo y mejorar el proceso aleatorio de asignación de tiempo para evitar posibles bloqueos de GS.

El proyecto no solo busca hacer extracción de datos, sino hacer análisis, evaluación, visualización de los datos por lo que se incluirán funciones para ello. Se contempla extraer los perfiles y publicaciones de universidades en GS de Centroamérica, Latinoamérica y los diferentes continentes para hacer análisis de los datos más detallado y comparativo por país y región.

Enlace del código del Algoritmo en el Lenguaje R: <https://bitbucket.org/dannymu/ejemplos-de-r>

## 7. Referencias

- [1] A. M. VELÁZQUEZ, “Tim Berners-Lee: «El papel no desaparecerá, siempre habrá cosas que nos guste leer en ese formato»,” 2012. [Online]. Available: <http://www.lne.es/asturama/2012/02/15/tim-berners-lee-papel-desaparecera-habra-cosas-guste-leer-formato/1199452.html>.
- [2] M. Castells, “Internet y la Sociedad Red,” *La Factoría*, vol. 14–15, pp. 1–12, 2001.
- [3] M. F. Berners-Lee, “Weaving the Web. HarperOne,” 1999.
- [4] J. R. Sánchez Carballedo, “Perspectivas de la información en Internet: ciberdemocracia, redes sociales y web semántica,” *Zer-Revista Estud. Comun.*, vol. 13; n.º 25, pp. 61–81, 2011.
- [5] L. C. Silva Ayçaguer, “El índice-H y Google Académico: una simbiosis cuantitativa inclusiva,” *ACIMED*, vol. 23, no. 3, pp. 308–322.
- [6] M. Oficial and E. N. Log, “Logística , Transporte Y Cadena De,” 2014.
- [7] D. Torres and Á. Cabezas, “Altmetrics: nuevos indicadores para la comunicación científica en la Web 2.0,” pp. 53–60,

- 2013.
- [8] UIAF, “Técnicas de minería de datos para la detección y prevención del lavado de activos y la financiación del terrorismo (LA/FT),” p. 35, 2014.
- [9] J. C. Riquelme, R. Ruiz, and K. Gilbert, “Minería de datos: Conceptos y tendencias,” *Intel. Artif.*, vol. 10, no. 29, pp. 11–18, 2006.
- [10] R. B. Penman and D. Martinez, “Web Scraping Made Simple with SiteScraper.”
- [11] H. Jiawei, M. Kamber, J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*. 2012.
- [12] D. I. Directions, T. Mining, U. K. Further, and H. Education, “The Value and Benefits of Text Mining,” no. March, 2012.
- [13] D. S. Danny Murillo, “Implementación de Plataforma Digital de Revistas Académicas y Científicas electrónicas en la Universidad Tecnológica de Panamá para mejorar su visibilidad a nivel nacional e internacional,” in *Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje*, 2016, pp. 936–947.
- [14] S. Shi, C. Liu, Y. Shen, C. Yuan, and Y. Huang, “AutoRM: An effective approach for automatic Web data record mining,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 89, pp. 314–331, 2015.
- [15] V. Bharanipriya and V. K. Prasad, “Web Content Mining Tools: a Comparative Study,” *Int. J. Inf. Technol. Knowl. Manag.*, vol. 4, no. 1, pp. 211–215, 2011.
- [16] F. Borrego, “Alternativas para realizar web scraping,” 2017. [Online]. Available: <http://felicianoborrego.com/alternativas-para-realizar-web-scraping/>.
- [17] M. Peshave, “How Search Engines Work and a Web Crawler Application,” 2010.
- [18] Scrapehero, “Scalable do-it-yourself scraping – How to build and run scrapers on a large scale,” 2015. [Online]. Available: <https://www.scrapehero.com/scalable-do-it-yourself-scraping-how-to-build-and-run-scrapers-on-a-large-scale/>.
- [19] R. Cotton, *Learning R, O'REILLY*. 2013.
- [20] K. Cichini, “GScholarScraper\_3.1,” 2012. [Online]. Available: [https://github.com/gimoya/theBioBucket-Archives/blob/master/R/Functions/GScholarScraper\\_3.1.R](https://github.com/gimoya/theBioBucket-Archives/blob/master/R/Functions/GScholarScraper_3.1.R).
- [21] J. Keirstead, “Package Scholar,” 2015. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/scholar/index.html>.
- [22] Extension Google Chrome, “Scraper,” 2015. [Online]. Available: [https://chrome.google.com/webstore/detail/scraper/mbigbapnjcgaffohmbkdlecacepngjd?utm\\_source=chrome-app-launcher-info-dialog](https://chrome.google.com/webstore/detail/scraper/mbigbapnjcgaffohmbkdlecacepngjd?utm_source=chrome-app-launcher-info-dialog).
- [23] Fminer, “FMiner Scraping,” 2015. [Online]. Available: <http://www.fminer.com/>.
- [24] Import.io, “Import.io,” 2016. [Online]. Available: <https://www.import.io/>.
- [25] E. Ferrara, P. De Meo, G. Fiumara, and R. Baumgartner, “Web data extraction, applications and techniques: A survey,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 70, pp. 301–323, 2014.



