

# RIC

REVISTA DE  
**INICIACIÓN  
CIENTÍFICA**

JOURNAL OF **UNDERGRADUATE** RESEARCH

Vol. 7 - N.º 2 - JULIO - DICIEMBRE 2021

P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786



Universidad Tecnológica de Panamá  
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio Administrativo  
Teléfono: (507) 560-3703 / Telefax: (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 Provincia de Panamá  
República de Panamá.



## **Cuerpo de Evaluadores-Mentores de este Volumen**

| <b>Área de investigación<br/>de UTP</b>                  | <b>Revisor / mentor</b>    | <b>Facultad, Centro de<br/>Investigación o Centro Regional</b>  |
|--|----------------------------|---|
| Energía y Ambiente                                       | Dra. Melisabel Muñoz       | Facultad de Ingeniería Civil                                    |
| Energía y Ambiente                                       | Dra. Nathalia Tejedor      | Centro de Investigaciones Hidráulicas e<br>Hidrotécnicas (CIHH) |
| Propiedad intelectual                                    | Mgtr. Ruth Sierra          | Dirección de Gestión y Transferencia del<br>Conocimiento (DGTC) |
| Evaluación de proyecto                                   | Mgt. Aníbal Fossatti       | Centro de Innovación y Transferencia<br>Tecnológica (CITT)      |
| Infraestructura  | Dr. Francisco Grajales     | Facultad de Ingeniería Civil                                    |
| Infraestructura  | Dr. Aníbal E. Santos Marín | Facultad de Ingeniería Civil                                    |
| Tecnologías de la<br>Información y las<br>Comunicaciones | Dra. Yessica Sáez          | Centro Regional de Azuero                                       |

|  |                                |  |
|--|--------------------------------|--|
| Energía y ambiente                                     | Dra. Gisselle E. Guerra-Chanis | Centro de Investigaciones<br>Hidráulicas e Hidrotécnicas<br>(CIHH) |
| Energía y ambiente                                     | Dra. Noemi Guerra              | Centro Regional de Chiriquí  |
| Procesos de Manufactura y<br>Ciencia de los Materiales | Dr. Eduardo Concepción         | Facultad de Ciencias y<br>Tecnología                               |
| Energía y ambiente                                     | Ariel Antonio Grey Garibaldi   | Facultad de Ingeniería Civil                                       |

# RIC

## REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

La RIC, Revista de Iniciación Científica – Journal of Undergraduate Research – 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 la 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.

**Revista semestral**, es un proyecto educativo universitario, publicada a partir del 2015, como iniciativa del Ing. Alexis Tejedor De León, PhD, ING-PAED-IGIP, de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Centro Regional de Veraguas de la Universidad Tecnológica de Panamá, con

la finalidad de brindar una oportunidad, única, a los estudiantes universitarios de experimentar plenamente el método científico, a partir del desarrollo de trabajos originales para su publicación y visibilidad internacional, por medio del proceso de revisión por pares.

*The manuscript should be of similar style and structure to that of typical articles published in professional journals.*

Los artículos y trabajos técnicos publicados en la Revista de Iniciación Científica – RIC – *Journal of Undergraduate Research* son de exclusiva propiedad de sus autores. Las opiniones y el contenido de los mismos pertenecen a sus autores, declinando la Universidad Tecnológica de Panamá de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura y/o interpretación del contenido de los trabajos allí publicados.

# Misión

La RIC, es una revista de estudios, revisiones e investigaciones en ciencia, tecnología e ingeniería, tanto teóricos, como empíricos, que tiene como objetivo divulgar la producción académica universitaria a nivel de pregrado, propiciando el intercambio de informaciones y el debate sobre los principales asuntos y temas emergentes de las áreas. Se da relevancia a la diseminación de los trabajos realizados en universidades nacionales, sin embargo, publicará también estudios provenientes del exterior. Por lo tanto, se invita a cualquier estudiante de licenciatura en las áreas de ciencia, tecnología e ingeniería a presentar sus manuscritos, y enviarlos a la dirección: revista.ric@utp.ac.pa

## Proceso de revisión

En primer lugar, el Director del Comité Editorial realiza una selección preliminar de los manuscritos sometidos, tomando en consideración la Misión de la RIC.

Los artículos seleccionados se someten y se asignan a uno de los miembros del Comité Editorial de la RIC. Se envían a mentores/ revisores de acuerdo al área de especialidad, los cuales enviarán sus comentarios a uno de los miembros del Comité Editorial, responsable por darle seguimiento al manuscrito designado.

El miembro del Comité Editorial, sintetizará los comentarios y observaciones emitidos por los revisores, y su decisión sobre la publicación del manuscrito, el cual podrá aceptarse tal y como se envió, aceptarse con pequeñas modificaciones, o devolverse con la invitación de que lo vuelva a someter. El autor, en cuestión, atenderá las modificaciones sugeridas. Se podrán llevar a cabo, varias rondas de comentarios, hasta que finalmente el manuscrito se considere adecuado para su publicación.



Dr. Jorge Quijada-Alarcón  
EDITOR



## MENSAJE DEL EDITOR

La iniciación científica es el intercambio de conocimientos y experiencias académicas y científicas entre estudiantes que empiezan a tener sus primeros contactos con la ciencia y sus tutores que les guían durante la realización de una investigación conjunta. Así, la Revista de Iniciación Científica - RIC de la Universidad Tecnológica de Panamá abre un espacio propicio donde los resultados de estas investigaciones pueden ser publicados a través de un artículo original de alta calidad. Además, los autores noveles ven fortalecidas sus habilidades de escritura científica, toda vez que el proceso de revisión por pares por el método doble ciego que utiliza la RIC no solo garantiza una evaluación objetiva del artículo, sino que los evaluadores proveen las recomendaciones necesarias que permiten mejorar el manuscrito presentado.

La RIC se publica semestralmente, y está indexada en el Catálogo 2.0 de Latindex y forma parte de las bases de datos: ERIHPLUS, ROAD, MIAR, Google Académico, Open Aire, PKP-INDEX, BASE, Mendeley, el repositorio Centroamericano SIIDCA y el repositorio de UTP-RIDDA2.

El primer artículo de este volumen presenta una revisión del estado del arte del modelado de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos. En el segundo artículo se desarrolla una metodología para la identificación de ambientes de aprendizaje en la Universidad Tecnológica de Panamá motivado por la pandemia de la *COVID-19*. El tercer artículo presenta la evaluación del uso de árboles y arbustos con el fin de incrementar el factor de seguridad

en los taludes. El cuarto artículo presenta el análisis del aumento del nivel del mar en Isla Colón en Bocas del Toro. El quinto artículo presenta un estudio numérico de fluidos caloportadores no convencionales para aplicación solar térmica. El sexto artículo presenta el análisis de la producción científica y su originalidad en universidades latinoamericanas. El séptimo artículo presenta un sistema prototipo sostenible de desalinización de agua de mar. El octavo artículo presenta la revisión de las estrategias de diseño de envolventes con el fin de minimizar el consumo energético de edificaciones en climas tropicales con un enfoque biomimético. El noveno artículo presenta la aplicación de red neuronal

artificial para la detección de armas de fuego y armas blancas en video vigilancia. Y, finalmente, el décimo artículo presenta la elaboración de un instrumento para el registro de pérdidas y daños por desastres en Panamá. Todos estos artículos son de gran relevancia para el estado del arte de sus áreas de conocimiento.

Agradecemos a los autores que han escogido la RIC para publicar los resultados de sus investigaciones y a los evaluadores que nos apoyaron con este volumen. Además, invitamos a todos los estudiantes de pregrado y sus tutores, a que publiquen en la RIC los resultados de sus investigaciones.

# RIIC

latindex ROAD DIRECTORY OF OPEN ACCESS SCHOLARLY RESOURCES MIAR UTP-Ridda<sup>2</sup> BASE Bielefeld Academic Search Engine

Google Académico OpenAIRE PKP|INDEX MENDELEY Repositorio Centroamericano SIDCA

Vol. 7 - N.º 2- JULIO - DICIEMBRE 2021

P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786

## CONTENIDO

9-19

**MODELADO DE ESTACIONES DE RECARGA LENTA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE SOFTWARE: REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE**

María Serrano,  
Yessica Sáez,  
Edwin Collado

20-25

**IDENTIFICACIÓN DE AMBIENTES DE APRENDIZAJE EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ MOTIVADO POR LA PANDEMIA DE LA COVID-19**

Ana Ríos,  
Oscar Ríos,  
Ignacio Chang

26-38

**BIOINGENIERÍA DE TALUDES: EVALUACIÓN DEL USO DE ÁRBOLES Y ARBUSTOS COMO POSIBLE MECANISMO PARA INCREMENTAR EL FACTOR DE SEGURIDAD**

Ruby Vallarino,  
George Mejía,  
Dylan Centella,  
Francisco Grajales-Saavedra

|       |  |  |
|-------|--|--|
| 39-49 | <b>ANÁLISIS DE AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR EN ISLA COLÓN, BOCAS DEL TORO</b>   | <b>Stefano Ciniglio,<br/>Víctor Machado,<br/>Ruby Vallarino,<br/>Francisco Grajales-Saavedra</b> |
| 50-57 | <b>EVALUACIÓN DE FLUIDOS CALOPORTADORES NO CONVENCIONALES PARA APLICACIÓN SOLAR TÉRMICA: UN ESTUDIO NUMÉRICO EN PANAMÁ</b>   | <b>Alessandra Arcia,<br/>Norbert Díaz,<br/>Alejandro Medina,<br/>Miguel Chen Austin</b>          |
| 58-65 | <b>PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y SU ORIGINALIDAD EN UNIVERSIDADES LATINOAMERICANAS: UNA MIRADA EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ</b>                                       | <b>María Carla Muñoz,<br/>Víctor González,<br/>Rosa Mosquera,<br/>Libia Batista</b>              |
| 66-75 | <b>AQUA PLANTAE: SISTEMA PROTOTIPO SOSTENIBLE DE DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR, Y APLICACIÓN A CULTIVOS MEDIANTE RIEGO SUBTERRÁNEO</b>                                     | <b>Alberto Atencio,<br/>Alexandra Mojica,<br/>Juan Osorio,<br/>Viccelda Domínguez de Franco</b>  |
| 76-82 | <b>UNA REVISIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO DE ENVOLVENTES PARA MINIMIZACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES EN CLIMA TROPICAL BASADO EN ENFOQUES BIOMIMÉTICOS</b> | <b>Oscar Cowen,<br/>Nicole Delgado,<br/>Chrissmar González,<br/>Miguel Chen Austin</b>           |
| 83-88 | <b>RED NEURONAL ARTIFICIAL PARA DETECCIÓN DE ARMAS DE FUEGO Y ARMAS BLANCAS EN VIDEO VIGILANCIA</b>  | <b>Miguel A. Campos,<br/>Jacqueline Sánchez</b>  |
| 89-99 | <b>ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA EL REGISTRO DE PÉRDIDAS Y DAÑOS POR DESASTRES EN PANAMÁ</b>  | <b>Jenifer Montenegro,<br/>José Hernández,<br/>Casilda Saavedra</b>                              |

# Modelado de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos mediante *software*: revisión del estado del arte

## Modeling slow charging stations for electric vehicles through software: a review of the state of the art

María Serrano<sup>1</sup>, Yessica Sáez<sup>2,3\*</sup>, Edwin Collado<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>3</sup>Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP)

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

**Resumen.** Los efectos de la contaminación ambiental causada por las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos de combustión interna son cada vez más notables, por lo cual se ha ido implementado la utilización de vehículos eléctricos con el objetivo de reducir estos agentes nocivos, sin embargo, desde su aparición en el siglo XIX, los vehículos eléctricos han tenido poca autonomía respecto a su batería. La solución propuesta para la resolución de este problema consiste en construir estaciones de recarga en puntos estratégicos como centros comerciales, residencias y estacionamientos de oficina u otros establecimientos; considerando la utilización de una recarga de nivel 1 (lenta) para ofrecer una mayor vida útil a dichas baterías. El objetivo principal de esta revisión literaria es plantear distintos modelados de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos, proporcionando una gama de *softwares* encargados de obtener variadas simulaciones como respuesta a distintos procesos. Para la realización de la investigación, se obtuvieron como base tres *softwares*: MATLAB, LabVIEW y AnyLogic. Los datos planteados por estas herramientas permiten concluir que con la utilización de modelados se logra reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas, y además ayuda a visualizar el sistema a una escala computacional y, por ende, reduce el número de defectos.

**Palabras clave.** Estación de recarga, MATLAB, modelado, recarga lenta, *software*, vehículo eléctrico.

**Abstract.** The effects of environmental pollution caused by CO<sub>2</sub> emissions from internal combustion vehicles are increasingly notable, which is why the use of electric vehicles has been implemented with the aim of reducing these harmful agents, however, since their appearance in the 19th century, electric vehicles have had little autonomy with respect to their battery. The proposed solution for solving this problem consists of building recharging stations in strategic points such as shopping centers, residences and office parking lots or other establishments; considering the use of a level 1 (slow) recharge to offer a longer useful life to these batteries. The main objective of this literary review is to propose different models of slow recharging stations for electric vehicles and a range of software in charge of obtaining various simulations in response to different processes. To carry out the research, three software's were obtained as a basis: MATLAB, LabVIEW and AnyLogic. The data presented by these tools allowed us to conclude that, with the use of modeling, it is possible to reduce the cost and duration of the process of design and development of the different systems. In addition, it helps to visualize the system on a computational scale and, therefore, reduces the number of defects.

**Keywords.** Charging station, MATLAB, modeling, slow charging, software, electric vehicle.

## 1. Introducción

La utilización de combustibles fósiles como método de energía para los vehículos de combustión interna equivale a un aumento gradual en la contaminación, debido a que las pérdidas por calor son traducidas en aproximadamente un 70%. En los últimos años, este aumento en la contaminación ha producido daños severos en el ambiente, razón por la cual se

han tomado medidas entorno a la reducción de estos agentes nocivos. Uno de los métodos implementados se basa en la utilización de vehículos eléctricos (VEs), los cuales se caracterizan por poseer motores eléctricos o de tracción para su utilización, de manera que no son dependientes de los combustibles fósiles.

La autonomía de los VEs ha ido en aumento con el pasar de los años debido, principalmente, a la utilización de baterías de ion-litio, las cuales son utilizadas para almacenar la energía eléctrica del vehículo [1], [2].

Los VEs son considerados actualmente una pieza fundamental para la reducción de la contaminación en el ambiente debido a las múltiples ventajas que traen consigo desde su desarrollo en el siglo XIX [3], no obstante, para poder aprovechar en gran medida toda su tecnología se debe hacer hincapié en la adecuada utilización de los niveles de recarga y las formas de recarga [4], [5], los cuales se detallarán en este artículo.

Para poder maximizar la cantidad de usuarios de VEs se deben tomar medidas pertinentes sobre las estaciones de recarga lenta, las cuales son consideradas el modo de recarga más confiable para los vehículos, ya que por su largo periodo de carga permite que los ciclos de vida de las baterías se prologuen. Un ejemplo claro de esto son las propuestas presentadas por [5], [6], [7], [8], en donde se detallan, mediante simulaciones, diversos modelos que tienen como objetivo beneficiar a la población que circula con VEs con la implementación de diversas estaciones de recarga en puntos estratégicos.

Con el pasar del tiempo se ha implementado la utilización de *softwares* de modelado para la simulación de las distintas funciones de los VEs, incluidas las estaciones de recarga. Este método trae consigo muchos beneficios, ya que el proceso de simulación permite realizar pruebas y ensayos de las distintas configuraciones existentes antes de empezar el proceso de automatización real de los sistemas de recarga eléctrica [9].

Con base a la problemática planteada en este artículo se propone el desarrollo de un marco teórico sobre los conceptos fundamentales de los VEs y el proceso de recarga, además de una introducción a los *softwares* utilizados para el modelado de estaciones de recarga de VEs y sus respectivas simulaciones. El objetivo principal de este estudio es realizar una revisión del estado del arte en donde se planteen distintos modelados de estaciones de recarga lenta de VEs, con el fin de proporcionar una gama de *softwares* que se encarguen de obtener simulaciones que permitan reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas.

## 2. Antecedentes

Aunque los VEs han tenido un mayor auge en los últimos años, su primera aparición fue en el siglo XIX mucho antes que los vehículos de combustión interna. Fue específicamente en 1834 cuando Thomas Davenport creó la primera maqueta de un tren eléctrico considerado como el primer vehículo eléctrico, sin embargo, no es hasta 1839 cuando Robert Anderson construyó el primer vehículo movido por electricidad. No obstante, hasta 1898 se empezaron a comercializar los primeros VEs los cuales eran utilizados para

el transporte en ciudades pequeñas debido a su baja autonomía [1], [10].

Los primeros vehículos de combustión interna surgieron aproximadamente en el año 1886, aunque poseían grandes desventajas como su ruido, fuerte olor a combustible y su dificultad para ser conducidos [2]. A finales del siglo XX, el petróleo comenzó a ser un poco más accesible al mercado y, por ende, los vehículos de combustión interna empezaron a tener éxito.

Aun cuando los VEs fueron desplazados por los vehículos de combustión interna durante un largo periodo; se veía como una alternativa factible para el desarrollo de la sociedad, tanto así que actualmente su fiabilidad ha vuelto a surgir como un método para reducir la contaminación del ambiente.

Ahora bien, para comprender mejor los conceptos relacionados a los VEs se ampliará más información a continuación.

### 2.1 Vehículos eléctricos

Conceptualizando, los VEs son vehículos impulsados por uno o varios motores eléctricos, los cuales pueden alimentarse a través de una fuente externa que suministre energía eléctrica al sistema [11]. Existen principalmente cuatro grupos en los cuales puede clasificarse los VEs, los cuales se observan en la figura 1.

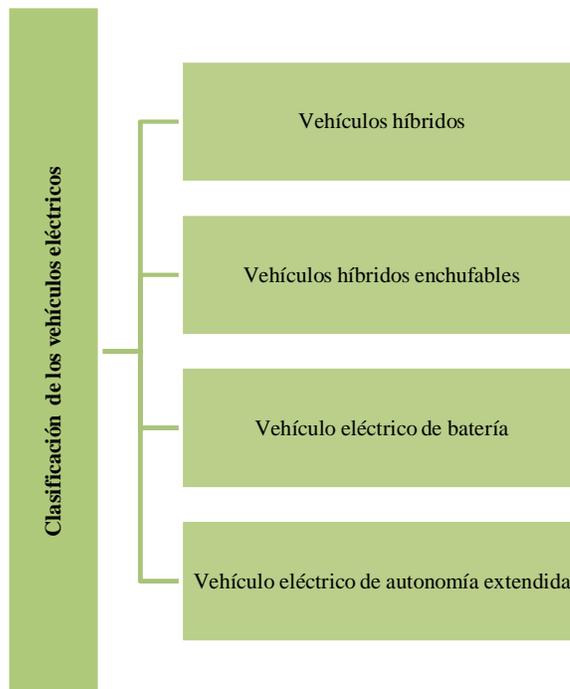


Figura 1. Clasificación de los vehículos eléctricos.  
Fuente: Elaboración propia.

Los vehículos híbridos tienen como principal característica la combinación del motor de combustión interna con baterías y motores eléctricos, mientras que el vehículo híbrido enchufable posee la particularidad de generar electricidad con el frenado (frenado regenerativo). Además, posee baterías que se cargan mediante conexión directa con la red, sin embargo, posee como fuente principal un motor de combustión interna. Por otra parte, el vehículo eléctrico de batería es puramente eléctrico, por ende, utilizan la energía eléctrica para poder desplazarse de un lugar a otro y, finalmente, mientras que el vehículo eléctrico de autonomía extendida tiene las mismas características que el vehículo eléctrico de batería con excepción de que tiene una fuente secundaria, misma que funciona como un generador interno que permite la recarga de las baterías [2].

Por otro lado, uno de los principales beneficios de los VEs es su contribución al ambiente debido a que más del 90% de la energía que consumen este tipo de vehículos es convertida en movimiento, esto representa una gran eficiencia energética. Además, estos vehículos no emiten gases nocivos, lo cual es uno de los principales problemas de contaminación ambiental en el mundo.

Los autores de [12] detallan que la relación de CO<sub>2</sub> producida por un vehículo eléctrico es la mitad o el tercio del producido por un vehículo de combustión interna. Mientras que, por otra parte, este tipo de vehículo suele generar una menor contaminación acústica (en reposo o movimiento).

En [4], se revela que la actividad humana es la principal causante del cambio climático. Teniendo así que, el 50% del total de las emisiones del efecto invernadero son causadas por el transporte por carretera (vehículos) y la generación eléctrica, por ende, es necesario tomar medidas que minimicen este deterioro. Uno de los procesos que puede ayudar a reducir este tipo de problemas es el frenado regenerativo propio de los VEs [1], [13].

En cuanto a la autonomía de los VEs, la misma es considerada tres veces mayor a la de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, si nos enfocamos en la clasificación detallada anteriormente de los VEs, se debe considerar que los vehículos híbridos enchufables poseen una batería de menor capacidad, por ende, tendrán una autonomía menor que los vehículos puramente eléctricos [10], [12].

Además, es importante mencionar que el costo de mantenimiento y recarga del vehículo eléctrico es mucho menor que el de un vehículo de combustión interna, lo cual produce un beneficio económico a sus usuarios [5].

## 2.2 Proceso de recarga de los vehículos eléctricos

El proceso de recarga de los VEs depende en gran medida de la batería y de la infraestructura de carga, además del consumo eléctrico [10].

Según los datos de [4], existen aspectos básicos que se deben tener en cuenta para un sistema de recarga de VEs. Estos aspectos son:

- Naturaleza de la energía suministrada al vehículo
- Modo de transferencia de energía
- Flujo de energía
- Velocidad de carga.

Ahora bien, existen tres tipos de recarga de VEs en función de la potencia del punto de recarga y la duración de la misma. A continuación, se conceptualizará más sobre estos tipos de recarga.

### 2.2.1 Nivel 1- recarga lenta

La recarga lenta es considerada como la más segura y práctica para los VEs debido a que en este nivel no es necesario una instalación eléctrica especial, ya que puede ser realizada en un domicilio con un enchufe convencional. Sin embargo, es recomendable colocar una zona o rama específica para la recarga del vehículo con el objetivo de no generar sobrecargas [14]. Como este tipo de recarga es lenta, el tiempo de espera es de 6 a 8 horas para lograr la carga completa del vehículo [15]. Debido a su tiempo de carga, se recomienda preferiblemente a lugares donde el vehículo permanece estacionado durante un largo periodo de tiempo como domicilios, estacionamientos comunitarios o de oficina [11].

### 2.2.2 Nivel 2 – recarga media o acelerada

El nivel 2, a diferencia del nivel 1, requiere la instalación de un equipo especial debido a que este tipo de recarga utiliza potencias más elevadas [4], [14]. Un punto clave en este tipo de recarga es que no puede utilizarse en todos los VEs, no obstante, en [2] indican que con el pasar del tiempo puede convertirse en una recarga bastante común. El tiempo de recarga se estima en 3 a 4 horas aproximadamente.

### 2.2.3 Nivel 3 – recarga rápida

Este tercer y último nivel de carga es el que más potencia consume [4]. A diferencia de los niveles anteriores, en el nivel 3 no se realiza una instalación domiciliaria. Su función principal es realizar una carga pública rápida de 15 a 30 minutos. Para las baterías de los VEs no es recomendable la utilización de este modo de recarga (rápida), ya que lleva a un deterioro prematuro de la misma, disminuyendo sus ciclos de vida, sin embargo, algunos fabricantes ya la admiten [2], [14].

Con base a estos tres niveles de recarga, es recalable la posibilidad de obtener una parte de la energía eléctrica para la recarga por medio de la utilización de energías renovables (energía eólica, solar, geotérmica, etc.), contribuyendo positivamente al ambiente. Los autores de [5] ejemplifican este caso con la consideración de dotar a las instalaciones de recarga con paneles solares con los cuales se puede obtener de forma limpia una parte de la energía eléctrica empleada en la recarga.

### 2.3 Conectores utilizados para la recarga de vehículos eléctricos

Una vez estudiados los distintos procesos de recarga para los VEs es importante tener en cuenta los tipos de conectores utilizados para dicha recarga (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción de los conectores utilizados para la recarga de vehículos eléctricos

| Nombre del conector | Descripción  |
|---------------------|--|
| Schuko              | Utilizado en países europeos para recarga lenta [4].   |
| SAE J1772           | Este modelo permite identificar la conectividad entre el vehículo y la infraestructura de recarga [4], [7].                            |
| Mennekes            | Diseñado para efectuar recargas eléctricas en el nivel 2 o 3. El diseño es similar al SAE J1772 [4].                                   |
| COMBO               | Este tipo de conector realiza el método de recarga rápida [7].   |
| CHadEMO             | Este diseño surgió para cargar vehículos en corriente continua a altas velocidades [7].  |
| Scame               | Este conector se puede utilizar para realizar recargas de nivel 1 y 3, sin embargo, el conector está prácticamente en desuso [4], [7]. |

Fuente: Elaboración propia con base en [4], [7].

## 3. Metodología

Para la obtención de la información que se verá reflejada en la siguiente revisión del estado del arte se realizó una búsqueda científica a través de las bases de datos electrónicas de Google Scholar y SciELO en múltiples ocasiones desde el 25 de enero hasta el 19 de marzo de 2021 utilizando los términos de búsqueda: estación de recarga, MATLAB, LabVIEW, AnyLogic, modelado, recarga lenta, *software* y VEs, como texto libre. Se escanearon las referencias de los

artículos para identificar estudios adicionales, así como artículos citados por los autores. Se leyeron los resúmenes de los artículos encontrados y los estudios se incluyeron en la revisión literaria si involucraban el modelado de estaciones de recarga lenta para VEs mediante *software*, con un enfoque en estudios realizados de 56 documentos de los cuales se detallan un total de 44, desglosados en 32 artículos científicos y 12 definiciones de conceptos, necesarios para el desarrollo de los distintos subpuntos.