## Instructivo para autores

### Guide for authors

Nombre del autor principal <sup>1\*</sup>, Nombre de cada coautor <sup>1...n</sup>

<sup>1</sup> Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

<sup>1...n</sup> Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

\*Autor de correspondencia: ejemplo@ejemplo.com

**RESUMEN**– Todo trabajo debe presentar un resumen con un aproximado no más de doscientas cincuenta (250) palabras. Esta sección va después de la información de los autores y con su respectiva traducción al inglés. Utilice las palabras “Resumen” (español) y “Abstract” (inglés) como títulos, alineados a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Luego, inicie el resumen en letra Times New Roman 10 puntos, cursiva y espacio sencillo. Finalmente, mantener un espacio en blanco de 8 puntos y empiece a desarrollar el contenido del artículo. No modificar las líneas

**Palabras clave**– En esta sección se deben utilizar las frases “Palabras Clave” (español) y la palabra “Keywords” (inglés), alineadas a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guion. Finalmente, debe incluir un máximo de siete (7) palabras clave o frases clave en letra Times New Roman 10 puntos, separadas por comas y en orden alfabético.

**ABSTRACT**– This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for Revista de I+D Tecnológico.

**Keywords**– Abstract, guidelines for authors, keywords, Revista de I+D Tecnológico.

## 1. Introducción

Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial (CE) de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

El documento provee reglas de estilo que explican el manejo de ecuaciones, figuras, tablas, abreviaturas y siglas. Además, el autor encontrará secciones para preparar los agradecimientos y referencias.

## 2. Componentes del artículo

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta ó 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: Solo la primera página superior 3 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm. Y la configuración

del encabezado de página es de 2 cm y el pie página es a 1.5 cm, ambos solo aplicados en la primera página.

A continuación, se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

### 2.1 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

### 2.2 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en Times New Roman 16 puntos, negrita y centrada. La primera palabra comenzará con letra mayúscula y de ahí en adelante se utilizará la mayúscula solamente para los nombres propios y símbolos químicos. Se evitará el uso de abreviaciones y siglas en el título, así como palabras innecesarias al principio del título, como por ejemplo: un, una, sobre, el, etc.

El título debe contar con su respectiva traducción al inglés o al español, según el idioma base del artículo y

tamaño de fuente a 14 puntos. Ejemplo: si el artículo está redactado en español entonces el título debe aparecer en español y luego en inglés o viceversa si es el caso contrario.

### 2.3 Nombre de los autores, afiliaciones y correo

Los autores y coautores deben escribir sus nombres de la misma forma como lo hacen en todas sus publicaciones y seguir el formato establecido al inicio del instructivo. Cada autor debe presentar la siguiente información: la unidad a la que está adscrito (departamento, centro de investigación, facultad, etc.); la entidad a la que está afiliado (universidad, empresa privada, etc.); el país al que corresponde y por último el correo del autor de correspondencia el cual debe estar indicado con un (\*).

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras, la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID*<sup>1</sup> y *WoS*<sup>2</sup>.

### 2.4 Encabezado de Página de la primera página

No modificar.

### 2.5 Pie de página de la primera página

No modificar.

### 2.6 Cuerpo del manuscrito

Los componentes principales del manuscrito deben dividirse en secciones con un uso apropiado de títulos y subtítulos, según lo requiera la organización y el desarrollo lógico del material.

#### 2.6.1 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 11-puntos y a espacio sencillo. Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, **no** debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

#### 2.6.2 Cabeceras de primer nivel, cabeceras de segundo nivel y viñetas

Una cabecera de primer nivel debe estar en Times New Roman 12 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 1 (introducción) del presente instructivo. Recuerde utilizar un punto (.) después de la numeración, no una coma (,). El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Una cabecera de segundo nivel debe estar en Times New Roman 11 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 2.3. El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Es importante indicar que estas especificaciones también aplican para las cabeceras de tercer nivel y su contenido. Además, la numeración de estas cabeceras no culminan con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

**Nota:** las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 11 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 2.4 y 2.4.1.