A continuación, se detallan las distintas consideraciones tomadas en cuenta para el desarrollo de esta revisión del estado del arte.

### 3.1 Planteamiento de la problemática

Los VEs, como se ha mencionado anteriormente, son un método factible para la reducción de la contaminación. Actualmente, la adquisición de este tipo de vehículos ha aumentado significativamente en diversos países debido a los protocolos y leyes que respaldan a sus portadores, no obstante, para algunas personas aún sigue siendo un problema la autonomía de las baterías de dichos vehículos. Esto ha llevado a plantear la implementación de múltiples estaciones de recarga a lo largo de puntos estratégicos (estacionamientos de oficina, residencias, centros comerciales) en las ciudades con la mayor demanda de VEs.

En [14] se plantea la utilización de los niveles 1 o 2 para una recarga vehicular residencial, no obstante, el nivel de recarga 1 (lento), es el más confiable (diversos autores utilizaron este tipo de recarga en sus estudios, corroborando que es la más segura para el ciclo de vida del vehículo).

Uno de los retos que tiene la nueva flota vehicular eléctrica es adaptarse a la nueva demanda, sin embargo, el sector eléctrico juega un papel fundamental en este entorno, debido a que es el protagonista en los servicios de recarga [2]. Un estudio realizado por [6] demuestra que la introducción masiva de VEs puede afectar considerablemente el nivel de tensión en los nodos y la capacidad máxima asignada al circuito residencial, razón por la cual se debe establecer un algoritmo para la recarga del vehículo eléctrico dentro del entorno de una residencia.

Para lograr satisfacer las necesidades centradas en la recarga de los VEs se han utilizado *softwares* de modelado en ingeniería los cuales, de la mano con un buen sistema, pueden dotar a las estaciones de recarga de múltiples ventajas.

El estudio presentado en este artículo se enfoca en una revisión literaria sobre el modelado de estaciones de recarga lenta de VEs debido a las ventajas que trae consigo la utilización del nivel de recarga 1 para la autonomía del VE.

A continuación, se presenta información sobre el modelado en ingeniería, incluyendo los *softwares* que son más utilizados para este tipo de tareas.

### 3.2 Modelado de sistemas de recarga de vehículos eléctricos

De manera general, la palabra modelado tiene distintas definiciones, sin embargo, basaremos el estudio en el modelado mediante *software* el cual puede definirse como una técnica utilizada para tratar la complejidad referente a distintos sistemas. La utilización de este tipo de modelado ayuda a visualizar el sistema que se desea construir en un futuro [16]. Ahora bien, el modelado de sistemas de recarga de VEs se realiza con el objetivo de obtener simulaciones que permitan reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas. El proceso de simulación permite realizar pruebas y ensayos de las distintas configuraciones existentes antes de empezar el proceso de automatización real de los sistemas de recarga eléctrica [9].

Existe una innumerable cantidad de *softwares* que son utilizados para aplicaciones de modelado en ingeniería, sin embargo, la tendencia masiva de *softwares* utilizados para simulaciones basadas en VEs recae principalmente en MATLAB. A continuación, se detalla información sobre este y otros *softwares* utilizados para tales fines.

- **MATLAB/Simulink:** MATLAB combina un entorno de escritorio, siendo un sistema computacional numérico utilizado para el análisis iterativo y de procesos de diseño [17]. Por otro lado, Simulink es un entorno de programación visual utilizado a nivel de ingeniería para reducir costos en prototipos [3], [18]. El uso de estas dos herramientas simultáneamente permite combinar programación textual y gráfica para diseñar su sistema en un entorno de simulación.
- **LabVIEW:** Utilizado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos [19].
- **AnyLogic:** Es una herramienta que incluye todos los métodos de simulaciones utilizados hoy en día para la práctica [20].
- **CPLEX:** Es un paquete de *software* de optimización que recibió su nombre debido al modelo simplex utilizando lenguaje de programación C [21].
- **AVL CRUISE:** Es utilizado exclusivamente para la simulación de vehículos, admitiendo una amplia gama de aplicaciones [22].
- **CANoe Test Package EV:** Biblioteca de casos de prueba de VEs enfocada en probar la conformidad y la capacidad del sistema de información de los VEs [23].

Los *softwares* descritos son algunos de los utilizados para el modelado en general de VEs, no obstante, cabe destacar que existen *softwares* como AVL CRUISE y CANoe Test Package EV que se encargan exclusivamente de simulaciones referentes a vehículos, dejando a un lado las aplicaciones en otras áreas.

### 3.3 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos

Como ya se planteó anteriormente, el modelado de sistemas o estaciones de recarga trae consigo múltiples beneficios en la construcción de la estructura. En [5], se expresa que resulta de gran interés conocer la relación entre los diversos parámetros de desarrollo. Por ejemplo, el número de habitantes y localización en donde se desea construir la estación de recarga permite plantear el tamaño y tipo de recarga a incluirse de una manera factible.

Con base a lo anterior, diversos autores han utilizado un planteamiento general para la simulación de distintas estaciones de recarga. Por ejemplo, los autores en [6], [7] basan sus estudios en la creación de protocolos de comunicación y algoritmos de gestión, mientras que [24] utiliza la técnica heurística, la cual es vista como el arte de inventar procurando utilizar métodos, criterios y estrategias que permitan resolver un problema a través de la creatividad y el pensamiento [25]. Otro método de estudio implementado es la utilización de energías renovables en casos de estudios específicos tal y como lo realizan [26] y [27]. Por otra parte, [28] crea una propuesta para la implementación de puntos de recarga para VEs enfocándose en áreas residenciales (recarga lenta) y [29] realiza un análisis del desarrollo de las infraestructuras de carga para movilidad eléctrica integrando redes inteligentes. Ambas propuestas son implementadas de manera general.

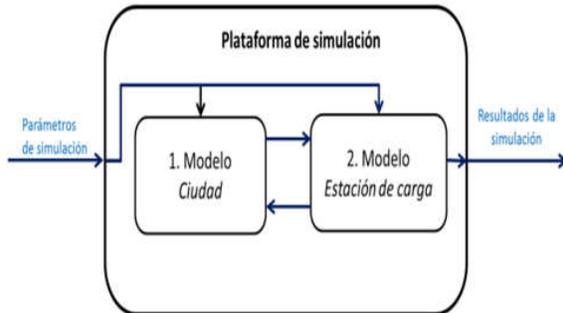
Para obtener una recopilación de información sobre el modelado de estaciones de recarga lenta, el estudio se basó en tres de los *softwares* expuestos en el subpunto 3.2, centrandolo el estudio en MATLAB por ser el más utilizado.

#### 3.3.1 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en MATLAB

El objetivo principal de MATLAB es ofrecer un entorno de desarrollo integrado utilizando un lenguaje de programación, razón principal por la cual es utilizado para modelar estaciones de recarga de VEs. Diversos autores muestran una inclinación hacia la utilización de Simulink de MATLAB debido a que ofrece un entorno más visual para el espectador.

El desarrollo de una estación de recarga lenta por medio de la utilización de *software* puede plantearse de distintas maneras. Autores de [30] utilizan un modelo conceptual que

representa el sistema de estudio y la construcción del modelo de simulación como se observa en la figura 2.



**Figura 1.** Representación planteada por los autores de [30] para la solución propuesta.

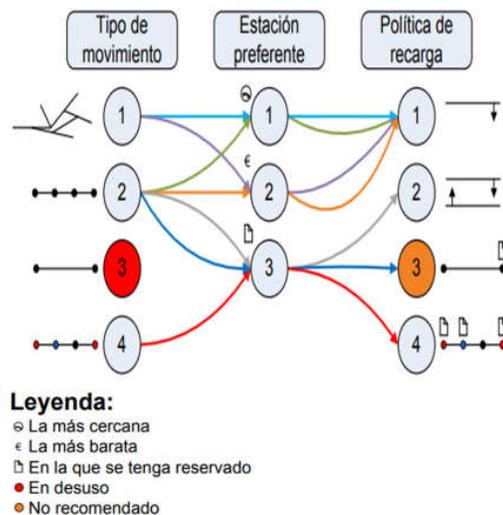
Fuente: [30].

El modelo situado en la figura 2 consta, según lo indica [30], de dos modelos: ciudad y estación de recarga, los cuales se detallan a continuación.

- Modelo ciudad:** Este modelo está basado en la utilización de la cadena de Márkov, la cual es un tipo especial de proceso discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende únicamente del evento anterior [31]. En él, cada vehículo se representa por medio de un vector de características que indica el estado del vehículo para todo instante de tiempo [30]. La actualización del estado de carga es realizada considerando el consumo promedio de energía, la capacidad de la batería y la distancia recorrida en un intervalo de tiempo determinado. Dicho estado de carga es calculado por los autores por medio de una ecuación. Para poder contemplar por completo la simulación se debe tener en cuenta que no todos los vehículos que lleguen a la estación de carga van con el mismo objetivo, por ende, si el usuario tiene la intención de realizar una recarga se le asignará un valor de estado de carga. Por otra parte, el sistema incluye otras características, como por ejemplo la capacidad de almacenamiento de la batería y el número de carros en la fila que el conductor está dispuesto a esperar para ser atendido.
- Modelo estación de recarga:** A diferencia del modelo ciudad, el modelo de la estación de carga está fundamentado en la teoría de sistemas de espera. Como su nombre lo indica, su función es ser un sistema de espera donde las entidades llegan para ser atendidas por un servidor. Considerando que el proceso de recarga toma tiempo, y además los conectores para realizar el proceso son finitos existe la probabilidad de que algunos vehículos deban realizar una fila en espera del servicio.

Para lograr un sistema organizado, los autores de [30] generan entidades por medio del uso de SIMIO, el cual es un *software* de modelado y animación en 3D de flujo de procesos por eventos discretos [32]. Dicho *software* lee los valores en un texto plano para luego ser exportados por el modelo de simulación implementado por MATLAB generando así nuevas entidades cada cierto tiempo. Con miras al buen funcionamiento del sistema, los autores tomaron en consideración medidas de desempeño para evaluar la plataforma de simulación tales como: tiempo promedio de espera, tiempo promedio en el sistema, potencia total consumida por la estación de carga como función del tiempo y utilización de la estación de carga como función del tiempo. Los resultados respecto al modelado presentado por [30] demuestran que sus objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente debido a que la plataforma permite estudiar el sistema y realizar las decisiones de dimensionamiento de la estación de recarga.

Por otra parte, [33] simula mediante la utilización de tres bloques dinámicos, el comportamiento de un vehículo eléctrico obteniendo así diversas características en entornos determinados como una montaña y una zona urbana. Se considera que el modelo puede resultar como una herramienta útil para establecer estrategias de gestión en redes inteligentes. Además, el documento notifica que el modelo puede ser utilizado como base para desarrollar herramientas de planificación, como se observa en [34], donde se crea un modelado con el interés de verificar cuándo el vehículo eléctrico debe recargarse (dirigirse a una estación), logrando determinar posibles comportamientos (ver figura 3).



**Figura 3.** Posibles comportamientos planteados por [34].

Fuente: [34].

La figura 3 muestra los posibles comportamientos planteados por los autores de [34]. Para proceder a elegir la estación a utilizar, el usuario debe basarse en los comportamientos planteados, considerando que el proceso de carga comienza cuando el vehículo llega a la estación donde se llevará a cabo.

Con respecto al simulador, el mismo dispone de un entorno gráfico en el cual se visualizan los vehículos desplazándose sobre el grafo que modela la región a estudiar además se observa el nivel de batería y el vector de la estación.

La simulación es realizada en tiempo discreto, interviniendo en ella dos elementos fundamentales: los vehículos y las estaciones de recarga. En cada instante de la simulación se sigue una secuencia de operaciones básicas descritas por [34], en donde se comprueba si el vehículo está en la estación, si hay que recargar, el inicio de la recarga, su recarga y finalmente su simulación. El modelado de los distintos parámetros con datos reales garantizó resultados factibles.

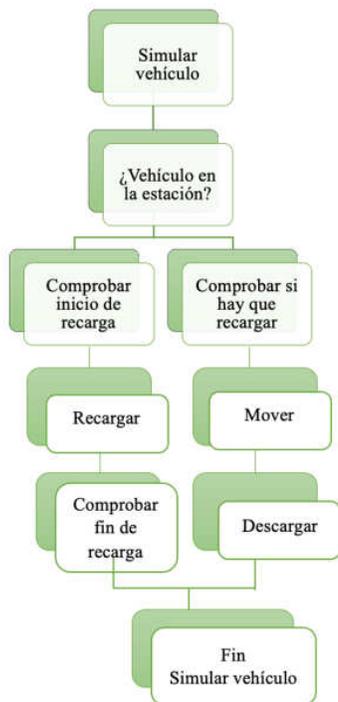


Figura 4. Secuencia del modelado planteado por [34].

Fuente: [34].

Como se ha observado, existen distintos métodos utilizados para la realización de modelados en ingeniería. Un método utilizado para la realización de modelados de VEs se basa en complementar dos *softwares* como en [35], donde MATLAB y

LpSolve son implementados para aplicar un modelo heurístico basado en un algoritmo para estaciones de carga publicas considerando flujos vehiculares y distancias máximas.

Para lograr el modelado, [35] estudia primeramente el sistema planteado en la figura 5, donde se destaca la importancia de diseñar una estación de recarga pública que no solo permita la operatividad de los VEs, sino que a su vez brinde la posibilidad de cubrir un mayor número de rutas. Otro punto que los autores consideran fundamental es el establecimiento de comunicaciones inalámbricas móviles con el objetivo de poder elegir la mejor opción a la hora de recargar el vehículo, haciendo mención a una menor distancia desde cualquier punto en el cual el vehículo eléctrico se encuentre.

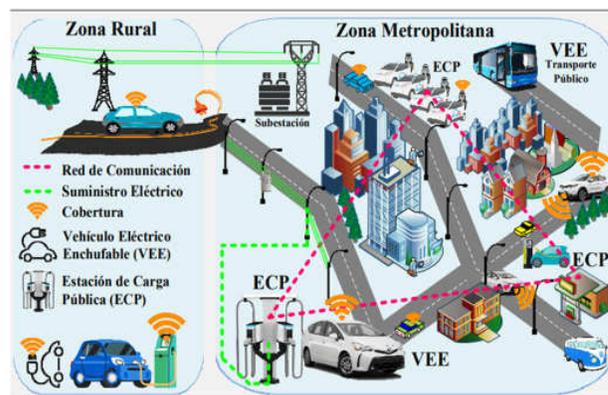


Figura 5. Modelo de infraestructura de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos (recarga pública).

Fuente: [35].

En cuanto a la implementación de modelados matemáticos y sistemas integrados en Simulink, [36] resalta su uso tomando en cuenta diversas ecuaciones que modelan los componentes de los VEs que estarán sometidos al proceso de recarga en las estaciones. Como resultado de tales estudios los mismos resaltan que uno de los inconvenientes encontrados de manera general es el alto costo de inversión que debe realizarse en el proceso. También existen modelados basados en eventos concretos como en [9], donde realizan el estudio de la virtualización de un vehículo eléctrico de inspección de cultivos. Los autores realizan una mezcla de AutoDesk Inventor (programa de diseño mecánico avanzado en 3D [37]) junto con MATLAB para obtener un modelo tridimensional lo más parecido posible al modelo real del vehículo eléctrico.

Muchos autores realizan este tipo de modelados, ya que consideran que el aumento de dichas flotas requiere la implementación y optimización de estaciones de recarga adaptadas, tal es el caso de [38] que simula una estación de

recarga para vehículos eléctricos e híbridos. Los algoritmos planteados se encargan de identificar la tecnología de la batería del vehículo para posteriormente realizar la recarga en periodos de tiempo cortos para no afectar el ciclo de vida útil de la batería (recarga lenta).

Para modelar el sistema, [38] utiliza una representación energética macroscópica implementando en la simulación una estación de recarga con paneles solares. El proceso fue realizado para los tres tipos de vehículos eléctricos e híbridos más vendidos en el mundo, estableciendo así una comparativa.

Para establecer las simulaciones se tomaron distintos horarios de recarga para cada tipo de vehículo dando como resultado una cantidad mínima de pérdidas y una alta eficiencia.

En la figura 6 se observa el modelado que realizaron los autores de [38] mediante el uso de Simulink.

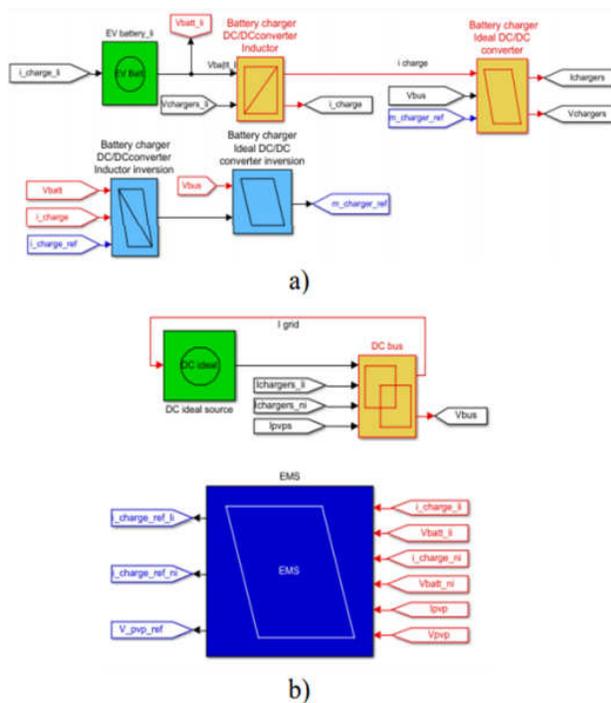


Figura 6. Modelo de la estación de recarga con el uso de Simulink. Fuente: [38].

Unido al uso de Simulink, [39] presenta el estudio de un modelo específico de vehículo eléctrico (Nissan Leaf). Al igual que [38], se utiliza la representación energética macroscópica (EMR) con el objetivo de tener un modelado en tiempo real, además de poder observar el manejo de energía de sistemas. Los resultados de [39] indican que uno de los principales

inconvenientes son los problemas que se generarían a la red eléctrica, ya que las recargas de las baterías a gran escala ocasionan un gran nivel de consumo eléctrico.

Con base a lo anterior, se ha mencionado que una de las mayores deficiencias de la tecnología de los VEs es el elevado costo de las baterías y la autonomía en la recarga de las mismas. Por ello, en [40], los autores plantean un estudio con el objetivo de desarrollar un procedimiento operativo de diseño, simulación y análisis que consoliden la autonomía de los vehículos y su estado de recarga. De igual forma, en [41] se modelan diferentes escenarios de rango, demostrando que la selección adecuada del tipo de vehículo eléctrico puede aumentar su alcance, contribuyendo así al adecuado uso de las estaciones de recarga lenta.

Para finalizar, anteriormente se planteó que existen *softwares* enfocados en simulaciones específicas de VEs. En el caso de MATLAB, existen herramientas desarrolladas únicamente para tales fines. Un ejemplo está en [42], el cual puede configurar diversos elementos de los VEs. Su objetivo principal es simular todos los componentes de un vehículo eléctrico y determinar respuestas con base a los datos obtenidos.

### 3.3.2 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en LabVIEW

LabVIEW es utilizado también para el modelado de VEs debido a su enfoque de programación gráfica que ayuda a visualizar distintas aplicaciones, no obstante, su utilización en este tipo de modelado es en menor escala respecto a MATLAB.

En [43], se desarrolla una *software* que sirve como herramienta de simulación para el diseño conceptual de VEs y todo lo que ha ello concierne, enfocados en energía solar. Por medio del uso de LabVIEW, los autores de [43] crearon una carpeta de seis pestañas donde aparece la introducción al *software*, instrucciones, gestión de energía, entre otros aspectos que garantizan la fiabilidad de las distintas simulaciones que se realicen. Los resultados de las simulaciones se pueden observar en tiempo real, en instrumentos de medición y gráficos situados en el modelado. Además, los datos de entrada se pueden almacenar para luego guardarlos.

Al igual que [43], existen distintos simuladores ya implementados por LabVIEW para realizar modelados de VEs.

### 3.3.3 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en AnyLogic

AnyLogic es otro *software* que incluye un lenguaje gráfico y permite que sus usuarios puedan ampliar modelos de simulación, razón por la cual es utilizado en modelados de VEs.

En [44], se describe cómo los VEs son compatibles con las bajas emisiones de carbono, considerando por tal motivo, la

construcción de más estaciones de recarga para satisfacer la demanda de carga diaria. Los autores se encargan de simular el servicio de programación de recursos de las estaciones de recarga, además de los tiempos de mantenimiento de las baterías en las ganancias de una estación de recarga de VEs.

El modelo de [44] consiste en los diferentes recursos que una estación de recarga posee, entre estos: mantenimiento de equipo, reparación de equipo y reemplazo de equipo. Con base a los tres recursos descritos el sistema actuará. El modelado realizado en AnyLogic se desarrolló para construir equipos y modelos en los trabajadores. Además de los recursos descritos, los autores modelaron distintos equipos con el objetivo de evaluar y minimizar las afectaciones que pueden darse en el uso de los mismos en las estaciones de recarga.

Los resultados finales de las simulaciones demuestran que el modelado cumple con su funcionamiento, además se aclara que con base a los datos obtenidos es posible calcular los ingresos de las distintas estaciones de recarga por un periodo prolongado de tiempo.

#### 4. Discusión

Es de importancia destacar que los VEs han avanzado con el pasar de los años, considerándose actualmente como un objeto clave para la reducción de la contaminación ambiental producida por los gases nocivos producto de los vehículos con motores de combustión interna.

Con la revisión del estado del arte realizada se tuvo en consideración la extensión de la vida útil del vehículo, por ende, se tomó en cuenta el estudio del modelado de estaciones de recarga lenta de VEs mediante la utilización de *software*. Esto a su vez permitió que se extrajera información importante sobre las estaciones de recarga que representa uno de los factores predominantes en los VEs.

Los resultados obtenidos en este documento indican que la recarga lenta, por su parte, además de ser la más confiable es la más sencilla de realizar debido a que la misma puede adecuarse a un domicilio. Por otra parte, a un nivel más específico la realización de modelados está tomando un mayor auge debido a las múltiples ventajas que trae consigo a la hora de implementar la realización de una estación de recarga en cualquier punto de un país o ciudad.

Finalmente, con la realización de esta revisión del estado del arte se propuso obtener información invaluable sobre un tema que impacta grandemente al ambiente y a los usuarios o posibles usuarios de este tipo de vehículos. Como trabajo futuro se espera la realización una investigación más profunda que permita establecer una comparativa entre los distintos tipos de recarga y su impacto en el ser humano y el ambiente, enfocada en la visualización de manera real de una estación de recarga.

#### 5. Conclusiones

Los VEs traen consigo grandes beneficios para el ser humano y el ambiente, no obstante, actualmente hay muchos factores que influyen en su completa implementación debido a la autonomía alcanzada. Por ello, en los últimos años se han aumentado los puntos de recarga eléctrica para dichos vehículos en diversos países. A continuación, se detallarán las conclusiones obtenidas con la realización de esta revisión literaria:

- El modelado de estaciones de recarga de VEs mediante *software* es utilizado como una herramienta que permite la visualización del entorno que se desea construir en un futuro.
- Los modelados de estaciones de recarga de VEs son desarrollados desde distintos puntos de vista, permitiendo observar simulaciones que evalúan desde modelos generales hasta reducciones específicas enfocadas únicamente a las baterías de los vehículos.
- Los resultados planteados por los diversos autores citados en este documento revelan que la implementación de modelados previo a la realización de la estructura generará una reducción en costos y tiempo de producción.
- La implementación de sistemas con energías renovables (solar, eólica, etc) en los modelados representa una ventaja en la evaluación final de los resultados que se establezcan.

#### AGRADECIMIENTOS

Y. Sáez y E. Collado, agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá por proporcionar financiamiento parcial para su participación en la elaboración de este artículo.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

#### REFERENCIAS

- [1] F. Martín Moreno, «Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos,» 26 Febrero 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Silvina\\_Elias/publication/305046323\\_Internationalization\\_of\\_Higher\\_Education\\_in\\_the\\_light\\_of\\_some\\_indicators/links/59073f2b4585152d2e98e92a/Internationalization-of-Higher-Education-in-the-light-of-some-indicators.pdf#p](https://www.researchgate.net/profile/Silvina_Elias/publication/305046323_Internationalization_of_Higher_Education_in_the_light_of_some_indicators/links/59073f2b4585152d2e98e92a/Internationalization-of-Higher-Education-in-the-light-of-some-indicators.pdf#p). [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [2] M. García, «Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos,» 2015. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398996.pdf>. [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [3] Fundación Wikimedia, Inc., «Simulink,» 16 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulink>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].