#### 2.6.3 Enumeración de páginas, encabezados y pies de páginas

Enumere sus páginas en el borde inferior derecho, ejemplo: 1, 2, 3, ..., n páginas. No utilice encabezados ni pies de páginas. Si necesita pie de página, colóquelo en la parte inferior de la columna en la cual se hace referencia con el siguiente formato: Times New Roman de 9 puntos y espacio sencillo. Para facilitar la lectura, se recomienda evitar el uso excesivo de pies de página e incluir observaciones entre paréntesis, ejemplo: (como se ilustra aquí...).

#### 2.6.4 Ecuaciones

Si está utilizando *Microsoft Word*, use *Microsoft Editor de Ecuaciones* o el complemento *MathType* ([www.mathtype.com](http://www.mathtype.com)) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 11 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

- *Microsoft* Editor de Ecuaciones: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *Create New/Crear Nuevo* - *Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones*.
- *MathType*: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *MathType*.

La ecuación debe estar centrada y con su correspondiente numeración alineada a mano derecha, como se muestra a continuación,

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda \cdot$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 11 puntos. Para la definición utilice letra normal y 11 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación 1 se muestra el resultado estimado” o “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

### 2.6.5 Imágenes y fotografías

Las imágenes y fotografías deben estar centradas en el artículo formando parte del texto. En cuanto a numeración, título y leyenda, ver la siguiente sección.

Si alguno de los elementos mencionados no puede ser ajustado en las columnas, entonces debe centrarlo en la parte superior de la página con su respectivo título y leyenda. Después, deben seguir las columnas del artículo en la parte inferior.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (*dots per*

*inch*). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas.

Si su artículo es aprobado por el Comité Editorial para su publicación, entonces, debe seguir las instrucciones de la sección 4.

### 2.6.6 Leyendas de figuras y títulos de las tablas

Las leyendas de figuras y títulos de las tablas deben ser en Times New Roman de 10 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y llevar su respectiva secuencia, ejemplo: “**Figura 1.** Diagrama de control” y “**Tabla 1.** Mediciones en campo”. Las leyendas de las figuras se colocan justificadas debajo de la imagen y los títulos de las tablas se colocan centrados arriba de las tablas.

## 2.7 Secciones usuales de un artículo

Las secciones más usuales de un artículo científico, pero NO limitantes, son las siguientes:

### 2.7.1 Introducción

Debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

### 2.7.2 Materiales y métodos

Es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos. Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

### 2.7.3 Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de

tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

#### 2.7.4 Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

#### 2.7.5 Agradecimiento

Utilice el término en singular como encabezado, aun cuando sean muchos agradecimientos. En esta sección se recomiendan las siguientes expresiones: "Agradecemos a Juan Pérez por su asistencia técnica" o "Agradecemos también a nuestro colaborador Carlos Pérez de la Dirección de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá". El reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero se indica en esta sección, ejemplo: "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional bajo contrato...".

#### 2.7.6 Referencias

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el texto al final del trabajo. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la **IEEE**. El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un *software* específico. La letra debe estar en Times New Roman 9 puntos.

El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias. Todas las referencias deben ser citadas en el documento. Los números de las referencias en el texto deben colocarse entre corchetes.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de citaciones:

##### Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation," *The International Journal of Infrared Design*, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

##### Citación de un libro

- [2] W.K. Chen. *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

##### Citación de un documento electrónico

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." *Flying Machines*. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: [www.flyingmachjourn/properties/fly.edu](http://www.flyingmachjourn/properties/fly.edu) [Dec. 1, 2003].

#### 2.7.7 Apéndice

El apéndice consiste en la presentación de cualquier otro material que impida el desarrollo continuo del artículo, pero puede ser importante para justificar los resultados del trabajo.

### 3. Normas para la recepción de los artículos

La RIDTEC es una **revista abierta** de publicación semestral, por lo tanto, extendemos una cordial invitación a todos los autores interesados en publicar artículos científicos (ver definición en la sección 4) sobre los avances y los resultados de sus proyectos de investigación.

Las áreas de investigación de interés, pero no limitantes, han sido definidas por la UTP con la finalidad de abarcar los campos del conocimiento a nivel internacional han identificado en los sectores económico, social, científico y tecnológico:

- Agricultura y Agroindustria
- Astrofísica
- Biotecnología

- Cambio climático y meteorología
- Ciencias físicas y sistemas ambientales
- Geología
- Hidrología tropical
- Infraestructura.
- Instrumentación nuclear
- Logística y Transporte
- Proceso de Manufactura y Ciencia de los Materiales
- Sistema marino costero
- Tecnologías de Energías Renovables e Ingeniería Ambiental
- Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Robótica, Automatización e Inteligencia Artificial.

Los autores de artículos pueden ser docentes, investigadores, estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con orientación de un profesor tutor. Además, los interesados pueden ser profesionales de entidades públicas (autónomas y semiautónomas) y entidades privadas, ya sean, nacionales e internacionales. Los estudiantes de pregrado con interés de publicar pueden enviar sus trabajos a la Revista de Iniciación Científica de la UTP (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric>).

El autor puede encontrar en el portal de la RIDTEC (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>) los siguientes ítems:

- Miembros del CE.
- Ediciones anteriores.
- Instructivo para autores.
- Objetivos, alcance, misión y temática.
- Política editorial de la revista.
- Declaración de ética de publicación de la revista.
- Plataforma para la recepción de artículos.
- Fechas de convocatorias para la recepciones de los artículos.

El autor debe enviar una primera versión de su artículo durante el periodo establecido, y cumplir con los siguientes criterios de preselección:

#### **Criterio 1**

El autor debe utilizar el formato establecido en el instructivo para estructurar su artículo y enviarlo a través de la plataforma para la recepción de artículos. Los artículos recibidos en la plataforma, pasada la fecha límite de la convocatoria, pasarán al estatus de “espera” para formar parte de la próxima convocatoria. El archivo del artículo debe cumplir con las siguientes

características: formato .doc o .docx y no debe superar los 65MB.

#### **Criterio 2**

El artículo emitido debe corresponder a la cobertura temática de la RIDTEC, y abarcar las áreas temáticas orientadas a las ciencias e ingenierías.

#### **Criterio 3**

El artículo debe pasar por un proceso de comprobación de originalidad, la RIDTEC hace uso de la herramienta web Paper Rater (acceso libre) y el software de detección de plagio, el cual permite garantizar la originalidad del trabajo escrito antes de la publicación.

No existe un límite para el envío de artículos por autor. Sin embargo, si dos o más artículos de un autor son aceptados entonces solo se publicará un artículo por número y los demás artículos en los siguientes números.

**Nota:** El autor solo puede modificar o retirar el artículo antes de la fecha establecida para el corte de la recepción. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación.

## **4. Evaluación y aceptación de artículos**

Cada artículo será evaluado mediante el método de “revisión por pares doble ciego”, para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflictos de intereses. Los criterios de evaluación son los siguientes: Originalidad, Relevancia, Calidad y Presentación (redacción y claridad de las secciones). Cada criterio será calificado como: Muy Alto, Alto, Bueno, Suficiente, Promedio, Débil o Deficiente. Dependiendo de esta calificación, el evaluador elegirá una de las siguientes alternativas: 1) se recomienda con modificaciones menores, 2) se recomienda con modificaciones mayores o, 3) no se recomienda. Además, el evaluador emite sus observaciones y recomendaciones, las cuales van dirigidas al autor y también al comité editorial. Para sustentar la evaluación del manuscrito, al artículo se le asigna un puntaje (0, 1 y 2), donde 0 representa a consideración del evaluador, que el artículo no se recomienda, 1 si el artículo se recomienda con modificaciones mayores y 2 si se recomienda con modificaciones menores. De esta manera el puntaje dado por cada evaluador se suma y divide entre la cantidad de evaluadores asignados al artículo emitido a revisión, así el resultado es un

promedio que podría variar entre 0 y 2. Este promedio determina si un artículo tendrá prioridad para ser publicado. Los artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número, pasarán al estatus de “espera” hasta el próximo número. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial (CE) de la RIDTEC. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación, de lo contrario se aplicará un periodo de embargo (no podrá remitir artículos en la revista dentro de seis meses “un semestre”).