- [4] A. Expósito Gómez y J. M. Ortega Maza, «Sistema de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico,» 2019. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6932911>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [5] J. M. Hernández y N. González, «Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico,» *Observatorio medioambiental*, vol. XVIII, pp. 57-85, 2015.
- [6] M. C. Q. A y A. J., «Algoritmo de gestión para la recarga de vehículos eléctricos,» 2015. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371455>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [7] D. Ramírez y J. Laverde, «Desarrollo de estación de carga de vehículos eléctricos,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/articloe/view/2532>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [8] M. Merino Tuya, «Simulación eléctrica de líneas ferroviarias electrificadas para el diseño de un sistema de almacenamiento de energía para la recarga de vehículos eléctricos,» España.
- [9] G. Moreano, «Modelado y virtualización de un vehículo eléctrico autónomo de inspección de cultivos,» Madrid, 2017.
- [10] P. Olivella Rosell, «Modelado de la demanda de carga lenta y rápida de vehículos eléctricos para el estudio de impacto en la red de distribución,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20535>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [11] M. García Alunda, «Estudio sobre la viabilidad del vehículo eléctrico,» 27 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://addi.ehu.es/handle/10810/18993>. [Último acceso: 1 Febrero 2020].
- [12] I. L. Valera Roás, «Los Vehículos Eléctricos,» 25 Noviembre 2011. [En línea]. Available: [https://www.nebrija.com/la\\_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligue/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf](https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligue/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf). [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [13] C. Fernández Lanchares, «Simulación de vehículos eléctricos,» 2018. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/30571>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [14] L. D. Espinosa Pardo, «Estudio de las estaciones de carga para vehículo eléctrico particular para aplicaciones hogar, trabajo, parqueaderos en carga lenta y rápida,» 31 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14969/u615541.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [15] L. A. Gualpa Tasinchana y C. O. Tenemaza Guanga, «Construcción de una electrolinera para vehículo eléctrico de carga domiciliaria lenta,» Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6818>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [16] C. Huangal, «Modelamiento mediante software,» 14 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/CristhianJOscoHuang/modelamiento-software>. [Último acceso: 7 Febrero 2021].
- [17] The MathWorks, Inc., «MATLAB (Math Works),» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [18] The MathWorks, Inc., «MathWorks (Simulink),» 2021. [En línea]. Available: [https://la.mathworks.com/products/simulink.html?s\\_tid=hp\\_ff\\_p\\_simulink](https://la.mathworks.com/products/simulink.html?s_tid=hp_ff_p_simulink). [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [19] National instrument CORP, «¿Qué es LabVIEW?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [20] Fundación Wikimedia, Inc., «AnyLogic,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>. [Último acceso: 9 Febrero 2021].
- [21] Wikimedia Foundation, Inc., «CPLEX,» 19 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/CPLEX>. [Último acceso: 9 Febrero 2021].
- [22] AVL CRUISE™, «AVL CRUISE™ (Equilibrio entre rendimiento, eficiencia y emisiones,» [En línea]. Available: <https://www.avl.com/cruise>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [23] VECTOR V, «Pruebas automatizadas de conformidad e interoperabilidad para vehículos eléctricos,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.vector.com/int/en/products/products-az/software/canoe-test-package-ev/>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [24] M. F. Narvárez, «Ubicación de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en sistemas de distribución usando una técnica heurística,» Colombia, 2019.
- [25] Significados.com, «Significado de Heurística,» [En línea]. Available: <https://www.significados.com/heuristica/#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20Heur%C3%ADstica%3A&text=La%20heur%C3%ADstica%20es%20vista%20como,creatividad%2C%20pensamiento%20divergente%20o%20lateral.> [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [26] A. Rodríguez y E. Hernández, «Acondicionamiento de un aparcamiento para la recarga de vehículos eléctricos e híbridos,» España, 2016.
- [27] Á. Barbero, «Sistema autónomo para carga de baterías mediante una instalación fotovoltaica con aplicación directa al vehículo eléctrico y otros usos,» Madrid, España, 2015.
- [28] M. Rodríguez, «Caso de estudio para la instalación y puesta en marcha de cargadores para carros eléctricos enfocados a vivienda para venta o arriendo del suministro,» Bogotá, 2020.
- [29] E. Fernández Palomeque y M. Coello Salcedo, «El Vehículo Eléctrico Análisis de su Infraestructura de Carga y su Integración a una Smart Grid,» *I+D+i sostenibilidad energética*, 2016.
- [30] D. F. Ardila Palomino, «Desarrollo de una plataforma de simulación para el diseño de una central de carga de vehículos eléctricos,» Colombia, 2013.

- [31] Fundación Wikimedia, Inc., «Cadena de Márkov,» 17 Febrero 2021. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cadena\\_de\\_M%C3%A1rkov#:~:ext=En%20la%20teor%C3%ADa%20de%20la,nombre%20de%20propiedad%20de%20Markov..](https://es.wikipedia.org/wiki/Cadena_de_M%C3%A1rkov#:~:ext=En%20la%20teor%C3%ADa%20de%20la,nombre%20de%20propiedad%20de%20Markov..) [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [32] Galileo Universidad, «Simio, un software para analizar simulaciones de sistemas,» 11 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.galileo.edu/trends-innovation/simio-software-analizar-simulaciones-sistemas/#:~:text=Simio%20es%20un%20software%20de,para%20sus%20estudiantes%20lo%20utilicen..> [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [33] FuturEnergy, «Modelado y caracterización de un vehículo eléctrico utilizando MATLAB,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.futureenergyweb.es/pdf/articulos/2015-09/FuturEnergy-Sept15\\_29-32.pdf](http://www.futureenergyweb.es/pdf/articulos/2015-09/FuturEnergy-Sept15_29-32.pdf). [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [34] D. Tejero y E. Camacho, «Simulador de vehículos eléctricos en MATLAB,» vol. XXXVI, pp. 495-501, 2015.
- [35] M. Campaña y E. Inga, «Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes,» *i+D tecnológico*, vol. XV, n° 2, pp. 68-78, 2019.
- [36] G. Perelmuter, L. Mathé, E. Moschen y P. Muñoz, «Dimensionamiento y Modelado de un Vehículo Eléctrico Propulsado por Pilas de Combustible. Análisis Económico y de Factibilidad,» *Revista facultad de ciencias exactas, físicas y naturales*, vol. I, n° 1, pp. 59-66, 2014.
- [37] S. Álvarez, «AUTODESK INVENTOR un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D,» 23 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>. [Último acceso: 27 Febrero 2021].
- [38] C. Aparicio, L. Pérez y J. Solano, «Simulation of an EV-HEV charging station for multichemistry batteries using Energetic Macroscopic Representation (REM),» *SICEL*, pp. 1-6, 2017.
- [39] J. Clairand y J. Vera, «Modelado de Vehículo Eléctrico en un Trayecto Típico de la Ciudad de Quito,» *Revista Politécnica*, vol. XXXVI, n° 1, 2015.
- [40] S. VimalRa, G. Suresh Kumar, T. Sunil y K. Nithiyanthan, «MATLAB/SIMULINK Based Simulations on State of Charge on Battery for Electrical Vehicles,» *Journal of Green Engineering (JGE)*, vol. IX, pp. 256-266, 2019.
- [41] G. Maaz Mufti, M. Ur Rehman y A. Basit, «Modelling and Simulation of the Electrical Vehicle Using Matlab and Verifying it by Driving Cycles,» *International Journal of Engineering & Technology*, vol. VII, pp. 871-875, 2018.
- [42] National Renewable Energy Laboratory, «Simulación del consumo de un vehículo eléctrico usando ADVISOR (MATLAB) en entornos urbanos,» [En línea]. Available: [https://miaulario.unavarra.es/access/content/group/2020\\_CC\\_245/Propuestas%20TFG/tfg%20advisor.pdf](https://miaulario.unavarra.es/access/content/group/2020_CC_245/Propuestas%20TFG/tfg%20advisor.pdf). [Último acceso: 1 Marzo 2021].
- [43] C. Álvarez Arocha, «Herramienta de Simulación para el Diseño Conceptual de Vehículos Eléctricos y Solares,» [En línea]. Available: <https://forums.ni.com/t5/Academia-en-Latinoam%C3%A9rica/Herramienta-de-Simulaci%C3%B3n-para-el-Dise%C3%B1o-Conceptual-de-Veh%C3%ADculos/tap/3880688?profile.language=es>. [Último acceso: 16 Febrero 2021].
- [44] D. Gong, M. Tang, S. Liu, G. Xue y L. Wang, «Achieving sustainable transport through resource scheduling: A case study for electric vehicle charging stations,» *Advances in Production Engineering & Management*, vol. XIV, n° 1, pp. 65-79, 2019.

# Identificación de ambientes de aprendizaje en la Universidad Tecnológica de Panamá motivado por la pandemia de la *COVID-19*

## Identification of the learning environments in the Technological University of Panama motivated by the Covid-19 pandemic

Ana Ríos<sup>1</sup>, Oscar Ríos<sup>1</sup>, Ignacio Chang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Sistemas de Control Inteligente e Informática Industrial, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** El objetivo de este trabajo es identificar metodologías y herramientas tecnológicas utilizadas en la Universidad Tecnológica de Panamá para crear espacios de aprendizaje que vayan acorde con la educación de nivel superior y con los retos actuales de la sociedad en la solución de sus problemas, por ende, es una revisión bibliográfica y del estado de la práctica en la institución. En este estudio, se aplicó una encuesta a profesores de todas las facultades en el Campus Central de la Universidad Tecnológica de Panamá para conocer las técnicas aplicadas en los cursos, las opiniones sobre estas y el conocimiento sobre técnicas aplicadas por sus colegas.

**Palabras clave.** Ambientes de aprendizaje, *COVID-19*, herramientas tecnológicas, metodología de aprendizaje.

**Abstract.** This work seeks to identify the methodologies and technological tools used by the Technological University of Panama to create learning spaces that are consistent with the current challenges of society and the solution of their problems; therefore, it is a bibliographic review and of the state of practice in the institution. In this study, a survey was applied to professors of all the faculties in the Central Campus of the University to know the techniques applied in the courses, the opinions about them, and the knowledge about techniques applied by their colleagues.

**Keywords.** Learning environments, COVID-19, technological tools, learning methodology.

## 1. Introducción

La educación juega un papel fundamental en el desarrollo de los países porque forma al individuo y le brinda las herramientas necesarias para forjar su futuro y reducir la pobreza.

Sin embargo, lo anterior implica que los países se desarrollen con las altas tasas de crecimiento y escasas políticas públicas que aseguren salud y educación de la población, por ende, ¿cómo lograr los cambios y transformaciones en América Latina, que se considera la región más desigual del mundo, con grandes contrastes, insuficiencias e injusticias? Panamá no escapa a esta realidad.

Una manera en que las Instituciones de Educación Superior (IES) pueden contribuir positivamente en estos cambios y transformaciones es mediante la mejora de los ambientes de aprendizaje, el espacio donde los estudiantes interactúan, bajo condiciones y circunstancias propicias para la generación de

experiencias de aprendizaje significativo y con sentido. Esto es así porque los procesos de cambio y transformaciones sociales con base en la innovación tecnológica generan una nueva relación tecnología-sociedad que determina las relaciones tecnología-educación [1]. Pero la pandemia de la *COVID-19* y la rapidez de estos cambios ha agravado la situación, entonces, ¿cómo mejorarlos?

Esta nueva situación impone soluciones creativas, de allí que se requiere de ambientes innovadores necesarios para modificar elementos del proceso educativo, con el objetivo de que los cambios en educación, a cualquier escala, sean duraderos y efectivos. Esto es con la finalidad de que se vuelvan parte fundamental de los procesos que, por medio de una mejora continua, contribuyan a los avances en educación y los cambios que la sociedad demanda.

Por ello, es importante que las IES tengan información sobre sus principales características y tipos de herramientas

utilizadas porque son la base de los procesos de aprendizaje que permiten intensificar la formación en los estudiantes.

Este trabajo busca identificar las metodologías y herramientas tecnológicas utilizadas en la Universidad Tecnológica de Panamá, para crear espacios de aprendizaje que vayan acorde a los retos actuales de la sociedad y la solución de dichos problemas en las condiciones actuales de pandemia por la *COVID-19*.

De esta manera, los ambientes de aprendizaje crean las condiciones para una participación y permanente de los estudiantes, desde la co-construcción del conocimiento hasta la constitución de comunidades de aprendizaje con propósitos y responsabilidades comunes donde puedan identificarse como parte de un colectivo. Esto implica seres humanos dispuestos al cambio, que generen nuevas experiencias y tengan la capacidad de adaptabilidad suficiente para construir y reconstruir su aprendizaje. Valdría la pregunta ¿qué criterios existen para el diseño de ambientes de aprendizaje? Según [2] “no hay un solo tipo de criterio para diseñar ambientes de aprendizaje en IES, por cuanto la presencia de las características básicas identificadas en un determinado contexto universitario hace necesaria la presencia de diversos tipos de indicadores”. La sociedad demanda en todos los ámbitos, seres humanos que estén dispuestos al cambio, que generen nuevas experiencias y tengan la capacidad de adaptabilidad suficiente para construir y reconstruir su aprendizaje.

El artículo presenta la caracterización de los ambientes de aprendizajes en la sección 2. En la 3 se describen las metodologías más empleadas. La sección 4 trata sobre ambientes de aprendizaje innovadores, luego una breve descripción relacionada con la estrategia de aprendizaje, y por último, discusión, comentarios finales y agradecimientos.

## 2. Caracterización de los ambientes de aprendizaje

En lugar de describir un sinnúmero de metodologías y técnicas de innovación en aprendizaje, es preferible resaltar características que sean comunes a diversas metodologías y que ayuden directamente a crear ambientes de aprendizaje innovadores. A continuación, se describen los elementos esenciales para la innovación en los ambientes de aprendizaje [3].

### 2.1 Espacios físicos

Para lograr ambientes de aprendizaje innovadores no basta solo con adaptar los planes de estudio y actividades que realizan los estudiantes, sino que es necesario que los espacios

físicos vayan acorde a la metodología y filosofía de la institución.

Aunque implementar nuevas metodologías en un salón de clases o infraestructura tradicional es un paso en la dirección correcta, no es una práctica totalmente efectiva ya que la rigidez de los espacios tradicionales no permiten a los instructores implementar otras pedagogías que involucren en mayor medida a los estudiantes [4], manteniéndose así el hábito de colocar a los instructores en el centro de los espacios de aprendizajes.

Por ello, es necesario diseñar espacios que permitan, promuevan y reflejen la naturaleza interdisciplinaria de las metodologías de aprendizaje innovadores. Estos espacios se caracterizan por diseños de espacios abiertos, con más áreas comunes para los estudiantes donde puedan colaborar en los trabajos que están desarrollando.

Así entonces, la infraestructura deberá diseñarse en conjunto con los instructores para asegurar que los espacios cumplan con las necesidades de las nuevas metodologías a incorporar.

Es importante destacar que en las condiciones de la pandemia por la *COVID-19* se requiere que haya acceso remoto a los laboratorios, es decir, estas infraestructuras deben ser accesible remotamente. Así como también la utilización de la modalidad semipresencial o híbrida.

### 2.2 Los estudiantes en el centro del aprendizaje

Hablando de metodologías de aprendizaje innovadoras y, más específicamente, del aprendizaje basado en proyectos, una característica invariable es que los estudiantes son los dueños de su aprendizaje y está en ellos establecer los objetivos que les permitirán completar el proyecto propuesto [5].

De esta manera, los instructores se mantienen en una posición de guía, en la que indican a los estudiantes lo que se espera que logren y en qué momento deberán lograrlo. A lo largo del desarrollo del trabajo o proyecto, los estudiantes deberán indicar al instructor el avance que han tenido y cómo esperan lograr lo que les haga falta.

Para lograr esto, la comunicación es un elemento clave en el aprendizaje basado en proyecto, pues debe existir una buena comunicación entre los miembros del equipo de trabajo para identificar los problemas y encontrarle soluciones; así como un intercambio efectivo con el instructor para comunicar claramente los avances y posibles problemas y que este pueda dar la guía apropiada [6].

Convertir a los estudiantes en actores de su aprendizaje les brinda la oportunidad de dar forma a sus carreras futuras participando en situaciones reales y creando soluciones a los problemas u oportunidades que ahí se les presentan. También,

es importante que los estudiantes hagan preguntas pertinentes, por lo tanto, el docente debe facilitar las condiciones para que este hecho ocurra.

### 2.3 Aprendizaje digital

Una tendencia creciente en los últimos años es el aprendizaje digital y la digitalización de los procesos y, aunque es la aplicación que más se observa, la digitalización no se trata únicamente de incorporar plataformas y ambientes de aprendizaje en línea como Moodle, sino que es el uso de nuevas tecnologías como la realidad aumentada, la visualización 3D, entre otras [7].

Un estudio realizado sobre el uso de herramientas de aprendizaje digital en la educación superior indicó que los profesores no se oponen a la innovación e introducción de nuevas tecnologías en los salones de clase, pero sugieren que estas herramientas sean utilizadas en conjunto con métodos tradicionales, para mantener a los estudiantes involucrados y motivados, gracias a la variación [8].

## 3. Metodologías más empleadas

Con el objetivo de determinar las metodologías empleadas en la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) y poder calificarlas como pertenecientes a ambientes de aprendizaje, o no, se realizó una encuesta a un grupo de profesores de todas las facultades de la UTP para recabar información sobre las técnicas aplicadas, sus opiniones y el conocimiento sobre éstas por los colegas.



**Figura 1.** Metodologías de aprendizaje más aplicadas en la Universidad Tecnológica de Panamá.

Los resultados de esta encuesta indicaron una tendencia a la combinación de metodologías, como las que se muestran en la figura 1, lo que indica que los docentes hacen uso de diversos recursos para abordar los temas del curso y fomentar el aprendizaje.

En cuanto a los estudiantes, el uso de estas metodologías implica que adquiera la habilidad de investigar para dar solución a los trabajos que se les presentan, así como buenas habilidades de comunicación verbal y escrita, para presentar sus resultados y compartir claramente las dudas que les surjan, que el profesor pueda ayudar a resolver o guiar en el camino a la solución.

Se observa claramente que la metodología más utilizada es el método expositivo, también llamado tradicional, en el que los profesores dictan el curso, exponiendo los conceptos y aplican prácticas para su afianzamiento. Si bien la mayoría de los docentes tienden a utilizar el método expositivo, lo usan combinado con otras metodologías como el Aprendizaje con Base en Proyectos (ABP) o el aprendizaje por investigación.

Se destacan también como más empleadas el ABP, seguido del aprendizaje por investigación y el aprendizaje colaborativo. Se hace énfasis en que se dejó a consideración de los docentes las diferentes técnicas que ellos aplicaban, por eso los porcentajes que aparecen en la figura. Sin embargo, no se puede establecer la frecuencia en que aplican los otros métodos diferentes al expositivo.

Un ejemplo de aplicación del método ABP es el que se emplea en el curso denominado Proyecto de Ingeniería, en donde los estudiantes desarrollan proyectos o elaboran propuestas de proyectos a ser culminados al finalizar el semestre. Tal es el caso de la figura 2, donde se muestra un grupo de estudiantes realizando mediciones, durante el segundo semestre 2019 [9].

Los estudiantes elaboraron de manera presencial la propuesta “Proyecto de estacionamientos fotovoltaicos” en la unidad administrativa Dirección General de Ingeniería y Arquitectura (DGIA). En el 2020, otro grupo trabajó de manera no presencial para presentar una propuesta de proyecto sobre conectividad [10] para la Organización de Base Comunitaria Ecoturismo La Yeguada OBC como se muestra en la figura 3. Igualmente, otro grupo hizo trabajo en una propuesta para el Corregimiento de Bethania relacionado con la movilidad y videovigilancia urbana.

En estos casos se busca relacionar la teoría y la práctica de modo que se aproveche el capital intelectual del alumno para lograr así el proceso educativo, donde se pueda conducir al estudiante para que utilice su conocimiento para resolver problemas, por eso, es importante que tanto el docente como



Es un programa que se gestiona desde una unidad académica como plan piloto, que cuenta con el apoyo de docentes de varias unidades académicas y de unidades administrativas como la Dirección de Gestión y Transferencia del Conocimiento (DGTC) que aporta el entrenamiento en emprendimiento a los participantes en caso de requerirlo.

Además, refuerza en los estudiantes la capacidad de trabajo en equipo, la multidisciplinariedad, la creatividad e innovación y responsabilidad social.

Esto es así porque se busca la generación de soluciones tecnológicas a partir de los problemas que afecten a comunidades y a la sociedad civil organizada de Panamá. Pero también, puede ejecutarse de manera presencial o no.

Este programa tiene como limitación el hecho de que la selección de los equipos de trabajos, formados por docentes, investigadores y estudiantes, se conforman de manera presencial-participativa. Se tiene programado automatizar este proceso.

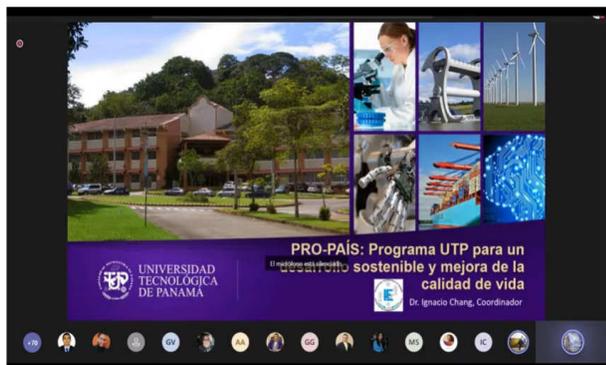


Figura 4. Lanzamiento de PRO-PAÍS.

## 5. Estrategias de aprendizaje

No se quiso dejar por fuera lo relacionado con la estrategia de aprendizaje diseñada y su papel en un curso en particular. En este caso, se consideró un curso de pregrado durante el segundo semestre de 2019, cuyas conclusiones se pueden extrapolar al mismo curso, pero de manera no presencial. Al final de este, a los estudiantes se les realizó una encuesta cuyo propósito era evaluar la estrategia de aprendizaje empleada (ver figura 5).

En el desarrollo del curso se empleó como estrategia el método ABP. De esta manera, cada uno de los encuestados presentó su idea del por qué este método como estrategia era importante.

Ellos llegaron a las siguientes conclusiones: (a) hace al aprendiz sentirse en el ámbito laboral, (b) implica un reto

realista y de uso práctico, (c) les permite el desarrollo de diversas habilidades, (d) es enriquecedora académicamente y, (e) fomenta la investigación y posibilita la aplicación de conocimientos.

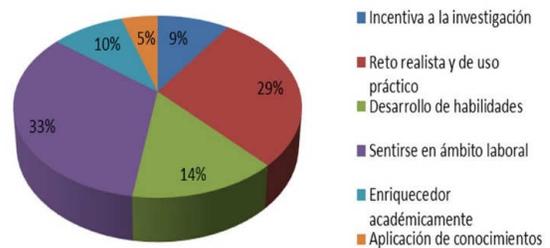


Figura 5. Importancia de la estrategia de aprendizaje.

Se destaca el hecho que la estrategia, en cierta forma, busca que se aplique lo aprendido durante la carrera para la búsqueda de una alternativa de solución de un problema real, del día a día y que pueda ser de base tecnológica.

## 6. Discusión y comentarios finales

En primer lugar, el estudio realizado en la UTP resalta la introducción de nuevas metodologías junto con los métodos tradicionales como un primer paso hacia la creación de ambientes de aprendizaje innovadores.

La metodología que se destacó como más utilizada fue el método expositivo seguida de la metodología de aprendizaje basado en proyectos.

Entre las herramientas tecnológicas para gestionar un ambiente de aprendizaje innovador se incluyeron *softwares* de aplicación como MATLAB, plataformas virtuales como MOODLE y herramientas colaborativas como TEAMS, libros digitales, videos y otros recursos.

Se encontró también que, a pesar de las capacitaciones dirigidas a los docentes sobre metodologías activas, la aplicación de estas es de carácter abierto y desconocen lo que hacen otros colegas, lo que dejó evidenciado claramente el escaso trabajo colaborativo entre los profesores.

El curso de Proyecto de Ingeniería es un ejemplo en donde los estudiantes desarrollaron diferentes proyectos o elaboran propuestas de proyectos en grupo de manera presencial o no, utilizando principalmente el ABP.

Como recomendación, se sugiere el apoyo de un plan globalizado dentro de la UTP, para poder crear verdaderos ambientes de aprendizaje innovadores caracterizados por la interdisciplinariedad, con la colaboración de profesores y departamentos para crear experiencias conjuntas que amplíen

los horizontes de los estudiantes, en otras palabras, transformando a la UTP en un laboratorio experimental.

Se recomienda realizar un estudio sobre el sistema de evaluación más adecuado para estos métodos de aprendizaje.

Se continuará realizando encuestas con los profesores, estudiantes, etc., para observar la tendencia en el uso de las metodologías de aprendizajes, y así hacer un análisis evolutivo y con mayor población de la forma de enseñar en la UTP.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los participantes de la encuesta por compartir sus opiniones e ideas que permitieron el desarrollo de este trabajo. Al grupo de investigación Sistemas de Control Inteligente e Informática Industrial de la Facultad de Ingeniería Eléctrica por su apoyo en el diseño y realización de la encuesta. Igualmente, al Dr. Héctor Montes por la revisión y sugerencias brindadas para fortalecer el documento.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Salinas, J. (1997). Nuevos ambientes de aprendizaje para una sociedad de la información. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 20(1), 81-104
- [2] Felipe Bravo, Olga Lucía León, Jaime Romero, Gabriela Alfonso Novoa y Harvey López (2018). Ambientes de aprendizaje. *Acacia Cultiva: Equipo Metodología. Ambientes de Aprendizaje. Accesibles y con Afectividad AAAA*. Disponible en [https://acacia.red/udfjc/wp-content/uploads/sites/5/2018/07/Fundamento\\_conceptual\\_Ambientes\\_de\\_aprendizaje\\_para\\_la\\_Metodolog%C3%ADa\\_AAAA.pdf](https://acacia.red/udfjc/wp-content/uploads/sites/5/2018/07/Fundamento_conceptual_Ambientes_de_aprendizaje_para_la_Metodolog%C3%ADa_AAAA.pdf)
- [3] R. French, W. Imms y M. Mahat, (2019) "Case studies on the transition from traditional classrooms to innovative learning environments: Emerging strategies for success" *Improving Schools*, vol. 23, n° 2, pp. 175-189
- [4] T. Byers, W. Imms y E. Hartnell-Young (2018) "Comparative analysis of the impact of traditional versus innovative learning environment on student attitudes and learning outcomes" *Studies in Educational Evaluation*, vol. 58, pp. 167-177.
- [5] R. G. Hadgraft y A. Kolmos (2020) "Emerging learning environments in engineering education" *Emerging learning environments in engineering education*, vol. 25, n° 1, pp. 3-16.
- [6] J. Uziak, (2015) "A project-based learning approach in an engineering curriculum" *Global Journal of Engineering Education*, vol. 18, n° 2, pp. 119-123.
- [7] L. Buus, (2016) "From Website to Moodle in a Blended Learning Context" *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, vol. 11, n° 1, pp. 51-64
- [8] M. Xiang Ying, E. Aas y M. Medgard (2019) "Teachers' use of digital learning tool for teaching in higher education: Exploring teaching practice and sharing culture" *Journal of Applied Research in Higher Education*, vol. 11, n° 3, pp. 522-537
- [9] Choy, E (2019) *Apolo Solar: Proyecto de estacionamientos fotovoltaicos*. Departamento de Ingeniería de Control e Instrumentación. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, 2019
- [10] Alveo, David, Ayarza, Marelin, De Gracia, Stalyn, Villarreal, Armando (2020) "Diseño de una red inalámbrica para ofrecer servicio de internet en La Yeguada". Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Ingeniería de Instrumentación y Control. Diciembre 2020
- [11] Rosario, Jimmy (2006) "TIC: Su uso como Herramienta para el Fortalecimiento y el Desarrollo de la Educación Virtual". Disponible en el archivo del Observatorio para la CiberSociedad en <http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo.php?art=221>
- [12] Chang, I., Hall, E., (2017), "INTEGRA ME: Un modelo para gestionar la investigación y fortalecer los conocimientos en una unidad académica universitaria" 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education", 19-21 July 2017, Boca Raton FL, United States
- [13] Fukuda, K. (2020) "Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0" *International Journal of Production Economics*. February 2020. (vol 220 Article 107460)
- [14] Gobble, M. (2014) "Charting the Innovation Ecosystem. *Research-Technology Management, RTM*" (vol 57 (4), pp 55-59)
- [15] Reid, H. (2020). (Rep.) "Ecosystem- and community- based adaptation: learning from natural resource management". International Institute for Environment and Development. Retrieved August 23, 2020, Available from <http://www.jstor.org/stable/resrep01585>
- [16] OEA (s.f.) (2020) "Ecosistemas de aprendizaje: una propuesta para abrir los ambientes de aprendizaje". OEA, portal educativo para las américas. Innovación educativa. Tecnologías TIC didácticas 2.0. Tomado el 22 de agosto de 2020 de <https://www.recursoportaleducoas.org/publicaciones/ecosistemas-de-aprendizaje-una-propuesta-para-abrir-los-ambientes-de-aprendizaje>
- [17] SCIII. (2020) "Lanzamiento del Programa PRO-PAIS" Canal youtube. Grupo de investigación Sistemas de Control Inteligente e Informática Industrial (SCIII). Universidad Tecnológica de Panamá. Agosto 2020. Disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=EO\\_4y0yBXX0&t=441s](https://www.youtube.com/watch?v=EO_4y0yBXX0&t=441s)

# Bioingeniería de taludes: evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad

## Slope bioengineering: assessment on using trees and shrubs as a possible mechanism for increasing the factor of safety

Ruby Vallarino<sup>1</sup>, George Mejía<sup>1</sup>, Dylan Centella<sup>2,3</sup>, Francisco Grajales Saavedra<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Marítima Portuaria, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>3</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana Champaign

<sup>4</sup>Grupo de Investigación en Geotecnia Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** Diversos estudios han demostrado la influencia positiva de la vegetación en la estabilidad de los suelos, la cual genera un cambio significativo en las condiciones hidrológicas del suelo. Uno de los aportes más importantes de la vegetación es el que generan las raíces sobre la resistencia al corte del suelo; lo cual puede ser cuantificado mediante un aumento en la cohesión del suelo a través de una variable conocida como: “cohesión aparente o relativa”. Este artículo presenta una evaluación de los efectos positivos que pueden producirse mediante la inclusión de árboles y arbustos en la parte baja de taludes. Para esta investigación se realizó una revisión de literatura, consultas con expertos y se desarrolló una simulación numérica utilizando el método de los elementos finitos en dos dimensiones. Las simulaciones utilizan la cohesión aparente como la variable que define el aporte de las raíces a la cohesión del suelo. Se realizaron análisis de estabilidad en diferentes tipos de taludes donde se pudo cuantificar el factor de seguridad generado por los distintos valores de cohesión aparente y determinar la influencia de la profundidad de las raíces. Los resultados de esta investigación indican que existe un sustento para la consideración de árboles o arbustos como solución de bioingeniería para la estabilización de taludes y presenta recomendaciones basadas en las evidencias e información obtenidas.

**Palabras clave.** Cohesión aparente, estabilización biotécnica, taludes, vegetación.

**Abstract.** Various studies have shown the positive influence of vegetation on soil stability, which generates a significant change in the hydrological conditions of the soil. One of the most important contributions of the vegetation is that generated by the roots to the shear strength of the soil; which can be quantified by an increase in soil cohesion through a variable known as: “apparent or relative cohesion”. This article presents an assessment of the positive effects that can be produced by the inclusion of trees and shrubs in the lower part of slopes. For this research, a literature review was carried out, consultations with experts and a numerical simulation was developed using two-dimensional finite element method. The simulations use apparent cohesion as the variable that defines the contribution of the roots to the cohesion of the soil. Stability analyses were carried out for different types of slopes where the safety factor generated by the different values of apparent cohesion was quantified and the influence of from the depth of the roots was determined. The results of this research indicate that there is support for the consideration of trees or shrubs as a bioengineering solution for the stabilization of slopes and presents recommendations based on the evidence and information obtained.

**Keywords.** Apparent cohesion, biotechnical stabilization, slopes, vegetation.

## 1. Introducción

El deslizamiento de un talud es un evento geotécnico que incluye una amplia gama de movimientos de tierra, tales como: el desprendimiento de rocas y fallas profundas en pendientes, que pueden causar problemas en diversas obras civiles, comocarreteras y presas, lo cual, además de resultar en

pérdidas económicas, también resulta en pérdidas de vidas humanas.

En función del desarrollo económico y otros fines en los últimos años, se ha presenciado la ejecución de una gran cantidad de proyectos que generan la implementación de diferentes métodos de estabilización de taludes, como, por

ejemplo: muros de gaviones, colocación de geotextiles y anclajes o muros anclados, con el propósito de evitar deslizamientos.

Adicionalmente, se han estado desarrollando técnicas que utilizan el método de estabilización biotécnica del suelo para el diseño de taludes, siendo ésta, una práctica implementada en muchas partes del mundo, además de ser considerada como una alternativa frente a los métodos tradicionales de estabilización de suelo [1]. En la práctica, muchos ingenieros y diseñadores han optado por la colocación de gramas, tales como la Grama Toro y plantas como el Vetiver (ver figura 1), con el propósito de recrear una cobertura vegetal sobre los taludes del tipo natural, la cual actúa como protección ante la erosión del suelo y, por lo tanto, genera un aumento en la estabilidad.

Este tipo de metodologías suelen ser más económicas y eco-amigables, ya que el uso de materiales de construcción es mínimo, además de jugar un papel muy importante en el control de la erosión y preservación efectiva del suelo. Entre los beneficios que ofrece este método, se destaca el aporte al incremento de la resistencia del suelo debido al esfuerzo cortante por parte de las raíces, ya sea de árboles o arbustos.

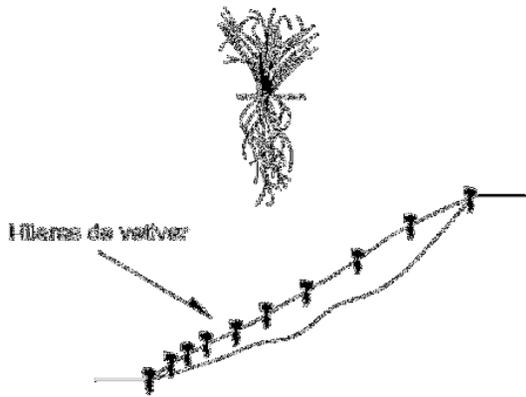


Figura 1. Formas de protección en un talud. Redibujado a partir de Suarez 2009 y Morgan & Rickson 2005 [2], [3].

## 2. Estabilización biotécnica

La estabilización biotécnica es una técnica que emplea el uso de la vegetación para la estabilización de taludes. Las especies varían dentro de la gama de pastos, arbustos o árboles, y pueden establecerse en el terreno mediante la siembra convencional o plantación viva. Es importante resaltar, que la efectividad de un sistema de refuerzo de suelo depende en gran medida de la profundidad a la que se coloquen las estacas y la profundidad a la que penetrarán las raíces (ver figura 2) [2].

Esta técnica se aplica principalmente a proyectos de estabilización de taludes poco profundos, caracterizados por

taludes inestables con movimiento de superficie. Entre sus principales beneficios, se destaca que la vegetación tiene un efecto en la mejora contra la erosión del suelo, ejerciendo además un efecto mecánico en el talud debido al aumento de la resistencia al esfuerzo cortante y resistencia de tracción en el suelo [1], [3].

La utilización de cobertura vegetal genera una influencia importante sobre el contenido de humedad del suelo, considerando que la misma intercepta un alto porcentaje de la precipitación, acumulándose en hojas y ramas que permiten la evaporación al medio ambiente dentro del ciclo hidrológico. Sin embargo, debido al proceso de la evapotranspiración, la vegetación suele influir directamente sobre el contenido de agua que se concentra en el suelo. Las plantas generalmente suelen succionar una alta cantidad de agua del suelo rica en minerales necesarios para llevar a cabo la fotosíntesis [4].

Por este motivo, al combinarse las técnicas de estabilización biotécnica del terreno con soluciones a largo plazo, las pendientes pueden ser gestionadas de manera más efectiva para la minimización del riesgo de falla.

La elección correcta del material vegetal a utilizar suele ser difícil, ya que se requiere de conocimientos sobre la capacidad de las plantas para crecer en determinados sitios, y de conocimientos sobre la eficiencia del sistema de raíces para fijar y reforzar el suelo en una pendiente inestable. Si bien, dicha información puede estar disponible para una especie en particular, también es necesario conocer el desempeño de ésta a largo plazo [5].

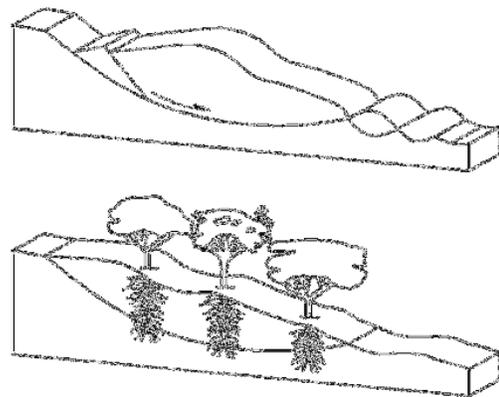


Figura 2. Efecto de las raíces para el control de deslizamientos profundos. Redibujado a partir de Suarez 2009 [3].

### 2.1 Consideraciones previas

Cuando se elige implementar técnicas de estabilización biotécnica en una pendiente inestable, el ingeniero primero debe evaluar diversos aspectos, entre ellos: (1) la naturaleza de la pendiente, (2) el tipo de suelo, (3) el tipo de vegetación

nativa o deseada en el talud y (4) la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo que sea mecanismo activador de un deslizamiento.

Adicionalmente, en dependencia de la magnitud de la obra, se debe considerar la viabilidad de esta técnica tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si el sitio donde se realizará el proyecto es a pequeña escala, pudiéndose reducir gastos económicos, a la vez de proveerse seguridad y estética al paisaje, entonces las técnicas de bioingeniería del terreno pueden ser consideradas.
- Si el sitio es a gran escala, tal como el caso de una ladera de montañas, los gastos que pueden conllevar la realización de técnicas de estabilización biotécnica pueden ser demasiado altos y sus beneficios se proyectarían a largo plazo.

## 2.2 Beneficios de la estabilización biotécnica

La estabilidad de las pendientes se rige por las cargas, la cual es considerada como la principal causa de las fallas. Entre los beneficios en que puede influir la vegetación en forma directa e indirecta en la estabilidad de un talud [2], [3], se encuentran:

- La vegetación intercepta la lluvia y extrae agua del suelo a través de la evapotranspiración, reduciendo la humedad del suelo y la presión de los poros.
- Retienen las partículas del suelo, disminuyendo la susceptibilidad a la erosión (figura 2.).
- Mecánicamente las raíces refuerzan el suelo al transferir resistencia por cizalladura, con tensiones de resistencia en la raíz (figura 2.).
- El anclaje y embebido de los troncos hace que éstos actúen como puntales en las laderas, contrarrestando las tensiones por cizalladura. Los troncos actúan como anclas rígidas, favoreciendo el sostenimiento o restricción lateral contra el movimiento superficial del talud.
- Aumenta el coeficiente de rugosidad del terreno, disminuyendo así la velocidad de escorrentía.
- Efecto de infiltración, por el cual las raíces de las plantas ayudan a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo.

## 2.3 Limitaciones de la estabilización biotécnica

- El peso de la vegetación puede resultar desestabilizante y provocar la falla de la pendiente.
- El cultivo de plantas con raíces poco profundas (como el banano y el plátano) agregan carga a la pendiente y alteran la estructura del suelo.
- Puede darse el caso en que las raíces formen grietas, fisuras y canales, causando inestabilidad en la pendiente, especialmente sobre las que contengan masas rocosas. La

saturación de las grietas también podría generar un peso extra que disminuya el factor de seguridad.

- El efecto del serpenteo del viento en los árboles genera una influencia desestabilizante.

## 2.4 Raíces como mecanismo de refuerzo

El papel de la vegetación en el refuerzo y anclaje depende de factores como la morfología del sistema de raíces, su resistencia, adecuada distribución, e interacción entre la raíz y el suelo [5].

Los sistemas de raíces conducen a un aumento en la resistencia del suelo debido al incremento de la cohesión provocada por la acción de unión en el compuesto fibra/suelo y la adhesión de las partículas de suelo a las raíces [2].

Para poder saber qué tipo de plantas, árboles o arbustos seleccionar para sembrar en los taludes, es importante conocer los diversos tipos de raíces (ver figura 3) y su profundidad [3].

- Lateral: en estos casos la extensión lateral es mayor a la profundidad de las raíces. El amarre de este tipo de raíz es paralelo a la superficie del talud.
- Radial: tienden a profundizarse y también extenderse lateralmente en efecto de arco, lo cual es muy importante en la estabilización para deslizamientos poco profundos.
- Pivote: su raíz suele ser vertical, centrada y profunda con ramificaciones pequeñas.

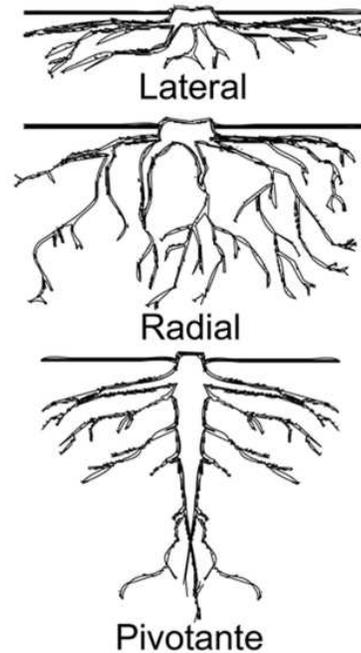


Figura 3. Tipos de raíces. Redibujado a partir de Norris 2008 [5].

Una mezcla de especies de diferentes edades generalmente mejorará la fijación del suelo. Las especies nativas son a menudo una opción adecuada, ya que están adaptadas al entorno local. Los pastos estabilizan la capa superior del suelo contra la erosión; los arbustos y árboles fijan el suelo más profundo, especialmente si las raíces pueden atravesar la superficie de deslizamiento. Si solo se usa una especie, es probable que el refuerzo del suelo sea pobre durante los primeros años. Una vez que se establecen los árboles, la estabilidad de la pendiente aumentará, pero si se maneja incorrectamente dejando grandes espacios entre los árboles, se pueden formar zonas inestables entre ellos. Del mismo modo, la distribución espacial de la vegetación puede conducir a zonas de deslizamiento o erosión [5].

#### 2.4.1 Cohesión aparente

El aporte en las condiciones mecánicas del suelo se ve influenciado principalmente por un aumento en la cohesión del suelo, llamada también “cohesión aparente” o “cohesión relativa” [6]. Este aumento en la cohesión se realiza por parte de las raíces, las cuales generan un aumento en el factor de seguridad debido a un incremento en la resistencia a tensión del talud, estas actúan como un mecanismo similar al de los muros mecánicamente estabilizados con geo-sintéticos.

A partir de diferentes investigaciones realizadas se describió que la cohesión que aportan las raíces depende de muchos factores como: el clima, el tipo de suelo, las especies de plantas, entre otros. Para la cuantificación del aporte en la cohesión, comúnmente se utilizan valores previamente calculados, como es el caso de las investigaciones realizadas en las que se han establecido rangos de valores para diferentes especies, que se podrían utilizar como valores representativos para el cálculo de estabilidad de suelos [7], [8]; ya que estos valores solo pueden ser encontrados mediante ensayos de laboratorio, tales como el ensayo de corte directo.

Algunos investigadores han encontrado que los arbustos y árboles actúan sobre la estabilidad del talud en diferentes formas [9]:

- Uniendo las capas de suelo inestables a las capas estables del subsuelo. Cuando una posible superficie de falla atraviesa la zona donde se encuentra el sistema de raíces-suelo, las raíces aportarán para mantener la estabilidad.
- Proporcionando un manto protector compuesto por el sistema de raíces-suelo, lateralmente estable. Aparentemente este sistema raíces-suelo genera un manto que trabaja como un refuerzo lateral, manteniendo las capas inferiores en forma estables.
- Proporcionando puntos de mayor reforzamiento en las áreas cercanas a los árboles. Debido a que las raíces de los árboles o arbustos se incrustan firmemente entre las capas

del suelo que se encuentran debajo de las posibles superficies de falla.

#### 2.4.2 Modelo matemático de la influencia de las raíces en la estabilidad de suelos

Como se ha descrito anteriormente, el sistema raíces-suelo genera un aumento en la resistencia al corte y se puede cuantificar mediante la incorporación de un término llamado “cohesión aparente” [3], a la ecuación del Criterio de Falla de Coulomb [8]. Algunos investigadores han propuesto un modelo matemático con el propósito de cuantificar el incremento en la resistencia al corte del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$S_r = (T(\cos\theta + \operatorname{sen}\theta \tan\phi'))/A \quad (1)$$

Donde;

$S_r$  = aumento en la resistencia al corte proporcionado por las raíces.

$T$  = fuerza de tensión en la raíz.

$\theta$  = ángulo de inclinación de la raíz respecto al plano de falla.

$\phi'$  = ángulo de fricción.

$A$  = área de la sección donde se encuentran las raíces.

Para este análisis el aumento en la resistencia al corte proporcionado por la generación del sistema raíces-suelo fue considerado únicamente como un aumento en la cohesión aparente. De acuerdo con investigaciones realizadas, luego de realizar pruebas en sitio como ensayos de corte directo y estimaciones de cohesión aparente a partir del esfuerzo de tensión de raíces utilizando la ecuación (1), los rangos de cohesión aparente de especies coníferas oscilaban entre valores de 3.00 y 17.50 kPa [9]. Es importante considerar que estos valores dependen en gran medida de las condiciones del clima, del tipo de suelo, de la distribución de la humedad en el suelo y de la especie de planta, por lo tanto, es difícil establecer un valor constante de cohesión aparente.

El término de cohesión aparente se introdujo utilizando paralelamente el método de “Equilibrio Límite”. Para el estudio de la estabilidad de taludes, el método de “Equilibrio Límite” establece que el Factor de Seguridad (FS) se rige por la relación entre la resistencia al corte del talud ( $T_f$ ) la cual está gobernada por el criterio de falla de Coulomb [10] y los esfuerzos de corte que se generan ( $T_m$ ).

$$FS = \frac{T_f}{T_m} \quad (2)$$

El criterio de falla de Mohr-Coulomb nos permite definir la falla por cortante de un suelo de acuerdo con su estado de esfuerzos. [9]. La resistencia al corte del suelo, mediante el criterio de falla de Mohr-Coulomb, se da por la siguiente ecuación:

$$T_f = c + (\sigma - \mu)\tan\phi' \quad (3)$$

Donde;

$\sigma$  = esfuerzo total.

$\mu$  = presión de poro.

Para considerar el aporte a la resistencia de corte proporcionado por la generación del sistema raíces-suelo es necesario incorporar el término de “cohesión aparente” en la ecuación del criterio de falla de Mohr-Coulomb [7].

$$T_f = (c + c_R) + (\sigma - \mu)\tan\phi' \quad (4)$$

### 3. Avances de la bioingeniería de taludes en países tropicales

A nivel internacional se han realizado múltiples investigaciones con la intención de evaluar los beneficios de utilizar vegetación en el manejo preventivo de deslizamientos en taludes.

Algunos de los estudios pioneros sobre el tema, han sido presentados por Brenner [12] y Gray [13]. El primero, realizó un estudio en el cual se evaluó el comportamiento hidrológico de taludes reforzados con vegetación en el cual se demostró que la evapotranspiración producida por las plantas puede reducir las presiones de poro existentes debido al nivel freático. Por su parte, Gray [13] presentó un estudio comprensivo sobre la estabilización de taludes utilizando vegetación, en el cual las conclusiones indicaron que los taludes con forraje vegetal reptan (i.e. se deslizan) a una menor velocidad que aquellos sin cobertura vegetal.

Greenway [14] presentó un estudio en el cual se ilustra la influencia de la vegetación en el comportamiento hidromecánico de los taludes. A partir de esto, Copin y Richard [15] presentaron un modelo matemático para el cálculo del factor de seguridad en taludes tomando en cuenta el efecto de la vegetación.

Gray [16] presentó ampliamente los diversos beneficios que pueden producirse mediante la inclusión de vegetación en taludes, concluyendo que la vegetación produce mejoras en la resistencia de taludes ante la erosión superficial, así como también frente a los movimientos de masa. En contraparte, la remoción de vegetación acelera o incrementa las fallas en taludes.

Adicionalmente, Gray [16] indicó que la presencia de raíces producen un incremento en la resistencia al corte de las masas de suelo, y que la manera más efectiva de lograr un

refuerzo mediante vegetación es procurar que las raíces penetren a través del suelo hasta llegar a los estratos de roca (sana o meteorizada) que se encuentren debajo del talud.

Basado en estos conceptos, Haji Ali y Osman [17] desarrollaron estudios con el fin de determinar la resistencia al corte de suelos reforzados con plantas típicas de regiones tropicales. En su estudio, se utilizaron cuatro especies distintas de plantas: (1) *Vertiveria zizanioides*, (2) *Leucaena leucocephala*, (3) *Bixa orellana* y (4) *Bauhinia purpurea*. La resistencia al corte se verificó mediante pruebas de corte directo modificadas.

Los resultados obtenidos por Haji Ali y Osman [17] indican que la presencia de las cuatro especies incrementa sustancialmente la resistencia al corte y por ende el factor de seguridad de los taludes. Sin embargo, se menciona que dicho aumento en la resistencia es exclusivamente producido por un incremento en la cohesión del suelo.

Estas conclusiones fueron ampliadas gracias a estudios presentados por Nordin Abdullah et al. [18], Khalilnejad et al. [1] y Saifuddin y Normaniza [19], estudios en los cuales se profundizó en la caracterización de las propiedades mecánicas del suelo reforzado, en base a las plantas anteriormente mencionadas, tomando en cuenta la morfología de las estructuras radiculares de dichas especies.

A nivel de Latinoamérica, existen varios estudios realizados tanto en Brasil como en Costa Rica. Sin embargo, es posible que exista mayor cantidad de data, la cual no se encuentra publicada y al alcance de los investigadores.

Silva Orozco [20], presentó un estudio comprensivo sobre la utilización de especies de vegetación nativas de Costa Rica para la estabilización de taludes. En su estudio, se presentan recomendaciones de diversas hierbas, plantas, arbustos y árboles típicos de distintas zonas de vida, las cuales toman en cuenta el rango de altitudes, temperaturas y precipitación existente para recomendar distintas especies que puedan prosperar en dichas condiciones climatológicas.

Finalmente, Maffra et al. [21] presentaron resultados de un estudio similar en muchos aspectos al realizado por Haji Ali y Osman [17] para vegetación típica de la zona atlántica en Brasil. Las conclusiones de dicho estudio indican que similar a los anteriormente mencionados, existe un incremento en la resistencia a la corte asociada a la presencia de raíces en los suelos.

### 4. Modelación numérica del efecto de las raíces en taludes

#### 4.1 Modelación de casos de estudios de taludes inestables

Para realizar el análisis de refuerzo con raíces se utilizó el *software* Optum G2 2020 versión estudiantil [11], el cual emplea el método de elementos finitos en 2 dimensiones. El programa fue creado en el año 2010 y ha sido utilizado para

diferentes aplicaciones en el área de la ingeniería geotécnica. Para el estudio se asumió el criterio de falla Mohr – Coulomb (drenado) y el método de reducción de fuerzas (Strength Reduction Analysis), dando como resultado valores de factores de seguridad para cada escenario propuesto.