Si el dictamen final (opinión de ambos evaluadores y el CE) consiste en no recomendar un artículo para su publicación, se procede con devolverlo al autor con el informe de evaluación notificándole sobre las debilidades de fondo y forma. Un dictamen final de este tipo se sustenta con los siguientes puntos: el trabajo no incorpora el componente de ingeniería, deficiencias en la redacción y claridad de las secciones, no hay una contribución original y significativa al área del conocimiento. Sin embargo, si existe una contradicción entre los evaluadores entonces se recurrirá a un tercer evaluador para definir la evaluación.

En el caso de que el artículo sea recomendado para su publicación, se procede con devolver el artículo y el informe de evaluación. El autor debe mejorar el documento y remitirlo con la información de los autores en un plazo no mayor de **15 días** al correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa)

Posterior a la aceptación de los ajustes en el artículo por parte del CE, el autor principal recibirá una certificación sobre la publicación de su artículo en la RIDTEC. Además, el autor debe entregar los archivos al correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa) o enviar un disco (CD o DVD) con sus respectivas imágenes o gráficos originales para la diagramación del artículo. En el caso de enviar un disco, este debe incluir los siguientes datos:

- Número de identificación del artículo (ID)
- Título del artículo
- Nombre del autor principal.

¿Qué queremos decir con una "**imagen original**"? Según nuestras experiencias con ediciones anteriores, se recomienda generar un PNG o JPG de la imagen con el software utilizado para crear dicha imagen y con una resolución **mínima de 300 ppp**. Ejemplos del concepto

"original": si la imagen es creada en *Autocad* entonces usted debe generar el archivo PNG o JPG de la imagen a partir del *Autocad*.

No se recomienda exportar la imagen a otra aplicación para generar el PDF porque puede afectar considerablemente la calidad de la imagen y complicar la tarea de diagramación. Ejemplo: exportar la imagen del *Autocad* e importarla en *Word* o *power point*.

Cada imagen debe aparecer en un archivo PNG o JPG por separado y debidamente identificada para facilitar el reemplazo en el artículo.

**Nota:** El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso contrario, el artículo quedará en cola de espera para su publicación.

## 5. Prioridad de publicación

La prioridad de publicación se va a regir por los siguientes criterios:

- Por impacto.
- Por tiempo de recepción del artículo.
- Enfoque de la temática.

Si un artículo tiene una mayor puntuación en base a estos criterios este tendrá prioridad para ser publicado, los otros artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número estarán en el estatus de *espera* hasta el próximo número.

## 6. Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIDTEC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, siguiendo los lineamientos del documento "*Declaración de ética de publicación*", la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

## 7. Correspondencia o comunicaciones

Para la correspondencia, suscripciones o envío de documentación, sírvase hacerlo a siguiente dirección:

Universidad Tecnológica de Panamá



Editorial Tecnológica

Apartado 0819-07289, El Dorado, Ciudad de Panamá, República de Panamá

Además, para una comunicación directa, usted puede escribirnos al siguiente correo electrónico [revista.idtecnologico@utp.ac.pa](mailto:revista.idtecnologico@utp.ac.pa)

## 8. Conceptos fundamentales de interés

Esta sección tiene el objetivo de ilustrar a nuestros autores y lectores sobre conceptos fundamentales de investigación y desarrollo experimental (I+D)<sup>3</sup>, y redacción científica<sup>4</sup>.

La I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. A continuación se definen cada una de estas actividades.

- La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos y está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora de los ya existentes.

En cuanto a la redacción científica, su característica fundamental es la claridad. El éxito de la experimentación científica es el resultado de una mente clara que aborda un problema claramente formulado y llega a unas conclusiones claramente enunciadas. Idealmente, la claridad debería caracterizar todo tipo de comunicaciones; sin embargo, cuando se dice algo por primera vez, la claridad es esencial.

La mayoría de los artículos científicos publicados en las revistas de investigación primarias se aceptan

precisamente porque aportan realmente conocimientos científicos nuevos. Por ello, debe exigirse una claridad absoluta en la redacción científica. Para una mejor comprensión entre los tipos de trabajos científicos, presentamos las siguientes definiciones:

- **Artículo científico:** informe escrito y publicado que describe resultados originales de una investigación.
- **Artículo de revisión:** no es una publicación original y su estructura es diferente a la de un artículo de investigación. Ofrece una evaluación crítica de los trabajos publicados y llegan a conclusiones importantes.
- **Ensayos cortos:** son el resultado de un examen crítico de artículos de investigación científica publicados, en donde se resaltan los trabajos más importantes o los que han brindado mayor aporte al conocimiento en una área determinada.