Las dimensiones utilizadas corresponden a un talud homogéneo 1:1 (ver figura 4), donde las propiedades del suelo son tomadas a partir de un material arcilloso. En la siguiente tabla se muestran los valores de suelo utilizados:

**Tabla 1.** Propiedades del suelo arcilloso

| Propiedad del suelo                 | Valor |
|-------------------------------------|-------|
| E (MPa)                             | 25    |
| $\nu$                               | 0.3   |
| c (kPa)                             | 41.65 |
| $\phi$ (°)                          | 15    |
| $\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 18    |
| $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 20    |

Adicionalmente, se incluyó el aporte de las raíces a la resistencia al cortante del suelo, que se modeló como aporte a la cohesión del suelo, introduciendo así el término de cohesión aparente ( $C_R$ ). Los valores proporcionados a la cohesión por parte de las raíces se asumieron en oscilación a los 10kPa, 20kPa y 30kPa; otro factor importante a tomar en cuenta en el estudio es la profundidad de las raíces. Para la modelación y el análisis se asumió un sistema de raíces radial-fibroso, considerando una zona de mayor cohesión uniforme en forma de arco.

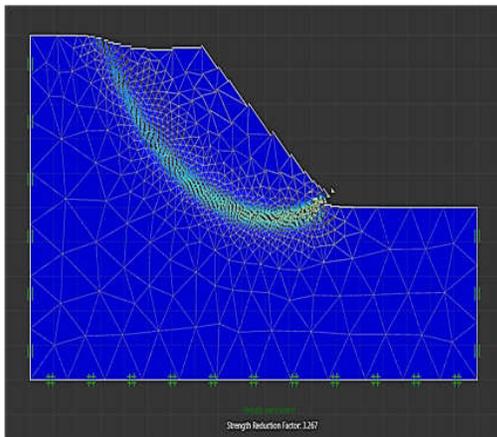


Figura 4. Talud 1:1 modelado en Optum G2.

#### 4.2 Análisis paramétrico

Para el desarrollo del estudio paramétrico se tomaron en cuenta las siguientes variables: radio del sistema de raíces (r),

aporte de cohesión de raíces y cohesión relativa del suelo ( $c_R$ ), altura del talud (h) y distancia al centro del radio de raíces (d). Los valores utilizados para cada uno de los casos analizados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Dimensiones y condiciones de análisis de talud

| Caso | Altura del talud (h) | Ancho del talud | Condiciones  |
|------|----------------------|-----------------|--|
| 1    | 5 m                  | 5 m             | -Talud sin vegetación en la superficie de pendiente.<br>-Fijaciones estándar utilizadas en los límites del talud.    |
| 2    | 5 m                  | 5 m             | -Talud con vegetación sobre la superficie de pendiente.<br>-Fijaciones estándar utilizadas en los límites del talud. |
| 3    | 5 m                  | 5 m             | -Talud con árbol en el pie de la pendiente.  |
| 4    | 15 m                 | 15 m            | -Fijaciones estándar utilizadas en los límites del talud.  |
| 5    | 25 m                 | 25 m            | -Fijaciones estándar utilizadas en los límites del talud.  |

Nota: Fijaciones estándar. Esta característica aplica soportes normales a líneas verticales (rodillo) y soportes completos (fijos) a líneas horizontales que definen el límite del dominio.

#### 4.2.1 Resultados

Generalmente en la práctica se utilizan plantas para evitar la erosión y en algunos casos estabilizar taludes, por lo que se realizó una comparativa entre un talud sin vegetación (caso 1) (ver figura 5) y un talud con vegetación en su superficie (caso 2), para analizar el incremento en el factor de seguridad. Se consideró una planta con raíces de 1m de profundidad con un aporte a la cohesión de 5 kPa (ver figura 6), obteniéndose un incremento muy bajo en el factor de seguridad (ver tabla 3). En consecuencia, las plantas pueden ser utilizadas para minimizar la erosión en los taludes, sin embargo, emplear estas prácticas para estabilizar taludes requerirá de métodos adicionales.

Tabla 3. Comparación talud sin vegetación vs. talud con vegetación

| Escenario            | Altura del talud (h) | Cohesión aparente ( $C_R$ ) | Factor de Seguridad |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| Talud sin vegetación | 5 m                  | 41.65 kPa                   | 3.294               |
| Talud con vegetación | 5 m                  | 46.65 kPa                   | 3.302               |

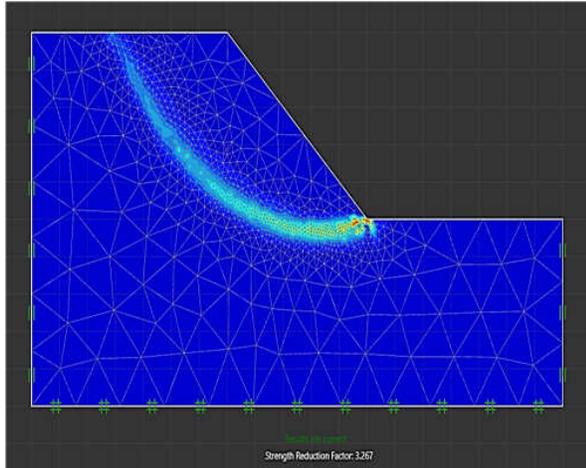


Figura 5. Falla cortante en talud sin vegetación (caso 1).

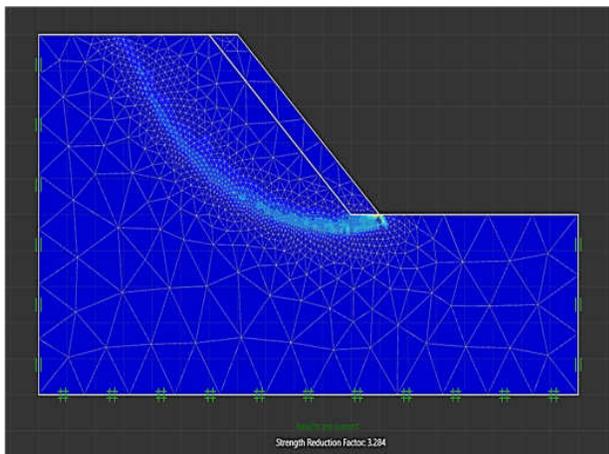


Figura 6. Disipación de falla cortante con vegetación en la superficie de inclinación del talud (caso 2).

Otro de los escenarios analizados corresponde a la presencia de árboles en el pie del talud, de este modo se logró estudiar el incremento en el factor de seguridad. En la teoría se indica que las raíces de los árboles en este sitio del talud logran brindar un aporte significativo a la estabilidad, a diferencia de otros sitios del talud que pudieran generar un efecto negativo.

Entre los resultados obtenidos, se concluyó que las raíces que alcanzaban una profundidad de 2m generaron un aporte significativo al factor de seguridad, a diferencia de las que solamente alcanzaban 1m de profundidad (ver figura 7).

Tomando lo anterior en cuenta, se seleccionaron los escenarios en donde las raíces alcanzaban 2m de profundidad. Es importante destacar que las raíces que alcanzaban esta profundidad atravesaban la superficie de falla del talud (caso

3), lo cual es la razón de su incremento en el factor de seguridad (ver figura 8).

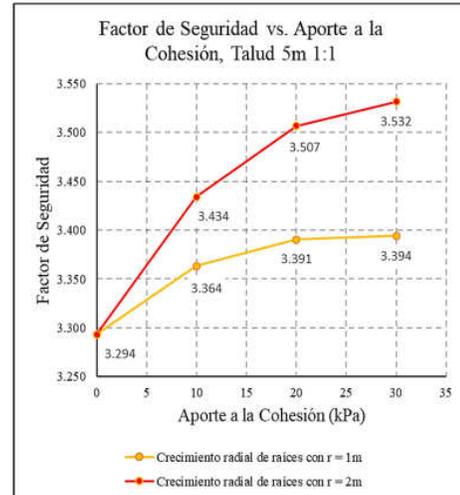


Figura 7: Comparativa del radio de raíces para talud de 5m con pendiente 1:1 (caso 3).

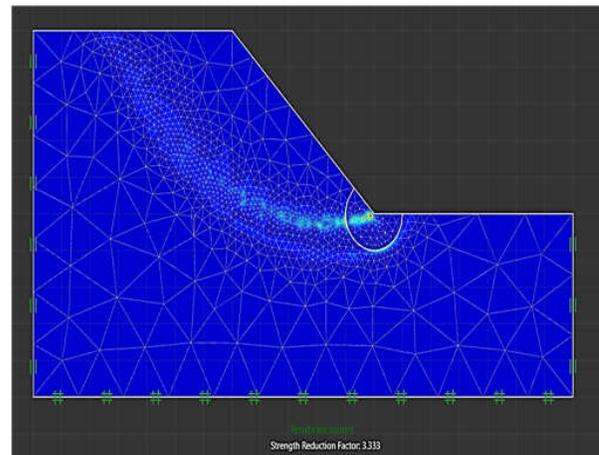


Figura 8. Disipación de falla cortante con árbol en pie del talud.

En la figura 8, se muestran los resultados obtenidos para un talud de 5m con pendiente 1:1 (caso 3), en donde se tomaron en cuenta 3 escenarios en los cuales las variables a destacar eran la distancia entre el centro de raíces al pie del talud (d) y el aporte a la cohesión por parte de las raíces. En el gráfico se muestra que el incremento en el factor de seguridad se encuentra condicionado principalmente por la distancia "d", por lo que se destaca la importancia de la ubicación del árbol para obtener los resultados esperados.

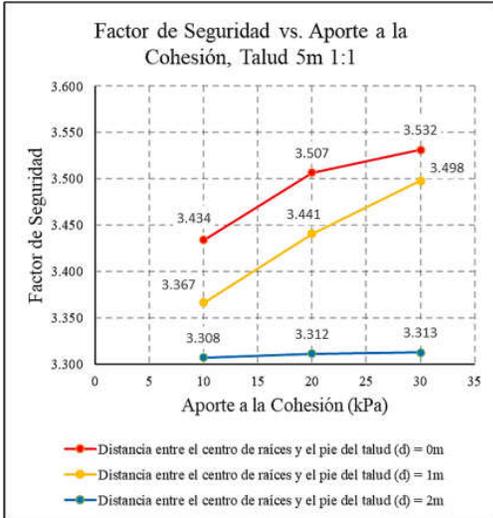


Figura 8. Resultados para Talud de 5m con pendiente 1:1 (caso 3).

En la figura 9, se muestran los resultados para un talud de 15m con pendiente 1:1 (caso 4), al igual que en el análisis del talud de 5m se evaluó el efecto de la distancia “d”. En este escenario se pudo observar una disminución en el incremento del factor de seguridad, por lo que se deduce que a partir de los 15m en adelante los efectos de las raíces no son tan significativos.

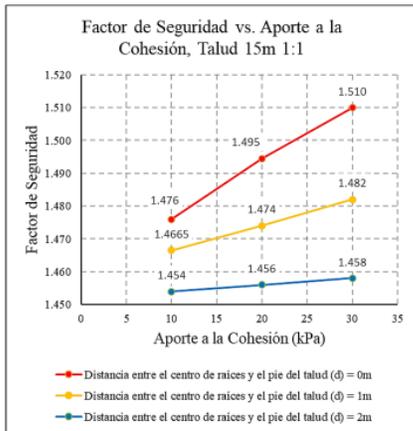


Figura 9. Resultados para Talud de 15m con pendiente 1:1 (caso 4).

En la figura 10, se muestran los resultados para un talud de 25m con pendiente 1:1 (caso 5). Con los valores obtenidos en este escenario se pudo concluir que la altura es un aspecto muy importante que tomar en cuenta antes de emplear técnicas de estabilización biotécnica, ya que como se ha demostrado que la geometría del talud puede definir los efectos positivos o negativos de la practica empleada.

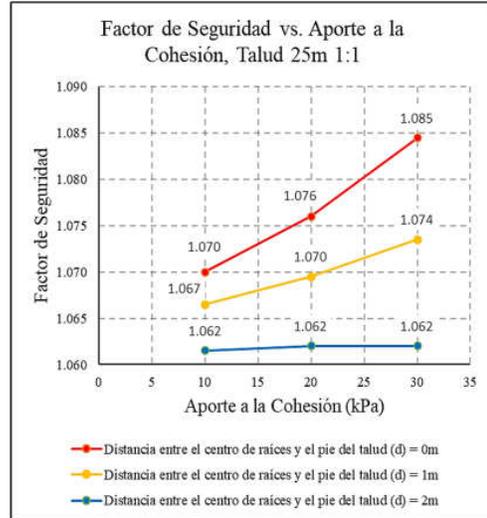


Figura 10. Resultados para Talud de 25m con pendiente 1:1 (caso 5).

## 5. Opinión experta: estado de la práctica de la bioingeniería de taludes en Panamá

Cuando se trata de obras civiles que se ejecutan a partir de contratos con el estado panameño, la ejecución de estas debe regirse de acuerdo con lo establecido en las Especificaciones Técnicas del Ministerio de Obras Públicas. En el Capítulo 30 correspondiente a “Control de Erosión” se señala el tema de la revegetación, además de establecerse los parámetros y normativas que rigen la implementación de este método de control de erosión. El proyecto de la Ciudad de Panamá [22], la estabilización de taludes mediante colocación de especies vegetales limita por lo general al control de erosión mediante la implementación de hidrosiembra, gramas tipo Toro, Pastos tipo Braquiaria y del tipo Vetiver. Cuando se ven involucrados taludes inestables por su geometría, se utilizan métodos como muros de contención, colocación de gaviones, estabilización mecánica, entre otros.

Un alto porcentaje de los deslizamientos de taludes en Panamá se deben a procesos erosivos, principalmente ocasionados por la precipitación, razón por la cual se ha producido un aumento en la implementación de vegetación para el control de erosión. En diferentes zonas de Panamá, se puede observar la implementación de este tipo de técnicas en distintos proyectos del Ministerio de Obras Públicas (MOP), como, por ejemplo: la colocación de grama vetiver en la Autopista Arraiján – La Chorrera, la colocación de hidrosiembra en taludes ubicados en el Corredor Norte, entrada a Betania y la colocación de grama tipo Toro en la rehabilitación de la Carretera Nuevo México – Puerto Corotú.

La experiencia práctica apunta a que la remoción de vegetación, principalmente de arbustos o árboles con raíces relativamente profundas, genera una disminución importante en la estabilidad de los taludes, lo cual produce como consecuencia la ocurrencia de deslizamientos tales como los que se han producido en los Puntos Críticos de la rehabilitación de la Carretera Panamericana en Darién, Tramo 4: Canglón - Yaviza. Todo esto es indicativo de que las raíces aportan a la resistencia al corte del suelo, con lo cual, es importante tomar en cuenta la colocación de arbustos y árboles en zonas estratégicas, ya que podría influir positivamente en la estabilidad de taludes [22].

El aporte que generan las raíces depende estrechamente del buen desarrollo de la especie a colocar, por esta razón sería más adecuado optar por especies nacionales ya que estas están adaptadas al clima y a los factores característicos del clima en Panamá.

Para colocación en la parte inferior de taludes, resulta recomendable optar por especies de árboles frutales, puesto que la morfología que presentan sus raíces es generalmente fuerte y profundas. Sin embargo, es importante tomar en cuenta el peso adicional a producir por el árbol durante la etapa de producción de frutos. Adicionalmente, la profundidad y la fortaleza de las raíces depende de las condiciones del entorno, las especies frutales oriundas de Panamá se caracterizan por su desarrollo tanto en zonas urbanas con altos niveles de contaminación, como en zonas rurales y suburbanas con bajos niveles de contaminación [23].

Los árboles frutales tienen la capacidad de retener grandes cantidades de agua, con lo cual, es posible inferir que existe una modificación en el porcentaje de humedad del suelo, evitando la saturación de este. Por otro lado, la colocación de especies frutales tiene un impacto positivo en el factor económico y comercial de la zona en la que se coloca, gracias a la fácil comercialización de las frutas [23]. Las especies más recomendadas, tomando en cuenta los factores antes mencionados son: el nance, el tamarindo, la guaba y el mamón.

En el caso de requerir refuerzo en la sección media del talud, conviene ser cautelosos al seleccionar el tipo de árbol, ya que en sus secciones intermedias la potencial superficie de falla pudiera extenderse a mayor profundidad que las raíces. Generalmente se recomienda utilizar arbustos pequeños de maderas livianas.

## 6. Recomendaciones para la estabilización de taludes utilizando bioingeniería

A partir de los estudios realizados, las opiniones expertas obtenidas y la bibliografía realizada, resulta conveniente ponderar la utilización de algunas especies (nativas o previamente introducidas) vegetales en Panamá. Al momento, es claro que la revegetación de taludes mediante el uso de hierbas y pastos es una técnica ya ampliamente utilizada. Sin

embargo, existe la posibilidad de incluir la utilización de arbustos e incluso árboles, siempre y cuando el proceso de plantación se lleve a cabo de manera organizada y con adecuados planes de mantenimiento y poda. Las siguientes secciones describen de manera general las características y beneficios de algunas de las especies estudiadas.

### 6.1 *Leucaena (Leucaena Leucocephala)*

Esta especie se considera un árbol pequeño o en algunos casos un arbusto (Fig 11), el cual, según fuentes bibliográficas, puede crecer desde 3 hasta 20 metros de altura [19], [20], [24], [25], sin embargo, Jiménez y Espino [25] ha documentado especímenes de hasta 8 metros de altura en Panamá. Posee un sistema de raíces significativamente profundo, pudiendo extenderse hasta 3 o 4 metros de profundidad [20]. Se ha documentado su utilización para estabilización de taludes [26].

La especie es originaria de Guatemala, México y Belice, sin embargo, se encuentra actualmente en Panamá [24], [25], [27]. Su contribución a la componente cohesivo-resistente al corte en suelos ha sido previamente documentada por múltiples autores, los cuales documentan que se producen aumentos en cohesión de hasta 400% con respecto a un suelo sin refuerzo después de 12 meses de sembrado [17].

### 6.2 Casco de Vaca (*Bauhinia Variegata/Purpurea*)

Ambas especies (*Bauhinia variegata* y *Bauhinia purpurea*) son árboles pequeños los cuales oscilan entre 5 a 10 metros de altura (figura 12) [29] y se han reportado especímenes con sistemas de raíces de aproximadamente 4 metros de profundidad [30]. La resistencia al cortante de suelos reforzados con raíces ha sido estudiada por Haji Ali y Osman [17], y se ha comprobado que las contribuciones a la cohesión son importantes (aumento de 10 kPa en 12 meses).

Adicionalmente a los beneficios aportados a la resistencia mecánica del suelo, la especie es visualmente atractiva, lo cual podría representar un valor agregado durante la revegetación de algunos taludes.



Figura 11. Fotografía de *Leucaena Leucocephala* [28].

### 6.3 Achiote (*Bixa Orellana*)

El achiote (figura 13) es un árbol pequeño de lento crecimiento el cual puede durar hasta 50 años. La altura de los arbustos suele oscilar entre 3 y 10 metros [31], aunque con adecuada poda es posible mantenerlos con alturas menores y en estado productivo. Diversas fuentes literarias clasifican sus raíces como fasciculadas o pivotantes, alcanzando en algunos casos entre 3 y 4 metros de profundidad [20]. La madera del achiote es particularmente liviana y frágil, lo cual lo convierte en un espécimen atractivo para refuerzo de taludes ya que representa un peso relativamente despreciable en comparación con el refuerzo que provee al talud. De hecho, se ha reportado que, en combinación con otras plantas, el achiote se puede plantar exitosamente en pendientes inclinadas y quebradas [31]

En cuanto al aporte a la resistencia cortante en suelos, Haji Ali y Osman [17] documentaron que las contribuciones a la cohesión del suelo son de carácter moderado en comparación con la *leucaena leucocephala* y la *bauhinia purpurea*, sin embargo, es importante tomar en cuenta que dicho estudio fue realizado para un período de 6 y 12 meses después de la plantación, por lo cual presumiblemente las plantas ensayadas no habían alcanzado una altura y desarrollo final. Es por esta razón que dichos autores recomiendan el uso de la planta para efectos de control de erosión.

Una de las ventajas significativas que presenta el achiote es que su semilla constituye un producto de uso habitual en la cocina autóctona de Panamá, por lo cual resultaría en una solución práctica con un valor agregado, para aquellos quienes utilizan el producto.



Figura 12. Fotografía de Bauhinia Variegata/Purpurea [28].

### 6.4 Árboles frutales

Tal como fue discutido en la sección 5, la utilización de árboles puede resultar beneficiosa para efectos de mejorar el factor de seguridad en taludes.

Los árboles frutales en particular ofrecen la ventaja de que absorben grandes cantidades de agua, lo cual es indicador de que pudieran funcionar como reguladores de la saturación en dicha zona. Sin embargo, el posicionamiento de los mismos debe ser estudiado cuidadosamente, puesto que la gran mayoría suelen alcanzar grandes tamaños, y su remoción posterior pudiera ser no adecuada para el talud.

Los resultados de la simulación numérica realizada como parte de este estudio sustentan el hecho de que la colocación de sistemas radiculares en el pie del talud pudiera resultar en un incremento en la resistencia cortante en dicha zona, lo cual como consecuencia produciría un mejor factor de seguridad contra deslizamiento.

Las recomendaciones obtenidas como parte de esta investigación corresponden a la opinión de profesionales con muchos años de experiencia en el tema de estabilización, revegetación y reforestación de taludes [22], [23]. Entre las especies frutales recomendadas se contemplan los árboles de nance (*Byrsonima crassifolia*), tamarindo (*Tamarindus indica*), Guaba (*Inga spectabilis*) y mamón (*Melicoccus bijugatus*).

De estas cuatro especies sugeridas, Silva-Orozco [20] ha documentado que el nance, guaba y mamón, poseen sistemas de raíces muy profundas. Sin embargo, otras fuentes [33] reportan que el árbol de guaba tiende a retener la humedad en los suelos. Por ende, resulta recomendable considerar primeramente los árboles de nance y mamón.

La opinión de expertos en la materia indica que la absorción de agua producida por árboles frutales pudiera contribuir a regular la saturación del suelo, lo cual conlleva en efecto positivo al momento de evaluar los esfuerzos efectivos y la resistencia al cortante.

Sin embargo, los autores consideran que el mecanismo que más pudiera aportar resistencia global contra el deslizamiento es el anclaje producido por las raíces de árboles en el pie del talud, tomando en cuenta que, en la mayoría de los casos, es de esperar que estas atraviesen la potencial superficie de falla del sistema. Esta noción es consistente con los resultados encontrados mediante la simulación de elementos finitos y también con las recomendaciones presentadas por Khalilnejad et al. [1].

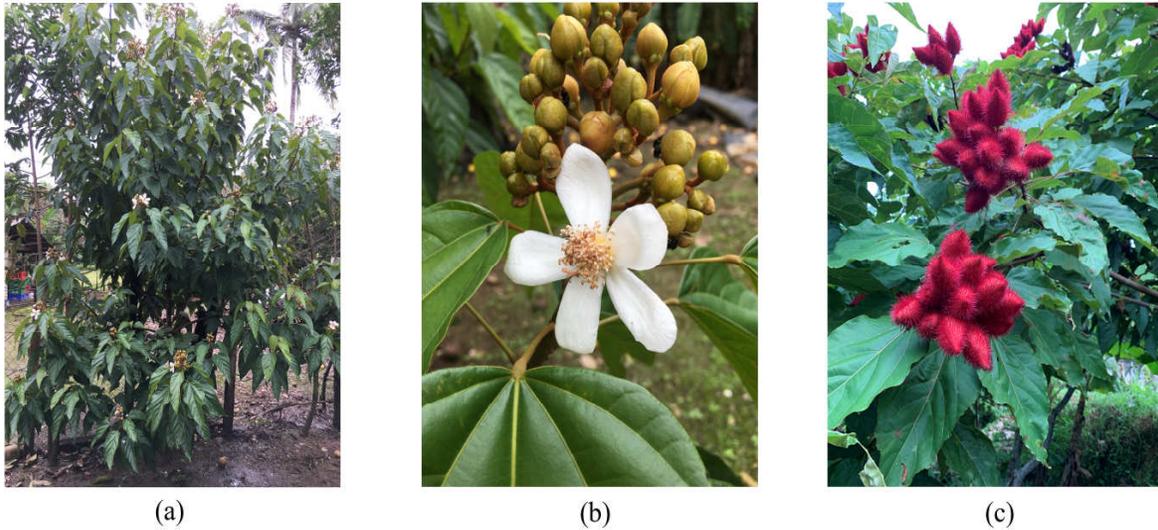


Figura 13: Fotografías de un arbusto de achiote: (a) Arbusto [32], (b) flor [32] y (c) fruto[28].

### 6.5 Comentarios sobre la distribución de especies a lo largo del talud

Tal como fue discutido en la sección 5, la utilización de árboles puede resultar beneficiosa para efectos de mejorar el factor de seguridad en taludes. Los análisis presentados sustentan la utilización de árboles o arbustos grandes en el pie del talud, y a su vez los mismos aparentan producir un aumento en el factor de seguridad del talud.

Sin embargo, existe un alto grado de incertidumbre en cuanto a la posible superficie de falla que el talud pueda experimentar en un momento dado. Es por esto por lo que no resulta adecuado realizar recomendaciones únicas acerca de la colocación de árboles o arbustos en las secciones medias del talud (i.e. a lo largo de la pendiente).

Se considera que la inclusión de pastos y arbustos pequeños como parte del sistema de revegetación pudiera colaborar positivamente en la prevención de deslizamientos traslacionales-superficiales, como también para control de erosión, siempre y cuando, se pueda garantizar que las raíces alcancen cierta profundidad.

Por otro lado, en el caso de deslizamientos profundos existe la posibilidad de que la superficie de falla del talud pase por debajo de las raíces, con lo cual el peso de los árboles y arbustos actuaría como fuerza desestabilizante en el sistema.

## 7. Conclusiones

El artículo presentado, contiene los resultados de una investigación analítica y documental, la cual llevaba por objetivo determinar de manera preliminar o conceptual, la viabilidad de utilizar arbustos y árboles como elementos de

refuerzo para taludes en zonas tropicales, con particular énfasis en la República de Panamá.

Se realizaron consultas con expertos de la industria, como también una revisión de estudios y resultados obtenidos en otros países de similar latitud a Panamá. Se realizó también una simulación numérica utilizando el método de los elementos finitos en dos dimensiones, con el fin de aproximar el aporte al factor de seguridad que pudiera proveer la colocación de un árbol, específicamente en el pie del talud.

Los resultados indican que, en efecto, la colocación de árboles en la parte baja del talud puede resultar en aportes importantes a la estabilidad del mismo. Estos resultados se encuentran en sintonía con sugerencias realizadas por investigadores en estudios anteriores. Sin embargo, es de importancia aclarar que los resultados obtenidos no son evidencia suficiente para emitir un juicio universal aplicable a todo tipo de taludes, con lo cual, es imprescindible la presencia de un profesional idóneo para implementar bioingeniería como opción integral para la estabilización de un talud.

Adicionalmente, se presenta información sobre especies que, basados en literatura y opinión experta, pudieran funcionar como elementos de refuerzo para las condiciones climáticas de Panamá. Algunos comentarios importantes son los siguientes:

- Las raíces de árboles proporcionan un aumento en la resistencia al corte, específicamente en la cohesión del suelo. La simulación numérica realizada considera la existencia de una zona radial de resistencia incrementada en el pie del talud, lo cual resulta en un incremento sustancial del factor de seguridad de este. Por tanto, se considera beneficiosa la colocación de árboles o arbustos

en esta posición. Estos hallazgos son consistentes con recomendaciones presentadas por [1].

- Las raíces de árboles y arbustos aportan a la resistencia al corte de los taludes, siempre y cuando las mismas alcancen el plano de falla del talud. Sin embargo, existen limitaciones e incertidumbre al estimar la profundidad de las raíces, y como también al momento de estimar la posible superficie de falla del talud. Por ello, se considera que la plantación de árboles de maderas livianas y arbustos pudiera contribuir positivamente a la estabilidad de taludes ante movimientos traslacionales (i.e. deslizamientos superficiales).
- No resulta adecuado emitir observaciones respecto a las fallas profundas (i.e. fallas circulares, logarítmicas, etc), por lo cual, es de vital importancia involucrar a profesionales idóneos al momento de seleccionar las especies de arbustos o árboles para revegetación de talud.
- En cuanto a la parte superior del talud, la literatura disponible sugiere considerar la revegetación con pasto, plantas florales o arbustos livianos con adecuada poda, de modo que las raíces puedan contribuir a la resistencia, sin que la planta represente un peso significativo al talud.
- Cuando se elige una especie por el sistema de raíces que ésta genera, es importante que el mismo sea de morfología fibrosa, profunda y preferiblemente radial o cilíndrica, lo que genera un aporte a la resistencia al corte en forma de un aumento en la cohesión de la zona en donde se ubican las raíces.
- Al momento de elegir las especies de árboles a utilizar se deben considerar diferentes factores, como, por ejemplo: impacto económico, disponibilidad de la especie en áreas cercanas, resistencia y adaptabilidad al clima, entre otros.
- El uso de especies frutales como el nance, el tamarindo y el mamón, pudieran ser alternativas para la colocación en el pie del talud. Igualmente, las leucaenas, bauhinias y el achiote se pueden considerar opciones viables para distintas zonas del mismo.

Los estudios realizados como parte de este proyecto de clase constituyen un primer paso en la investigación de los efectos positivos de la flora en la estabilización de suelos. Sin embargo, se considera que el uso de la bioingeniería para estabilización de taludes representa un campo de investigación atractivo, el cual puede constituirse en fuente de financiamiento para la realización de pruebas que permitan realizar recomendaciones más puntuales, basadas en resultados experimentales obtenidos en Panamá.

## AGRADECIMIENTO

Los autores extienden un agradecimiento al Ingeniero Rubén Galván, jefe del Departamento de Ensayo de Materiales del Ministerio de Obras Públicas, y a los ingenieros Juan de

Dios Cedeño y Álvaro Fernández, de la Sección Ambiental del Ministerio de Obras Públicas de la República de Panamá.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] A. Khalilnejad, Faisal Hj. Ali, and N. Osman, "Contribution of the Root to Slope Stability," *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 30, no. 2, pp. 277–288, 2012.
- [2] R. P. C. Morgan and R. J. Rickson, *Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach*. 2005.
- [3] J. Suarez, "La Vegetación y los Deslizamientos," in *Deslizamientos: Técnicas de Remediación*, 2009, pp. 291–312.
- [4] J. E. Douglas, "Effect of Species and Arrangement of Forests on Evapotranspiration," *Int. Symp. Hydrol.*, vol. 32, no. 3, pp. 179–180, 1964.
- [5] J. E. Norris, A. Stokes, S. B. Mickovski, E. Cammeraat, B. C. Nicoll, and A. Achim, *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. 2008.
- [6] K. M. Schmidt, J. J. Roering, J. D. Stock, W. E. Dietrich, D. R. Montgomery, and T. Schaub, "The variability of root cohesion as an influence on coast range," *Earth*, vol. 1024, pp. 995–1024, 2001.
- [7] T. H. Wu, W. P. McKinnell, and D. N. Swanston, "Strength of Tree Roots and Landslides on Price of Wales Island, Alaska," *Can. Geotech. J.*, 1979.
- [8] R. R. Ziemer, "Roots and Stability of Forested Slopes," *Eros. Sediment Transp. Pacific Rim Steeplands Proc Christchurch Symp. January 1981*, 1981.
- [9] C. O. Loughlin and R. R. Ziemer, "The Importance of Root Strength and Deterioration Rates Upon Edaphic Stability in Steepland Forests," *Proc. an IUFRO Work*, no. August 1982, pp. 70–78, 1982.
- [10] M. Budhu, *Soil Mechanics and Foundations*. 2010.
- [11] Optum CE, "Optum G2 User Manual," 2020. [Online]. Available: <https://optumce.com/products/brochure-and-datasheet/>.
- [12] R. Brenner, "A hydrological model study of a forested and a cutover slope," *Hydrol Sci J*, vol. 18, no. 2, pp. 125–144, 1973.
- [13] D. H. Gray, "Reinforcement and Stabilization of Soil by Vegetation," *J. Geotech. Eng. Div.*, vol. 100, no. 6, pp. 695–699, 1974.
- [14] D. Greenway, "Vegetation and slope stability," in *Slope Stability: geotechnical engineering and geomorphology*, New York, NY: Wiley, 1987, pp. 187–230.
- [15] N. Coppin and I. Richards, *Use of vegetation in civil engineering*. London: Butterworths, 1990.
- [16] D. H. Gray, "Influence of Vegetation on the Stability of Slopes," in *Vegetation and Slopes: Stabilisation, protection and ecology.*, Institution of Civil Engineers, UK, 1995, pp. 2–25.

- [17] F. Haji Ali and N. Osman, "Shear Strength of a Soil Containing Vegetation Roots," *Soils Found.*, vol. 48, no. 4, pp. 587–596, 2008.
- [18] M. Nordin Abdullah, N. Osman, and F. Haji Ali, "Soil-root Shear Strength Properties of Some Slope Plants," *Sains Malaysiana*, vol. 40, no. 10, pp. 1065–1073, 2011.
- [19] M. Saifuddin and N. Osman, "Rooting Characteristics of some Tropical Plants for Slope Protection," *J. Trop. For. Sci.*, vol. 28, no. 4, pp. 469–478, 2016.
- [20] A. Silva Orozco, "Guía práctica para la estabilización de taludes en los suelos de Costa Rica utilizando vegetación nativa," Universidad de Costa Rica, 2013.
- [21] C. Maffra, R. Sousa, F. Sutili, and R. Pinheiro, "The effect of roots on the shear strength of texturally distinct soils," *Floresta e Ambient.*, vol. 26, no. 3, p. e20171018, 2019.
- [22] R. Galván, "Entrevista a Rubén Galván - Jefe del Departamento de Ensayos de Materiales del Ministerio de Obras Publicas 2019," 2019.
- [23] J. de D. Cedeño, "Entrevista a Juan de Dios Cedeño - Sección Ambiental del Ministerio de Obras Públicas," 2019.
- [24] Ministerio de Desarrollo Agropecuario, "Resultados de la Zonificación Agro-ecológica de 20 Especies de Pastos y Forrajes en la República de Panamá." República de Panamá, 2009.
- [25] J. Jimenez and K. Espino, Guía de árboles y plantas arborescentes de la Universidad Tecnológica de Panamá, Extensión Tocumen. Panama City: Universidad Tecnológica de Panama, 2020.
- [26] V. Parera, "Leucaena for erosion control and green manure in Sikka," in *Proc. Leucaena Research in the Asian-Pacific Region*, 1982, pp. 169–173.
- [27] B. Guerrero, D. Herrera, and J. Frias, "Sistema Silvopastoril Leucaena Leucocephala en asocio con Cynodon dactylon (Alicia), en vacas de leche del Sistema de Doble Propósito." Instituto de Investigación Agropecuaria de Panama, 2013.
- [28] Smithsonian Tropical Research Insitute, "Smithsonian Tropical Research Institute." [Online]. Available: <https://stricollections.org/portal/>.
- [29] J. Sanchez de Lorenzo-Cáceres, "Notas sobre Bahuninia purpurea L., Bahuninia variegata L. y su híbrido Bahuninia x blakeana Dunn (Leguminosae-Caesalpinioideae)." 2014.
- [30] K. Verma, K. Sandeep, K. Rajesh, and C. Parkash, "Root structure, distribution and biomass in five multipurpose tree species of western himalayas," *J. Mt. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 519–525, 2014.
- [31] Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal de El Salvador, "Manual Técnico: El cultivo del achiote, Bixa Orellana L." .
- [32] T. Saavedra and C. Hernandez, "Fotografías de Achiote." Fumiales de Quebro, Panamá, 2019.
- [33] Autoridad del Canal de Panamá, Manual de Reforestación: Especies Frutales. Panamá: Autoridad del Canal de Panamá, 2009.

# Análisis de aumento del nivel del mar en Isla Colón, Bocas del Toro

## Sea level rise analysis in Colon Island, Bocas del Toro

Stefano Ciniglio<sup>1,2</sup>, Víctor Machado<sup>1,2</sup>, Ruby Vallarino<sup>2,3</sup>, Francisco Grajales Saavedra<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Hidrodinámica Costera (GIHC-UTP), Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Marítima Portuaria, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Geotecnia Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** El cambio climático genera afectaciones que amenazan la vida en el planeta como lo es el aumento del nivel del mar, situación que ha tomado un papel protagónico dentro de la preocupación mundial en los últimos años. Es por ello que organizaciones internacionales analizan estos impactos y generan planes para los tomadores de decisiones con miras a proteger la población. Panamá, al ser un país con costas en el océano Pacífico y mar Caribe, necesita la creación de mapas de inundación en zonas costeras, como la Isla Colón en la provincia de Bocas del Toro. Estos mapas son una herramienta para describir la magnitud y alcance del aumento del nivel del mar a una escala de tiempo en específico, encontrándose información valiosa en las proyecciones a los años 2050, 2080 y 2110. En este estudio se presentan mapas de inundación desarrollados con el programa Civil 3D, en el cual se utilizaron datos georreferenciados de Isla Colón suministrados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG). Entre los resultados se detallan las zonas más afectadas y vulnerables ante el aumento del nivel del mar en la Isla en tres periodos. La percepción pública relacionada al aumento del nivel del mar se evaluó por medio de encuestas a 300 personas. De manera simultánea se buscó concientizar a la población acerca del cambio climático y la vulnerabilidad de zonas costeras ante el aumento del nivel del mar.

**Palabras clave.** Aumento del nivel del mar, cambio climático, mapa de inundación costera.

**Abstract.** Climate change generates effects that threaten life on the planet, such as the rise in sea level, a situation that has taken a leading role in global concern in recent years. That is why international organizations analyze these impacts and generate plans for decision makers with a view to protecting the population. Panama, being a country with coasts in the Pacific Ocean and the Caribbean Sea, needs the creation of flood maps in coastal areas, such as Isla Colón in the province of Bocas del Toro. These maps are a tool to describe the magnitude and scope of sea level rise on a specific time scale, finding valuable information in the projections for the years 2050, 2080 and 2110. In this study, flood maps developed with the Civil 3D program, which used georeferenced data from Isla Colón provided by the Tommy Guardia National Geographic Institute (IGNTG). Among the results, the areas most affected and vulnerable to the rise in sea level on the island are detailed in three periods. Public perception related to sea level rise was evaluated through surveys of 300 people. Simultaneously, it sought to raise awareness among the population about climate change and the vulnerability of coastal areas to rising sea levels.

**Keywords.** Sea level rise, climate change, coastal flood map.

## 1. Introducción

Durante los últimos años los efectos del cambio climático han sido experimentados en la mayoría de los países del mundo, las consecuencias abarcan problemáticas como el aumento en el nivel del mar a causa del deshielo de los polos. Los países centroamericanos son los más afectados por este fenómeno, especialmente Panamá que al limitar con el mar Caribe al norte y el océano Pacífico al sur, se encuentra frente a una gran vulnerabilidad antes todos estos cambios.

El riesgo por aumento del nivel del mar es particularmente elevado en países que se encuentran áreas de elevación baja e islas pequeñas, ya que habrá pérdida de superficie terrestre a causa de las inundaciones. Un factor preocupante es el hecho que aproximadamente 10 % de la población mundial reside a menos de 10 m sobre el nivel del mar [1], por lo que las afectaciones en estas zonas habitadas cerca de las costas ocasionarían que la población se vea forzada a migrar hacia zonas más altas u otros países.

Es importante destacar que en Panamá se han identificado algunas zonas vulnerables al ascenso del nivel del mar las cuales son: el Archipiélago de las Perlas y Guna Yala, los Golfos de Los Mosquitos, Costas de Bocas del Toro, San Miguel, Parita y Chiriquí; Punta Chame, Punta Mala, Boca Chica y las costas de Colón [2], siendo seleccionada el área de Isla Colón en la provincia de Bocas del Toro para el desarrollo de este estudio.

El objetivo principal de la investigación recae en la generación de mapas georreferenciados para la proyección de zonas inundables a 2050, 2080 y 2110, de forma que este material cartográfico pueda servir como referencia a los tomadores de decisiones en la creación de planes que permitan evitar o disminuir los daños producidos por estos fenómenos. Por otra parte, otro de los pilares del estudio constituyó en realizar un sondeo a través de una encuesta a los habitantes en el área de Isla Colón, con la finalidad de obtener información desde el punto de vista social y paralelamente involucrar a la población. Finalizado el proceso de encuestas, se logró un total de participación de 300 personas, obteniendo resultados significativos que mostraban el nivel de concientización de la población.

## 2. Cambio climático

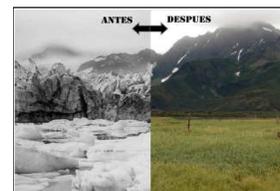
El clima global está determinado por su masa total, su distancia respecto al sol y la composición de su atmósfera. De acuerdo con los dos primeros factores, se estima que la temperatura media de la Tierra sería de aproximadamente  $-18^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, la temperatura media de la Tierra es  $33^{\circ}\text{C}$  más alta, es decir, alrededor de  $15^{\circ}\text{C}$ . Esto debido a la presencia en la atmósfera de pequeñas cantidades de vapor de agua (0 – 2 %), de  $\text{CO}_2$  (0.03 a 0.04%), así como de muy pequeñas cantidades de otros gases que absorben parte de las radiaciones térmicas de la superficie terrestre e impiden que escapen hacia el espacio exterior, constituyendo así el efecto de invernadero natural del planeta. La variabilidad climática de la Tierra, por otra parte, está determinada por tres factores: la variación en la concentración de gases de invernadero, actividad solar y actividad volcánica [3].

El cambio climático es un fenómeno provocado por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que está relacionado directa o indirectamente con actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y deforestación.

A partir de 1950 se han observado una serie de cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos, lo cual ha traído como consecuencia zonas con una disminución en el número de días fríos e incremento en el número de días cálidos en la escala global. También es probable que la frecuencia de las olas de calor en Europa, Asia y Australia hayan aumentado. Los ciclos hidrológicos en algunas regiones también se han visto afectados, ya que los episodios de precipitación intensa

han aumentado, como también han disminuido (e.g. el aumento en la frecuencia de las precipitaciones en América del Norte y Europa) [4].

Entre otras de las consecuencias del cambio climático es importante destacar que entre 1983 y 2012 se experimentó el periodo más cálido en los últimos 1400 años. Así como también se han incrementado los fenómenos de (1) aumento de la temperatura media del planeta, (2) la energía en olas, (3) la intensidad de las tormentas, (4) aumento del nivel del mar provocando inundaciones, (5) disminución de la capa de nieve, (6) la acidificación oceánica, (7) el contenido calórico del océano, (8) el deshielo de los glaciares y (9) la pérdida de hielo de las capas de Groenlandia y la Antártida (figura 1).



**Figura 1.** Cambio drástico en los glaciares de Alaska que se derriten y retroceden.

**Fuente:** USGS/CBS News.

Los efectos del cambio climático han generado también impactos directos sobre los seres humanos y animales, entre los que se destacan (1) la expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales [5], (2) inundaciones de terrenos costeros y ciudades, (3) tormentas más intensas, (4) las extinciones de incontables especies de animales, (5) fracasos en cultivos en áreas vulnerables, (6) aumento de sequías [6]. Asociados a estos potenciales cambios, habrá grandes alteraciones en los ecosistemas globales. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies arbóreas podrán variar significativamente como resultado del cambio climático global.

De manera global, los efectos del cambio climático sobre los seres vivos [7], se pueden clasificar en cuatro categorías:

1. Fisiológicos (fotosíntesis, respiración, crecimiento).
2. Distribución geográfica (tendencia de algunas especies a desplazarse hacia mayores altitudes o hacia los polos)
3. Fenológicos (alteración de ciclo de vida por efecto de fotoperíodo, horas/frío, etc.).
4. Adaptación (cambios micro-evolutivos in situ).

### 2.1 América Latina ante el cambio climático

De acuerdo con algunos informes presentados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los efectos del cambio climático tendrán un fuerte impacto en América Latina y el Caribe, fenómenos como el incremento en la intensidad y frecuencia de huracanes en el Caribe, el aumento de los niveles de las riberas en Argentina y

Brasil, y la reducción de los glaciares en la Patagonia y los Andes, generan gran preocupación en la región.

Por otra parte, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) indica que las personas en condiciones de pobreza y desigualdad son las más vulnerables ante el cambio climático. Actualmente, el 60% de la población mundial habita en las costas, por lo que las medidas de gestión de riesgos y reducción de vulnerabilidad frente al cambio climático son fundamentales para la justicia ambiental y social. América Central y el Caribe experimentarán más tormentas y huracanes, por lo que se estima una pérdida de 1/3 parte de las playas caribeñas.

Las repercusiones del cambio climático afectarán a los sectores productivos y económicos, generando consecuencias como pérdidas de empleos en los países en vías de desarrollo. Estas pérdidas estarán vinculadas en gran medida a la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos y al aumento de temperatura en sectores de actividades como la agricultura (cambios en la disponibilidad del recurso hídrico), piscicultura y acuicultura (cambios en la distribución de especies de peces), turismo (cambios en la elevación del nivel del mar y aumento de temperatura en destinos costeros e insulares).

## 2.2 Efectos del cambio climático en el futuro

En la última década, varios modelos complejos de circulación general han intentado simular los cambios climáticos antropogénicos futuros, llegando a las siguientes conclusiones [8]:

- Un calentamiento global promedio, de entre 1,5°C y 4,5°C ocurrirá, siendo la mejor estimación 2,5 °C.
- La estratosfera se enfriará significativamente.
- El entibiamiento superficial será mayor en las altas latitudes en invierno, pero menores durante el verano.
- La precipitación global aumentará entre 3% y 15%.

Otra de las conclusiones que arrojan los modelos es un aumento en todo el año de las precipitaciones en las altas latitudes, mientras que algunas áreas tropicales experimentarán pequeñas disminuciones. Modelos más recientes dependientes del tiempo, que acoplan los componentes oceánicos y atmosféricos, han entregado estimaciones más confiables, los resultados más significativos indican:

- Un calentamiento global promedio de 0,3 °C por década, asumiendo políticas no intervencionistas.
- Una variabilidad natural de aproximadamente 0,3 °C en temperaturas aéreas superficiales globales, en una escala de décadas.
- Cambios en patrones regionales de temperatura y precipitaciones similares a los experimentos de equilibrio.

## 2.3 Aumento del nivel del mar

Una de las problemáticas más preocupantes consecuencia del cambio climático, es el aumento del nivel del mar. Diferentes registros obtenidos por sistemas de sondeo,

mareógrafos y mediciones por satélite muestran que el nivel medio del mar a aumentado entre 10 a 20 centímetros. Sin embargo, la tasa anual de aumento en los últimos 20 años ha sido de 3.2 milímetros, en una velocidad aproximadamente que dobla la media de los 80 años precedentes [9].

Esta aceleración en el aumento del nivel del mar, está ligada principalmente con el deshielo en Groenlandia y la Antártida, situación que tiene el potencial para duplicar la tasa de aumento en el año 2100 a más de 60 centímetros, en vez de 30 con respecto a las proyecciones realizadas a partir de una tasa constante [10].

Adicionalmente, durante el siglo pasado la quema de combustibles fósiles, y otras actividades humanas y naturales liberaron en la atmósfera enormes cantidades de gases de efecto invernadero, provocando que la temperatura de la superficie de la Tierra haya aumentado y que los océanos hayan absorbido alrededor de un 80 por ciento de este calor adicional.

La mayoría de las predicciones afirman que el calentamiento del planeta continuará y probablemente se acelerará. Es probable que el nivel de los océanos siga aumentando, pero es imposible predecir a qué velocidad con exactitud. Adicionalmente, los ecosistemas manglar son altamente vulnerables al incremento del nivel del mar, las investigaciones de algunos expertos en el tema plantean que es pertinente considerar el análisis de la capacidad de respuesta de estos ecotonos a los cambios en el incremento del nivel de agua marina [11].

## 2.4 Consecuencias e impactos a la vida humana

Los países con áreas bajas y pequeñas islas están preocupados que sus áreas de tierra se reduzcan debido a inundaciones, si consideramos que el 10% de la población mundial vive en zonas costeras a menos de 10m sobre el nivel del mar, los impactos provocados en estas zonas habitables costeras pueden obligar a la población a retirarse y cambiar a zonas más altas o migrar a otros países [12].

Los impactos potenciales del aumento del nivel del mar sobre las estructuras costeras, zonas potencialmente afectadas por las inundaciones extremas y la influencia de las mareas, incluyen:

- Daños a propiedad e infraestructura debido a inundaciones producto de tormentas.
- Estructuras de protección contra inundaciones y erosión costera (muros de contención, rompeolas, estructuras de control de playa, etc.).
- Infraestructura a gran escala en la costa (centrales eléctricas, carreteras, ferrocarriles, etc.) potencialmente impactada por la erosión.

Modelaciones del cambio climático futuro en diferentes escenarios indican que el nivel del mar seguirá aumentando durante las próximas décadas e incluso siglos como ya se ha mencionado anteriormente [4], [13]. Dentro de estas

modelaciones se reportan procesos de erosión costera en muchas áreas de las costas del mundo [14], pero no se tiene muy claro si esto se debe en mayor parte al aumento del nivel del mar relacionado con el clima [15] o a factores no climáticos locales tales como (1) hundimientos del suelo, (2) manejo costero, (3) uso del suelo y cambios en el uso de la tierra, (4) olas y corrientes, (5) déficit en el suministro de sedimentos o (6) la combinación de todos los factores [16].

De todas las consecuencias del cambio climático, el aumento del nivel medio del mar es probablemente la que muestra menores incertidumbres acerca de su probabilidad de ocurrencia durante las próximas décadas. Por ello, existen numerosas publicaciones que abordan el cálculo a escalas globales, regionales e incluso locales, de los efectos de dicho aumento sobre diferentes entornos naturales o antrópicos [17].

### 3. Situación en Panamá

La República de Panamá, como el resto de los países de la región, es altamente vulnerable al cambio climático, estas vulnerabilidades se deben a varios factores entre ellos: [18].

- Los 2,490 km de costa existentes en Panamá incrementan el riesgo ya que en su mayoría son áreas habitadas.
- La falta de capacidad humana e institucional para lidiar contra desastres naturales.
- Los altos índices de pobreza.

Los efectos del cambio climático amenazan el desarrollo de Panamá, sobre todo por tratarse de un país de importante territorio costero-marino. Los fenómenos climáticos tienen un impacto aún mayor sobre las poblaciones en vulnerabilidad social y comunidades rurales. Sin embargo, en Panamá no hay una política integral de adaptación al cambio climático, ni diagnósticos integrales que permitan proyectar escenarios de riesgo futuros.

Es necesario destacar que, en Panamá, ya se han identificado las zonas más vulnerables al ascenso del nivel del

mar las cuales son: el Archipiélago de las Perlas y Guna Yala, los Golfos de Los Mosquitos, San Miguel, Parita y Chiriquí; Punta Chame, Punta Mala, Boca Chica y las costas de Colón (ver figura 2) [19].

Una de las áreas vulnerables ya mencionadas del atlántico de Panamá es la comarca Guna Yala en donde los nativos de la Isla Cangrejo serán el primer pueblo indígena del mundo en abandonar sus tierras por el cambio climático [20]. Así como esta isla, hay muchos pobladores de otras islas que están en la lucha contra el mar y como solución han optado por arrancar el coral de los arrecifes para crear diques naturales en un esfuerzo por salvar sus costas, lo cual es otro daño al ecosistema y esto se debe a la desinformación que existe en Panamá, por tal causa es de suma importancia estas investigaciones para tratar de mitigarlas.