**Los conceptos fueron extraídos de los siguientes documentos:**

<sup>1</sup><http://www.researcherid.com/>, Thomson Reuters

<sup>2</sup><https://www.recursoscientificos.fecyt.es/>, FECYT

<sup>3</sup>"Manual de Frascati", 2003, FECYT y Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

<sup>4</sup>"Cómo escribir y publicar trabajos científicos", 2005, Roberto Day



## VII International Engineering Science and Technology Conference

*"To complex problems,  
multidisciplinary solutions"*

*"Celebrating the 500<sup>th</sup>  
Anniversary of Panama City"*

**October 9 - 11, 2019**

Wyndham Panamá Hotel Allbrook Mall

**Call for Papers**  
<http://congreso.utp.ac.pa>

### AREAS OF INTEREST:

- ◆ Agroindustry
- ◆ Basic Sciences
- ◆ Economy and Society
- ◆ Engineering Education
- ◆ Energy and Environment
- ◆ Infrastructure
- ◆ Logistic and Transportation
- ◆ Management, Entrepreneurship and Innovation
- ◆ Robotic, Automation and Artificial Intelligence
- ◆ Information Technology and Communication
- ◆ Emerging Technologies

### IMPORTANT DATES:

Nov. 1<sup>st</sup>, 2018  
April 1<sup>st</sup>, 2019  
July 1<sup>st</sup>, 2019

Papers reception opens  
Papers reception closes  
Notification of acceptance begins

In order to include the accepted papers in the **IESTEC-2019** program, at least one of the authors, must pay by July 31<sup>st</sup>, 2019.

# Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP

INICIO ACERCA DE ÁREA PERSONAL BUSCAR

Inicio > Portal de Revistas Académicas UTP

## Portal de Revistas Académicas UTP

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. Este sitio es un componente del proyecto Repositorio Institucional (UTP-Ridda2). Muestra la producción científica de docentes, investigadores y estudiantes. Iniciativa que desarrolla la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, la Dirección de Comunicación Estratégica y Editorial Universitaria, con el apoyo de las autoridades de esta casa de estudios.

[A](#) [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [K](#) [L](#) [M](#) [N](#) [Ñ](#) [O](#) [P](#) [Q](#) [R](#) [S](#) [T](#) [U](#) [V](#) [W](#) [X](#) [Y](#) [Z](#) [Todo](#)



### I+D Tecnológico

Desde 2002 se propuso la edición de la Revista de I+D Tecnológico (*P-ISSN 1680-8894 & E-ISSN 2219-6714*), con el propósito de promover la labor de investigación en el ámbito nacional e internacional.

La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista abierta (OA) evaluada por pares (doble ciego) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), especializada en las áreas de las ciencias básicas e ingeniería y otras áreas del conocimiento.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Prisma Tecnológico

Prisma Tecnológico (*P-ISSN 2076-8133 & E-ISSN 2312-637X*)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista abierta, indexada a Latindex, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, su objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería, ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Revista de Iniciación Científica

RIC (*P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786*), es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado, con el objetivo de promover la creación, la expresión y la diseminación de trabajos novedosos y empíricos. En RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)

OPEN JOURNAL SYSTEMS

---

Servicio de ayuda de la revista

---

USUARIO/A

Ha iniciado sesión como...  
**dannym**

- Mis revistas
- Mi perfil
- Cerrar sesión
- Cerrar sesión de usuario/a

---

IDIOMA

Escoge idioma

Spanish

---

CONTENIDO DE LA REVISTA

Buscar

Ámbito de la búsqueda

Todo



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMÁ

El **Portal de Revistas Académicas UTP**, es un componente del proyecto **UTP-RIDDA2** (Repositorio institucional de acceso abierto de la Universidad Tecnológica de Panamá).

### Componentes del Repositorio Institucional

- Portal de Revistas
- Repositorio de Investigación
- Repositorio de Tesis
- Repositorio de Organizacional
- Repositorio de Académico

### Objetivo General del Portal de Revistas

Mejorar la visibilidad de las publicaciones científicas de la Institución a nivel nacional e internacional a través del uso de un sistema de gestión, de información y de consulta ágil y de uso internacional.

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas

**Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo**



**Universidad Tecnológica de Panamá**  
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio de Postgrado, Planta Baja.  
Teléfono: (507) 560-3703 | (507) 560-3442  
Correo Electrónico: [editorial@utp.ac.pa](mailto:editorial@utp.ac.pa)  
Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)  
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,  
Panamá, República de Panamá.