Otra de las áreas vulnerables ante el aumento del nivel del mar es la Provincia de Bocas del Toro, tiene una superficie de 4543,9 km<sup>2</sup> [21], y se encuentra en la costa norte del caribe panameño, contiene algunos de los bosques lluviosos más extensos en Centroamérica y cuenta con 9 islas principales, 52 cayos y miles de islotes. Es hogar de unos de los Sitios de Patrimonio Mundial del UNESCO y el primer parque marino de Panamá. Su clima es predominantemente húmedo, con lluvias todo el año.

Dentro del archipiélago de esta provincia se encuentra la Isla Colón siendo la isla más poblada y es la cabecera de la provincia [22]. Isla Colón cuenta con sitios de importancia a la hora de la preservación de la historia como por ejemplo en la icónica Calle Tercera, aún figuran elementos estructurales de gran valor histórico, como el edificio de la Gobernación (1907) y el histórico Parque Bolívar. Otros, han sido preservados de la debacle, gracias a la oportuna intervención de individuos como Tito Thomas (Residente de la Zona), quien tuvo la visión de preservar la histórica sede de la United Fruit Company (1905) y convertirla en el famoso Hotel Bahía.



**Figura 2.** Estudios de vulnerabilidad en Panamá sectorizado ante el ministerio de ambiente (MiAmbiente).  
**Fuente:** Primera comunicación sobre el cambio climático-A.

## 4. Desarrollo de mapas de inundaciones en Isla Colón

La República de Panamá cuenta con una rica zona costera que en su mayoría se encuentra muy poblada. Estas zonas presentan una alta vulnerabilidad ante los cambios del nivel del mar, ya que al estar pobladas las consecuencias como pérdida de vidas humanas y materiales, incluyendo las viviendas, negocios, estructuras históricas entre otros marcarían un precedente en el desarrollo de dichas zonas. Por esta razón se ha escogido como área de estudio la zona de Isla Colón en Bocas del Toro, ya que estar localizada en las costas de la provincia de Bocas del Toro constituye una de las áreas más vulnerables en el atlántico del país.

Para la elaboración de esta investigación fue necesaria información georreferenciada de la zona a estudiar. Para esto se obtuvieron los siguientes mosaicos, el 3744 II-SW y 3744 III-SE (ver figuras 3 y 4) de Isla Colón en formato DWG con escala 1:25,000 en el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia que realiza actividades en geografía, cartografía y ciencias afines, para proveer información de utilidad en los proyectos de desarrollo socioeconómico del país.

Los Mapas georreferenciados de Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia en formato DWG cuentan con diferentes capas de información de las cuales se pueden mencionar vegetación, relieve, poblados, límites administrativos, límites hidrográficos y caminos de Isla Colón. Luego de obtener ambos mosaicos en DWG se unieron mediante el programa civil 3D para crear así un solo mosaico consecutivo.

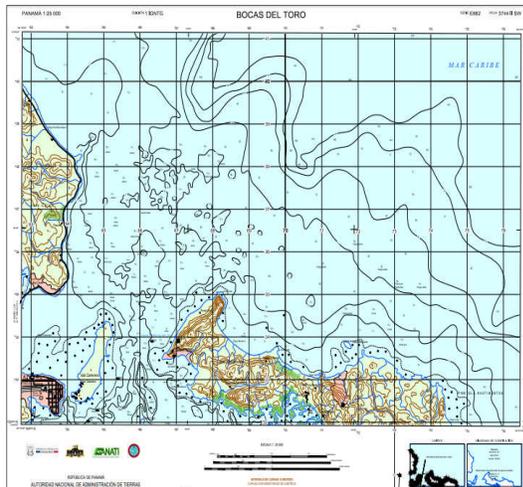


Figura 3. Mapa 3744 II-SW.  
Fuente: ANATI / Tommy Guardia Web / 2018.

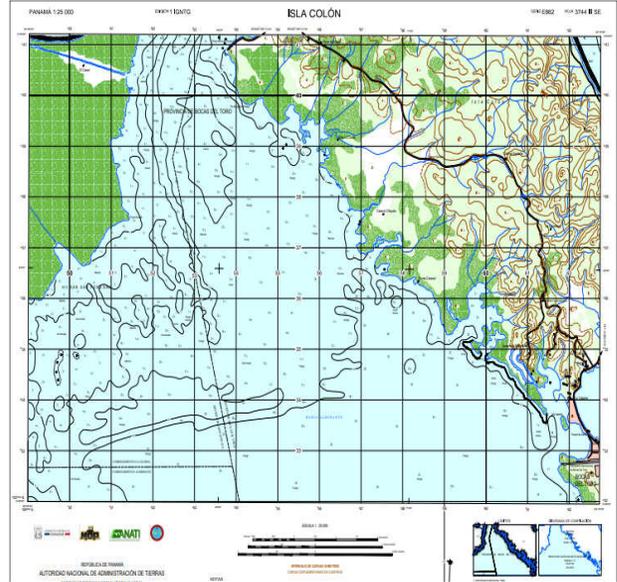


Figura 4. Mapa 3744 II-SW.  
Fuente: ANATI / Tommy Guardia Web / 2018.

Una vez hecho esto, se determinó con ayuda de la información de las capas cual debía estar activa y cuales debían ser eliminadas, ya que en este caso se centró el análisis solo en las curvas de nivel generadas en la parte de tierra de la isla por ende las curvas de nivel del mar se borraron o se apagaron en la vista general del mosaico. Adicional a esto, otras capas dentro del mosaico que debieron ser apagadas fueron las curvas de nivel subterráneas o ríos que se encuentran en el interior de la isla.

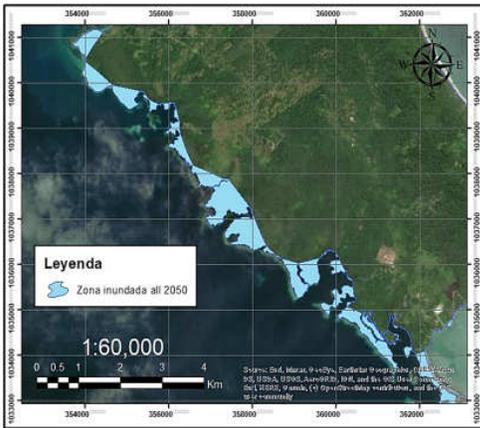
### 4.1 Proyección al año 2050

Para desarrollar esta etapa fue necesaria la variación en el aumento del nivel del mar en la zona de estudio por año, que según la información obtenida por la NASA (NASA's Jet Propulsion Laboratory, 2019) la variación es de 3.3 mm por año, por lo que la predicción para el 2050 es de 10 cm aproximadamente.

Una vez con esta información, fue calibrado el mapa para que se mostrara las interpolaciones cada 0.10 m, luego de esto ya se podría generar la superficie.

Teniendo en cuenta que sería inundado una sección con una altura de 0.10 m fueron tomados en consideración 2 mapas distintos para fusionarlos y representar la sección inundada. Primero fue tomado el mapa con la superficie generada a cada 0.10 metros y otro mapa con las curvas originales y se referenciaron ambos mapas para unirlos y representar la superficie inundada como se puede ver en las figuras 5 y 6.

Toda la superficie azul es el resultado del incremento de 0.10 m del mar al año 2050, es decir que toda la parte costera de la isla de sur a norte se verán afectados en gran medida y así su población costera deberá tomar medidas de desplazamientos a zonas más altas. Zonas más afectadas por este aumento al año 2050: (1) Playa Boca del Drago, (2) Playa Estrella, (3) Zona Hotelera Bocas villas, (4) Instituto de Investigaciones tropicales Smithsonian, (5) Playa Tortuga, (6) Playa Bluff.



**Figura 5.** Zona Norte de Isla Colón inundada a 0.10 m para el año 2050. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Efecto del aumento del nivel del mar en la parte de la ciudad de Isla Colón. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, específicamente en la zona más poblada de la isla se presenta otro escenario, como se puede observar, el impacto en esta parte de la isla será más significativo ya que aparte de afectar las zonas hoteleras, también afecta las zonas residenciales de la isla entre otros.

Algunas de las zonas donde será más evidente dicho impacto serán:

1. Hoteles como Selina, Tropical Suites, barco hundido, hotel bocas Town.
2. Cercanías al aeropuerto Internacional José Ezequiel Hall.
3. Muelle Bocas Marina.

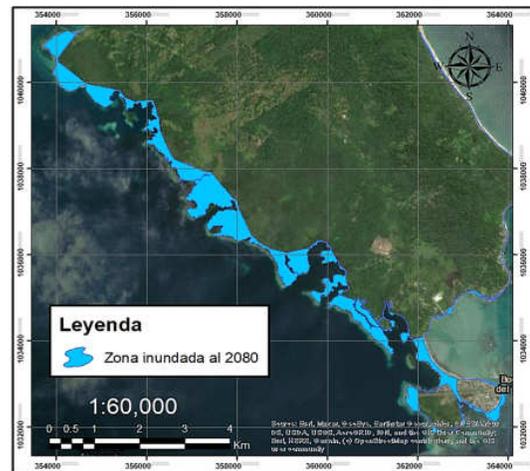
#### 4.2 Proyección al año 2080

Para esta etapa se utilizó el mapa explotado a 0.10 m cada curva de nivel y a partir de allí se procedió a calcular el aumento para el año 2080 que según la predicción de la NASA (NASA's Jet Propulsion Laboratory, 2019) es de 3.3 mm por año, de esta manera el cálculo sería una aproximación de 0.20m de aumento del mar para dicho año.

Luego que se obtuvo la medida de elevación del mar, se procedió a seleccionar las curvas de nivel que se verán afectas por dicho aumento y se trasladó a otra ventana de dibujo en Civil 3D para trabajarla.

La zona oeste como se muestra en la figura 8 es la más afectada y según la predicción para el año 2080 estará más perjudicada, ya que para el año 2050 se impacta la zona costera y se aproximan a las áreas residenciales, pero para la modelación del 2080 será afectada más tierra firme y con ello playas, hoteles, residencias y plantaciones, así como reservas forestales que abarcan gran parte de la isla.

En la figura 7 se aprecia, como la superficie cubierta afectará toda la zona hotelera actual de la isla, así como parte del aeropuerto internacional de la isla, la proyección para el 2080 muestra una inundación no uniforme, ya que la isla cuenta con elevaciones variantes en todos sus puntos por lo que perderá mucha parte de tierra.



**Figura 7.** Impacto en la zona oeste de Isla Colón por el A.N.M al año 2080. Proyección de zona inundada ciudad de Isla Colón al año 2080 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 8.** Impacto en la zona oeste de Isla Colón por el A.N.M al año 2080. Proyección de zona inundada ciudad de Isla Colón al año 2080. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Modelación para el 2110

Como en la proyección anterior del año 2080, en esta proyección se utilizó el mapa explotado a 0.10 m cada curva de nivel y a partir de allí se procedió a calcular el aumento para el año 2110 que según la predicción de la NASA (NASA's Jet Propulsion Laboratory, 2019) es de 3.3 mm por año, de esta manera el cálculo sería una aproximación de 0.30 m de aumento del mar para dicho año.



**Figura 9.** Proyección de zona inundada ciudad de Isla Colón al año 2110. Fuente: Elaboración propia.

Un área gravemente afectada para esta modelación al año 2110, es la zona estrecha que conecta el área sur con el norte de la isla (ver figura 9), esta corta brecha de tierra forma parte de la carretera que une la ciudad de Isla Colón con las demás playas y zonas de la isla. Este estrecho solo tiene aproximadamente 1 metro de elevación con respecto al nivel medio del mar, por ende, al tener en cuenta que para el año 2110 el aumento será de 0.30 m, esta zona quedara prácticamente cubierta de agua, impactando así la comunicación terrestre de la isla y a la vez influyendo de manera negativa en la economía de la isla es decir el turismo.

## 5. Encuesta de percepción social

Para la realizar el proceso de encuesta se recorrieron zonas aledañas al Parque Simón Bolívar, ya que toda esta se encuentra habitada por diversas familias, así como de locales comerciales ya que es una de las calles principales de la isla; por ende, se pudo realizar gran parte de las encuestas en esta zona.

Durante el recorrido se pudo abarcar casi todas las principales calles y avenidas de la isla para la realización de este estudio, por otra parte, existen algunas zonas de la isla que no son habitables por lo que no se visitó las mismas.

A continuación, se detalla un mapa generado en Google Earth con los puntos de ubicación donde se estuvo realizando el proceso de encuestas (ver figura 10): los puntos en azul representan el primer día de aplicación de la encuesta, seguidamente los puntos rojos representan el segundo día y los puntos negros representan el tercer día. Adicionalmente, el logo de la persona sola significa el punto de partida y el logo de 2 personas equivale el punto de culminación.



**Figura 10.** Principales encuestados en Isla Colón. Fuente: Elaboración propia mediante Google Maps.

### 5.1 Discusión de los resultados de la encuesta

La realización de esta encuesta tuvo como objetivo principal aplicar un proceso interrogativo a los ciudadanos de Isla Colón, para conocer así las percepciones del impacto del aumento del nivel del mar en la isla y sus posibles repercusiones. Adicional a esto, con esta información obtenida lograr ponderar el nivel de concienciación con que constan las personas en la isla.

Estas encuestas fueron realizadas en Isla Colón, Bocas del Toro teniendo, se recolectó un total de 300 opiniones, lo cual corresponde a una muestra con 92% de confianza y 5% de error. Los parámetros que fueron tomados en cuenta a la hora de realizar las preguntas fueron:

- Desarrollar cuestionamientos simples de carácter social que inicialmente dieran confianza al encuestado de dar una respuesta coherente y también se permitió evaluar ese sentir de responsabilidad con el lugar donde viven.
- Limitar la edad de los encuestados, es decir, se tomaron en consideración solo a personas mayores de 18 años, ya que los resultados podrían ser más certeros por el nivel de razonamiento.

En si la encuesta se desarrolló para que la persona encuestada diera a conocer su entorno y su pensar en algunas situaciones sugeridas por el estudio.

Inicialmente, dentro del estudio, se tomaron en cuenta algunas interrogantes que no debían ser contestadas por el encuestado, sino que eran de percepción visual, como, por ejemplo, el estado actual de su vivienda; y otros que, si debían ser respondidos como su nivel de educación, su situación laboral actual, cuantificar las personas adultas y menores que residen en el mismo hogar, etc. Todo esto, para tener una perspectiva más completa de cada encuestado.

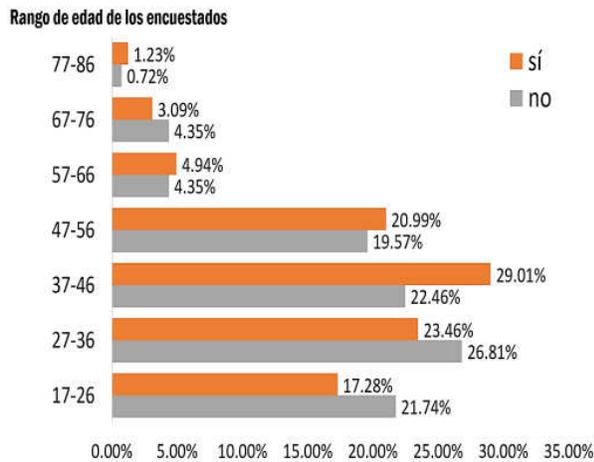
Para efectos de lograr asignar una evaluación numérica y de esta forma realizar una ponderación de la percepción social sobre el tema en estudio, se utilizaron una serie de criterios, los cuales se encuentran detallados en la tabla 1. Es importante destacar que en este artículo se presentan solamente las preguntas que tenían significancia para efectos de evaluar la percepción social del tema. Durante la encuesta fue bastante común que los habitantes se extendieran comentando y preguntando sobre sus experiencias vividas.

La muestra analizada parece indicar que los encuestados en un rango de edad de 37 a 56 años conocen sobre el aumento del nivel del mar, en tanto que la población joven se encuentra menos informada acerca del tema (figura 11).

Tabla 1. Escala utilizada para ponderación de resultados de la encuesta

|  | 1 (Percepción baja)  | 2 (Percepción media)  | 3 (Percepción alta)  |
|--|--|---|--|
| ¿Ha notado aumento del nivel del mar en los últimos años?  | Tienen conocimiento nulo de que sería el aumento del nivel del mar.  | Han escuchado sobre el aumento del nivel del mar  | Conocen información. Pueden identificar variaciones en nivel del mar con respecto a años anteriores  |
| ¿Qué causas considera usted pueden provocar que las inundaciones por lluvias sean más intensas?            | No identifica posibles causas  | Piensen que el aumento de las inundaciones es una consecuencia exclusiva de actividades antrópicas en la isla.            | Consideran que, en adición a las actividades antrópicas, el aumento del nivel del mar está incidiendo en las inundaciones de la Isla Colón                 |
| ¿Tiene usted conocimiento de las áreas que se inundan en la comunidad?                                     | Desconoce sobre áreas inundables y no manifiesta interés al respecto.  | Están al tanto de los riesgos de inundación, pero desconocen áreas afectadas.   | Les preocupa las consecuencias de la inundación y están informados al respecto.  |
| ¿Considera posible que en el futuro usted y su familia puedan ser afectados por alguna inundación intensa? | No identifica posibles afectaciones debido a inundaciones y resta importancia al tema.                         | Identifica posibles afectaciones que puedan suceder debido a inundaciones. No manifiesta interés en medidas de mitigación | Altamente conscientes de los riesgos existentes de las inundaciones, de las causas de estos y manifiesta preocupación por encontrar medidas de mitigación. |
| ¿Considera que ante la ocurrencia de un evento de esta naturaleza usted y su familia deberían evacuarse?   | Niegan que el aumento del nivel del mar produzca un evento de este tipo y no conocen las consecuencias graves. | Conocen los riesgos de las inundaciones, pero no toman esta acción (evacuar) como pertinente.                             | Personas conscientes del peligro ante una inundación, saben que deben evacuar en caso de emergencia.   |
| ¿Conoce de los planes de prevención de desastres aplicados en la comunidad?                                | No se familiarizan con el tema por lo que no le dan atención al mismo.   | Están de acuerdo de que necesitan prevenir los desastres mas no están informados de cómo.                                 | Admiten conocer planes de prevención y no están seguro si son aplicados en su comunidad.   |

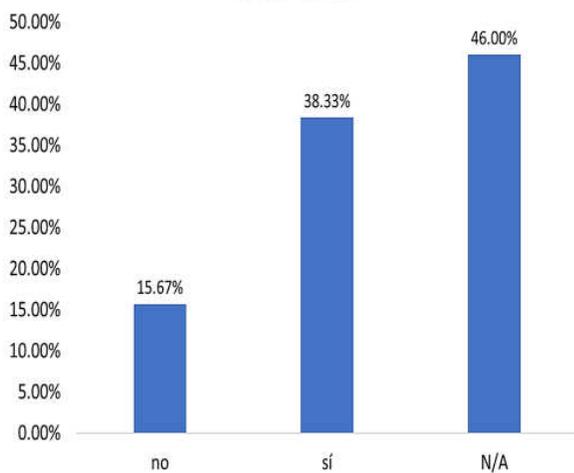
**De las personas familiarizadas con el aumento del nivel las edades de 27 a 56 años son las mas informadas del tema.**



**Figura 11.** Percepción del aumento del nivel del mar por rango de edad.  
Fuente: Elaboración propia.

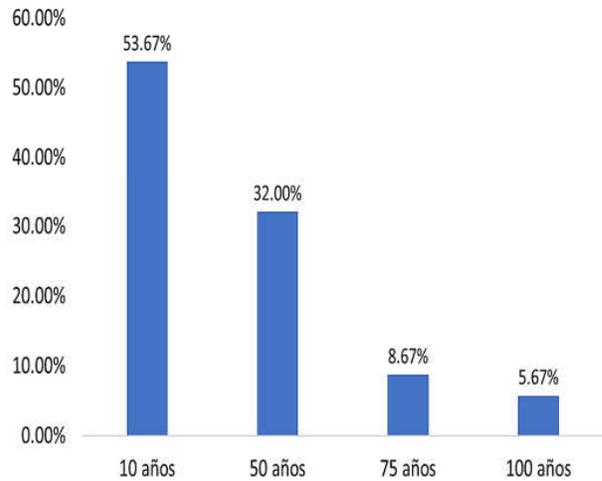
La figura 12 muestra las respuestas de los encuestados ante la pregunta de si han experimentado u observado evidencias de aumento del nivel del mar en los últimos años. Se observa que solamente un 38.33 % de la muestra logra identificar los efectos producidos por aumento del nivel del mar. Por otra parte, en la figura 16 sobre la percepción de perdida de playa, un 53.67% de los encuestados considera que en 10 años el mar cubrirá las playas de la comunidad.

**¿Ha notado aumento del nivel del mar en los últimos años?**



**Figura 12.** Percepción del aumento del nivel del mar por rango de edad.  
Fuente: Elaboración propia.

**¿Cuánto crees que tarde el aumento del nivel del mar en cubrir las principales playas de la comunidad?**



**Figura 13.** Percepción del tiempo de pérdida de playas.  
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se muestran todas las preguntas que se utilizaron y fueron incluidas en el estudio interrogativo realizado en Isla Colón. Se utilizó la ponderación de 1 al 3, donde 1 representa falta de interés al tema, 2 representa concienciación moderada y 3 concienciación completa.

Este promedio da como resultado que la población tienen una concienciación media alta.

**Tabla 2.** Resultados de la ponderación de percepción

| Pregunta:  | Ponderación |
|--|-------------|
| ¿Ha notado aumento del nivel del mar en los últimos años?  | 1           |
| ¿Qué causas considera usted pueden provocar que las inundaciones por lluvias sean más intensas?            | 3           |
| ¿Tiene usted conocimiento de las áreas que se inundan en la comunidad?                                     | 3           |
| ¿Considera posible que en el futuro usted y su familia puedan ser afectados por alguna inundación intensa? | 3           |
| ¿Considera que ante la ocurrencia de un evento de esta naturaleza usted y su familia deberían evacuarse?   | 3           |
| ¿Conoce de los planes de prevención de desastres aplicados en la comunidad?                                | 2           |
| <b>Valor promedio:</b>   | 2.5         |
| <b>Percepción de la muestra:</b>   | Media Alta  |

## 6. Conclusiones

Dentro del estudio se realizó la confección de mapas de inundación con respecto al aumento del nivel del mar en Isla Colón para cada 30 años, es decir para el año 2050, 2080 y 2110 en lo que se obtuvo como resultado (basado en datos proyectados de aumento por año) las zonas más vulnerables a cada periodo de tiempo: Playa Boca del Drago, Playa Estrella, Playa Tortuga, zona oeste de la isla, zona hotelera en la costa sur de la isla, muelle Bocas Marina, parte del aeropuerto internacional y una franja de terreno que une la ciudad de Isla Colón con el lado norte de la isla.

Los mapas elaborados pueden ser utilizados como elementos para la toma de decisiones preliminares y la elaboración de planes de mitigación, sin embargo, resulta recomendable la realización de estudios a mayor profundidad, en los cuales se cuente con el financiamiento para realizar batimetrías y evaluar no solamente el tema de aumento del nivel del mar, sino también la degradación de la costa a través del tiempo.

En base a los resultados presentados en mapas, es posible indicar que la zona de mayor riesgo es el área urbana (zona oeste) de Isla Colón. Esto obedece a que la zona está casi en su totalidad a nivel del mar.

Basado en los resultados del análisis de encuestas realizadas, se puede concluir que la población desconoce sobre el tema del aumento del nivel del mar, sin embargo, si son conscientes de que existen riesgos de inundaciones. Se considera pertinente el establecimiento de planes de docencia, mediante los cuales la población pueda ser informada sobre el fenómeno y las posibles alternativas de mitigación existentes. Para estudios futuros, se recomienda la consecución de financiamiento, de modo que se pueda realizar un muestreo representativo adecuado no solamente en Isla Colón, sino en otras localidades de la provincia que también son propensas a inundaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Luis Muñoz y al Ing. Manuel Castellero, por el apoyo brindado a esta investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

[1] ONU Mexico, "Las personas y los océanos," 2017. [Online]. Available: <http://www.onu.org.mx/las-personas-y-los-ocanos/>.

- [2] ANAM, "Vulnerabilidad al cambio climático y medidas de adaptación," in *Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, ANAM, Ed. Panama, 2000, pp. 84–123.
- [3] M. González Elizondo, E. Jurado Ybarra, S. González Elizondo, Ó. Aguirre Calderón, J. Jiménez Pérez, and J. Nívar Cháidez, "Cambio climático mundial: origen y consecuencias," *Cienc.UANL*, vol. 6, no. 3, pp. 377–386, 2003.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, *Effects of antimalarial drugs on movement of Plasmodium falciparum*, vol. 43, no. 1, 2013.
- [5] D. Becker, "Global Warming Central: Debate number three.," 1997.
- [6] D. A. Lashof, B. J. DeAngelo, S. R. Saleska, and J. Harte, "Terrestrial ecosystem feedbacks to global climate change," *Annu. Rev. Energy Environ.*, vol. 22, no. 1, pp. 75–118, 1997, doi: 10.1146/annurev.energy.22.1.75.
- [7] L. Hughes, "Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent?," *Trends Ecol. Evol.*, vol. 15, no. 2, pp. 56–61, 2000, doi: 10.1016/S0169-5347(99)01764-4.
- [8] G. Mogens and R. Barra, "El cambio climático global," *Univ. Concepción, Cent. Eula-Chile*, vol. 77, no. 9, 1997.
- [9] National Geographic, "Causas del calentamiento global | National Geographic," 2010.
- [10] CNN and B. Miller, "Observaciones satelitales revelan que el nivel del mar sigue subiendo y a una velocidad acelerada | CNN," *CNN*, 2018.
- [11] M. D. L. Olivo, E. Letherny, C. P. Ramos, and M. Sosa, "PÉRDIDAS DE TIERRA EN LA COSTA VENEZOLANA DEBIDO AL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR," *Asoc. Interciencia Caracas, Venez.*, vol. 26, no. 10, 2001.
- [12] G. McGranahan, D. Balk, and B. Anderson, "The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones," *Environ. Urban.*, vol. 19, no. 1, pp. 17–37, 2007, doi: 10.1177/0956247807076960.
- [13] J. A. Church *et al.*, "Sea-Level Rise by 2100," vol. 342, no. December, pp. 1445–1447, 2013.
- [14] E. C. F. Bird, "The modern prevalence of beach erosion," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 18, no. 4, pp. 151–157, 1987, doi: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(87\)90238-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(87)90238-4).
- [15] P. Vellinga and S. P. Leatherman, "Sea level rise, consequences and policies," *Clim. Change*, vol. 15, no. 1–2, pp. 175–189, 1989, doi: 10.1007/BF00138851.
- [16] E. C. F. Bird, "Coastal Erosion and Rising Sea-Level," 1996, pp. 87–103.
- [17] P. Fraile Jurado and J. Ojeda Zújar, "Evaluación de la peligrosidad asociada al aumento de la superficie inundable por la subida del nivel medio del mar en la costa entre Cádiz y Tarifa," *GeoFocus*, vol. 12, pp. 329–348, 2012.
- [18] ANAM, "Segunda Comunicación Nacional ante la convención, Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.," Panama City, 2011.
- [19] MiAmbiente, "El cambio climático," Panama, 2012.

- [20] BBC News and L. Pressly, “El plan de fuga de los indígenas para escapar de sus islas paradisíacas antes de que desaparezcan bajo el mar en Panamá - BBC News Mundo,” 2017.
- [21] Instituto Nacional de Estadística y Censo, “Superficie, población y densidad de población en la república, según provincia, comarca indígena, distrito y corregimiento- censo 2010.,” 2010.
- [22] G. Budowski, *Memorias del seminario internacional de ecoturismo: políticas locales para oportunidades globales*. 2001.

# Evaluación de fluidos caloportadores no convencionales para aplicación solar térmica: Un estudio numérico en Panamá

## Evaluation of unconventional heat transfer fluids for solar thermal application: A numerical study in Panama

Alessandra Arcia<sup>1,2</sup>, Norbert Díaz<sup>1,2</sup>, Alejandro Medina<sup>1,2</sup>, Miguel Chen Austin<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería Mecánica,

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso

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

**Resumen.** En este estudio se llevó a cabo la investigación para determinar el potencial de los nanofluidos como fluidos caloportadores no convencionales en colectores solares en un país con tanto potencial térmico como Panamá. Luego de hacer la investigación preliminar sobre cuatro posibles fluidos caloportadores, encontramos que los nanofluidos de CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> con agua como fluido base poseen propiedades térmicas de gran interés. Después se realizó la simulación de un sistema de colector solar simple a través del *software* TRNSYS y se utilizaron las condiciones climáticas de Panamá. Se utilizó un intercambiador de calor de contraflujo para suministrar el agua caliente sanitaria a una residencia estándar de cuatro personas, donde cada una consume 50 litros diarios. Se logró comprobar que los nanofluidos son fluidos caloportadores más eficientes que el fluido convencional (agua), siendo el SiO<sub>2</sub> el mejor nanofluido a la hora de escoger el intercambiador de calor que vaya a utilizarse, por lo que estos fluidos caloportadores no convencionales podrían ser posibles sustitutos para nuevos colectores en un futuro.

**Palabras clave.** Colector solar, fluidos caloportadores, intercambiador de calor, nanofluido, transferencia de calor.

**Abstract.** In this study, research was carried out to determine the efficiency of nanofluids as unconventional heat transfer fluids in solar collectors in a country with as much thermal potential as Panama. After doing preliminary research on four possible heat transfer fluids, we found that CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanofluids with water as the base fluid have thermal properties of great interest. Afterwards, the simulation of a simple solar collector system was carried out through the TRNSYS software using the climatic conditions of Panama. A counter flow heat exchanger was used to supply the domestic hot water to a standard residence of four people, where each one consumes fifty liters of water per day. It was possible to verify that nanofluids are more efficient heat transfer fluids than the conventional fluid (water), with SiO<sub>2</sub> being the best nanofluid when choosing the heat exchanger to be used; therefore, these unconventional heat transfer fluids could be possible substitutes for new collectors in the future.

**Keywords.** Solar collector, heat transfer fluids, heat exchanger, nanofluid, heat transfer.

## 1. Introducción

Los colectores solares son dispositivos que pueden producir calor y energía a alta temperatura de manera eficiente gracias al calor obtenido por la radiación solar. Son aplicados en sistemas de calentamiento, secado, refrigeración, agua sanitaria, entre otros [1]. Utilizados principalmente para calentar un fluido caloportador, que actúa como fluido de trabajo para el calentamiento de agua en residencias, hoteles, hospitales, entre otros. El procedimiento consiste en calentar el agua fría que proviene de la red de tubería, esta se almacena en un acumulador, el fluido caloportador circula dentro del acumulador, elevando la temperatura del agua,

al combinarse con el agua fría en una válvula mezcladora, se fija una temperatura de salida, proporcionando de esta manera agua caliente lista para usos requeridos [2].

La transferencia de calor es de gran importancia en distintas áreas, no obstante, algunos de los fluidos convencionales utilizados en la mayoría de los casos poseen bajas conductividades térmicas, afectando el proceso de transferencia de calor. Es por esto que surge la necesidad de optimización de estos fluidos caloportadores o nuevas alternativas, para el mejoramiento de la conductividad térmica [3].

Los fluidos caloportadores que estudiaremos serán los nanofluidos, estos se describen como suspensiones compuestas de partículas sólidas de un tamaño inferior a 100 nm. Constan de propiedades fisicoquímicas que los vuelven óptimos para su uso como fluido refrigerante, al poseer una mayor eficiencia, se logrará un ahorro energético, ya que la energía consumida en términos de fluido caloportador será menor. La principal razón de utilizar nanopartículas es la de aumentar la capacidad de transferencia de calor del fluido [4].

El proceso por el cual las partículas son dispersadas en el líquido juega un papel importante en las propiedades finales, y por esto existen dos tipos de métodos de preparación de nanofluidos: El primero es el método de un paso, el cual consta de administrar las nanopartículas en forma de polvo seco en la solución base, para que se dispersen a tal punto de formar una suspensión homogénea y estable [5]. El segundo método es el de dos pasos y suele llevarse a cabo en baños de ultrasonidos, sondas de ultrasonidos, agitadores magnéticos, entre otros. El más utilizado es el de sondas de ultrasonido, que conserva las propiedades ideales del nanofluido para su aplicación térmica [6].

### 1.1 Estado del arte

Se estudiarán cuatro nanofluidos en específico, el óxido de cobre (CuO) que tiene aplicaciones en los colectores solares de tubos de vacío (de temperatura media) [7], pero también para colectores solares planos, el óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), el óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>); estos tres últimos, todos con aplicaciones en colectores solares planos [8]. Algunas características de cada uno se presentan en la tabla 1.

El CuO, ha sido de mucho interés por sus propiedades térmicas, las cuales, haciendo una modificación en su composición, se puede optimizar de gran manera las propiedades como la conductividad térmica, la capacidad calorífica, entre otras.

El SiO<sub>2</sub> y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son algunos de los nanofluidos de óxido metálico que han sido de interés para muchos investigadores recientemente debido a sus propiedades térmicas y físicas crecientes [8].

En una investigación experimental numérica de Hawwash y col. se utilizó Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como nanofluido y agua como fluido base, con el tensioactivo Triton X-100, con un rango de volumen de 0.1-3% (De la solución final), mejoró la eficiencia del colector solar plano de 3 a 18%, también es importante mencionar que el caudal afecta la eficiencia, y para este estudio el caudal de 5.5 L/min, equivalente a 9.167x10<sup>5</sup> (m<sup>3</sup>/s) fue considerado el mejor. Si se aumenta la concentración de volumen a un 0.5% se alcanza la eficiencia máxima, luego de este porcentaje causará un efecto negativo [9].

Con el nanofluido TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, el estudio realizado por Said, Z., la fracción de volumen de las nanopartículas fue de 0.1% y

0.3% respectivamente, mientras que los caudales máxicos del nanofluido variaron de 0.5 a 1.5 kg/min, por lo que calculando un promedio de caudal máxico de 1 kg/min, es lo mismo que 3.99x10<sup>-6</sup>m<sup>3</sup>/s [10].

Otro estudio experimental numérico de Verma y col. en un colector solar plano de 0.375 m<sup>2</sup>, para los nanofluidos CuO/H<sub>2</sub>O y SiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O respectivamente.

Se calculó el número y la eficiencia térmica del colector solar plano, siguiendo la norma ASHRAE 93-2003, con fracciones de volumen de 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5% y los caudales máxicos de 0.01- 0.05 kg/s fueron los que se utilizaron para este estudio. Los experimentos mostraron que en la fracción de volumen de 0.75% y caudal de 0.025 kg/s, mejoraron la eficiencia térmica del colector en un 12.64% y 4.08% para, CuO/H<sub>2</sub>O, y SiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, respectivamente [9].

Según el estudio de Bellos y Tzivanidis, aplicando diferentes nanopartículas como fluidos caloportadores, se demostró que el más eficiente fue CuO, debido a la alta conductividad térmica que posee, seguido del SiO<sub>2</sub> que tiene el calor específico más alto en cualquier volumen concentración [11].

**Tabla 1.** Propiedades físicas de los nanofluidos en un colector solar plano con agua como fluido base [9], [10]

| Tipo de nano partícula     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CuO                  | SiO <sub>2</sub>     | TiO <sub>2</sub>     |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tamaño (nm)                | < 20                           | 10                   | 44                   | 21                   |
| Fracción de Volumen (%)    | 0.1                            | 0.75                 | 0.75                 | 0.2                  |
| Caudal (m <sup>3</sup> /s) | 9.2x10 <sup>-5</sup>           | 3.8x10 <sup>-6</sup> | 1.1x10 <sup>-5</sup> | 4.0x10 <sup>-6</sup> |

Se debe saber que las tres propiedades térmicas más importantes a la hora de estudiar un fluido caloportador son: la densidad, conductividad térmica, y calor específico [4].

La densidad del nanofluido caloportador se encuentra gracias a la relación de Pak y Cho [12], donde va a venir definida por la ecuación (1):

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_{np} + (1 - \varphi)\rho_{bf} \quad (1)$$

En la ecuación (1),  $\varphi$  es la concentración de volumen,  $\rho_{nf}$ ,  $\rho_{np}$  y  $\rho_{bf}$  son las densidades del nanofluido, nanopartícula y fluido base respectivamente. Esta expresión para la densidad, además de la relación de Pak y Cho, fue obtenida por medio del principio de la regla de mezclas o "mixture rule", aplicadas a la densidad [13].

Para la conductividad térmica del nanofluido, el modelo de Maxwell de conductividad térmica para mezclas sólido-líquido de partículas relativamente grandes (tamaño micro / pequeño) es bueno para concentraciones bajas de sólidos [14], por lo que la conductividad térmica efectiva para el nanofluido está expresada a través de la ecuación (2):

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_{np} + 2k_{bf} + 2(k_{np} - k_{bf})\phi}{k_{np} + 2k_{bf} - (k_{np} - k_{bf})\phi} \quad (2)$$

Donde  $\phi$  es la fracción de volumen de las nanopartículas, y  $k_{nf}$ ,  $k_{np}$  y  $k_{bf}$  son respectivamente los valores térmicos, es decir las conductividades del nanofluido, nanopartícula y fluido base [14].

Para el calor específico, concretamente para altas concentraciones, se utiliza la formula dada por la ecuación (3):

$$C_{p,nf} = \frac{(1-\phi)\rho_{bf}C_{p,bf} + \phi\rho_{np}C_{p,np}}{(1-\phi)\rho_{bf} + \phi\rho_{np}} \quad (3)$$

Donde  $\phi$  es la fracción de volumen de las nanopartículas,  $C_{p,nf}$ ,  $C_{p,np}$  y  $C_{p,bf}$  son los valores caloríficos del nanofluido, nanopartícula y fluido base, y  $\rho_{np}$  y  $\rho_{bf}$  son las densidades de la nanopartícula y el fluido base, respectivamente [11].

### 1.2 Análisis termodinámico

Una característica que deben cumplir todos los fluidos caloportadores es de no sobrepasar su temperatura de ebullición, si pasan de fase líquida a gaseosa, ocasionarán problemas en el rendimiento de la tasa de transferencia de calor del fluido. Si el flujo de calor de un sistema en ebullición es mayor que el flujo de calor crítico (CHF) del sistema, el fluido acumulado puede hervir, formando grandes burbujas que pueden bloquear el paso del fluido y el vapor termina aislando el fluido de la superficie caliente, lo que causará que el flujo de calor disminuya drásticamente.

Para determinar el punto de ebullición de cada fluido, se encontró que no hay una temperatura específica para cada fluido, porque estas van a depender de la fracción volumétrica del nanofluido, del tamaño de las nanopartículas, de las condiciones de presión en las que se encuentren y también del método de preparación al cual hayan sido sometidos [15].

En el estudio de transferencia de calor por ebullición en piscina de Fahmy y Aziz, se comprobó que la adición al agua de nanopartículas de  $Al_2O_3$  y de  $CuO$  provocó una disminución de la transferencia de calor de ebullición nucleada de la piscina a través del volumen la relación de fracción, variándola de 0.02% a 0.8% y de 0.02% a 0.20%, respectivamente. Se observó que la superficie calentada afecta dramáticamente el rendimiento de ebullición del agua, por lo tanto, el coeficiente de transferencia de calor disminuyó al aumentar la concentración de partículas [16].

Se asumirá un sistema idealizado sin pérdidas y con transferencia de calor perfecta, y al observar las temperaturas

promedio, así como las gráficas, se puede decir que los fluidos caloportadores no convencionales no sobrepasarán su punto de ebullición por lo que no ocasionarán este tipo de problemas en el sistema.

Así, el objetivo de este trabajo es evaluar el potencial de estos cuatro nanofluidos aplicándolos como fluidos caloportadores no convencionales en colectores solares.

## 2. Materiales y métodos

La elaboración de este trabajo inició con la búsqueda de información e investigaciones realizadas anteriormente referentes al tema escogido, con el fin de conocer cada uno de los diferentes fluidos caloportadores no convencionales posibles a emplear y sus características principales.

### 2.1 Evaluación de los fluidos caloportadores

Para la evaluación de los fluidos caloportadores, se procedió de la siguiente manera:

- Luego de la búsqueda, se eligieron los tipos de nanofluidos que más beneficios y eficiencia ofrezcan, ya que son los que van a llevar a cabo la producción de energía térmica para calentar el fluido.
- Se utilizó el *software* TRNSYS [17] para realizar las simulaciones mediante un circuito térmico para poder comprobar la eficiencia térmica de los fluidos caloportadores en el problema base, utilizando los datos de las condiciones climáticas de Panamá (figura 1).
- El estudio fue realizado durante un año, tomando en consideración que las temperaturas de cada mes se median de forma semanal, suponiendo que el uso del agua caliente sanitaria es de ocho horas al día.
- Se compararon los nanofluidos entre ellos, para elegir cual es el que mejor desempeño presenta en el colector solar. Las propiedades físicas de los cuatro fluidos estudiados se presentan en la tabla 2.

Para abordar el caso de estudio, se debe conocer que en Panamá hay cuatro rangos comunes de dimensiones para viviendas, 60 a 80  $m^2$ , 80 a 100  $m^2$ , 100 a 120  $m^2$ , y 120 a 150  $m^2$ . Para este estudio se implementaron seis dimensiones de vivienda diferentes: 60, 80, 100, 120, 150 y 200  $m^2$ .

**Tabla 2.** Propiedades Termofísicas de diferentes nanopartículas y del agua a T 300K [4]

| Propiedad Termofísica                  | $Al_2O_3$ | $CuO$ | $SiO_2$ | $TiO_2$ | Agua  |
|--|-----------|-------|---------|---------|-------|
| Densidad ( $\rho$ , $kg/m^3$ )         | 3890      | 6500  | 2200    | 4175    | 996.5 |
| Conductividad Térmica ( $k$ , $W/mK$ ) | 31        | 17.65 | 1.4     | 8.4     | 0.613 |
| Calor específico ( $c$ , $J/kgK$ )     | 795       | 533   | 745     | 692     | 4181  |

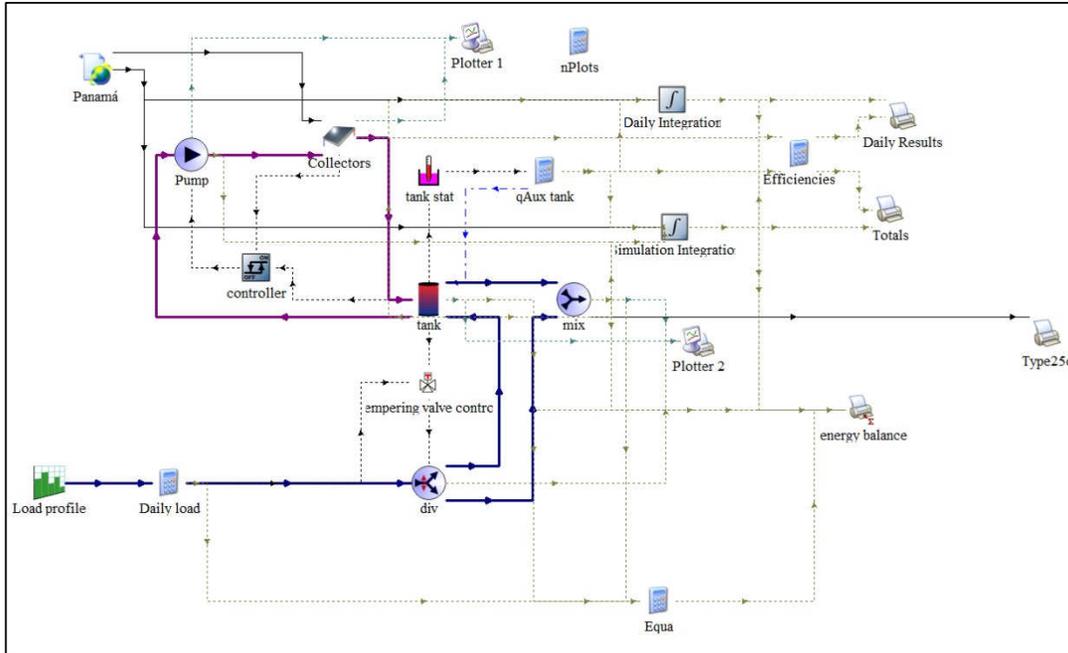


Figura 1. Circuito térmico del sistema en TRNSYS.

Se necesitó hacer el análisis del consumo de agua caliente en cada casa, por lo que se asumió la cantidad de litros consumidos por persona al día de acuerdo con el criterio de consumo de viviendas unifamiliares del IDAE [16], en una vivienda unifamiliar se consume alrededor de 50 litros de agua por día por persona, como se evaluó un máximo de cuatro personas por vivienda, fueron 200 litros por día en cada vivienda [16]. Es importante aclarar que el caso de estudio se asumió como un sistema ideal sin pérdidas y con transferencia de calor perfecta. En base a estos datos, el objetivo fue conocer cuál de los cuatro nanofluidos presenta una mejor tasa de transferencia de calor hacia el agua a utilizar en la residencia.

El circuito consta de un colector, un tanque, una bomba, un controlador, un tanque auxiliar, un mixer, un divisor y un tanque auxiliar. El colector se encarga de absorber la radiación solar y calentar el fluido, la bomba será la encargada de mover el fluido desde el colector hacia el tanque, pero estará condicionada a encenderse si cumple con las condiciones de temperatura del controlador. El tanque auxiliar funciona como una resistencia, y cuando la temperatura del tanque es menor a la que necesita para operar, esta se activa para que se caliente y el agua llegue más rápido a la temperatura deseada.

El tanque principal se divide en 2 secciones, la parte superior y la parte inferior; la parte inferior tiene una entrada de agua fría que proviene del divisor y una salida hacia la bomba; la parte superior tiene una entrada que proviene del colector y una salida hacia el mixer donde se dirige hacia el

intercambiador de calor para finalmente abastecer la residencia.

### 2.2 Dimensionamiento del intercambiador de calor para los fluidos caloportadores

Se utilizó un intercambiador de calor de contraflujo. La ecuación para obtener el coeficiente de transferencia de calor total es la siguiente:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_c}} \quad (4)$$

Donde  $U$  es el coeficiente de transferencia de calor total y  $h_f$ ,  $h_c$  son los coeficientes de convección [18]. Para su obtención se asumió que la viscosidad de los nanofluidos será igual a la del agua, debido a que los estudios realizados para la viscosidad en estos nanofluidos son muy variados y confusos por la cantidad de factores que se toman en cuenta.

Para obtener el calor que se transfiere del nanofluido al agua se utilizara la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = UA \Delta T \quad (5)$$

Donde  $\dot{Q}$  es la tasa de transferencia de calor,  $A$  es el área del tubo externo,  $\Delta T$  diferencia media logarítmica de temperaturas del nanofluido y el agua en el intercambiador [18].

$$\Delta T = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (6)$$

Los datos del intercambiador de calor fueron asumidos en base a los típicos usados a estos fines, el tubo con longitud de 1.43m, diámetro interior de 0.02 m y exterior de 0.03 m, y un área exterior de  $0.135m^2$ . Los valores de la tasa de flujo de calor fueron calculados teniendo como referencia que la temperatura promedio de salida del agua es de  $60^{\circ}C$ .

### 3. Resultados y discusión

Simulación de las temperaturas de entrada y salida del colector con cada fluido caloportador en TRNSYS, con su respectivo flujo másico:

- Fluido base (figura 2): Agua
- Mejor fluido caloportador (figura 3).  
Con las temperaturas de la parte superior e inferior del tanque se halla la temperatura y el flujo másico de salida del colector como agua caliente sanitaria (DHW):
- Fluido base (figura 4): Agua
- Mejor fluido caloportador (figura 5).

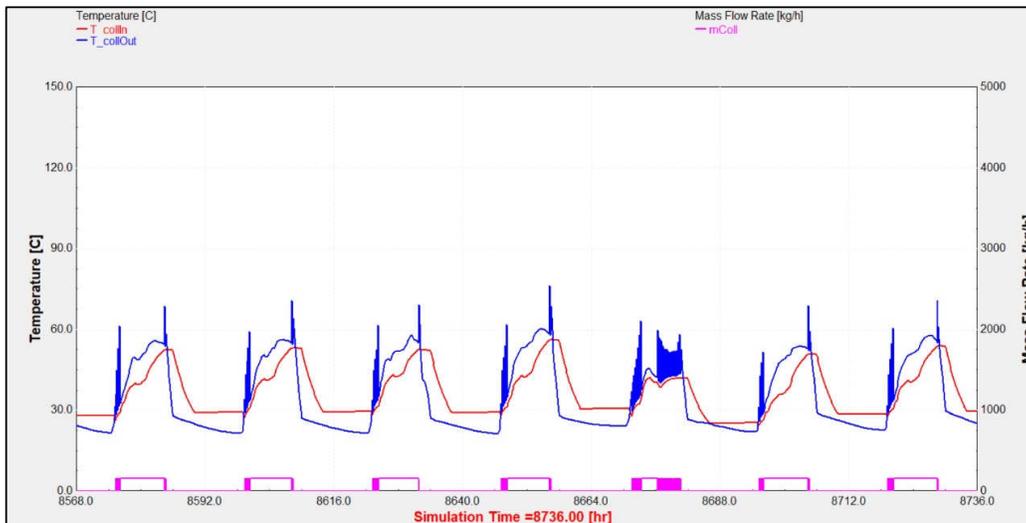


Figura 2. Simulación del agua.

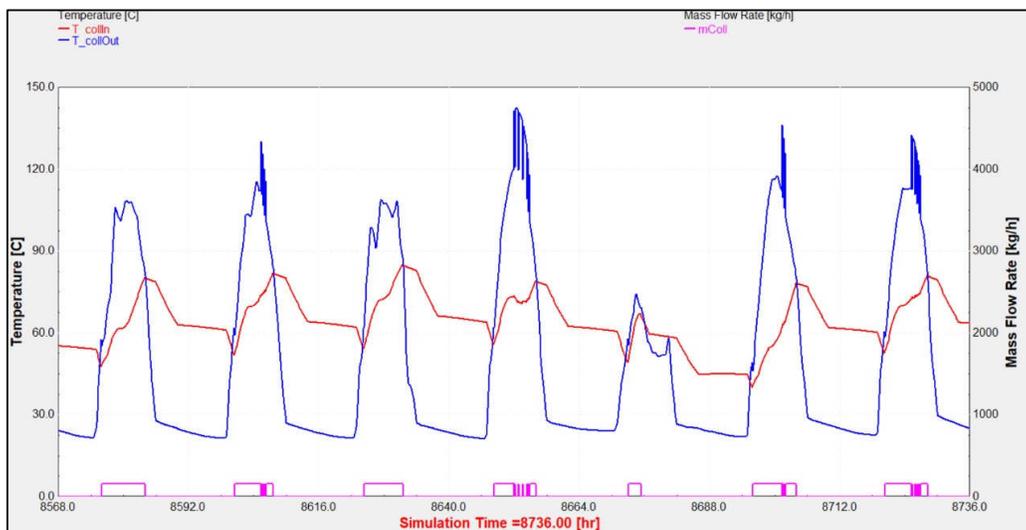


Figura 3. Simulación del SiO2.

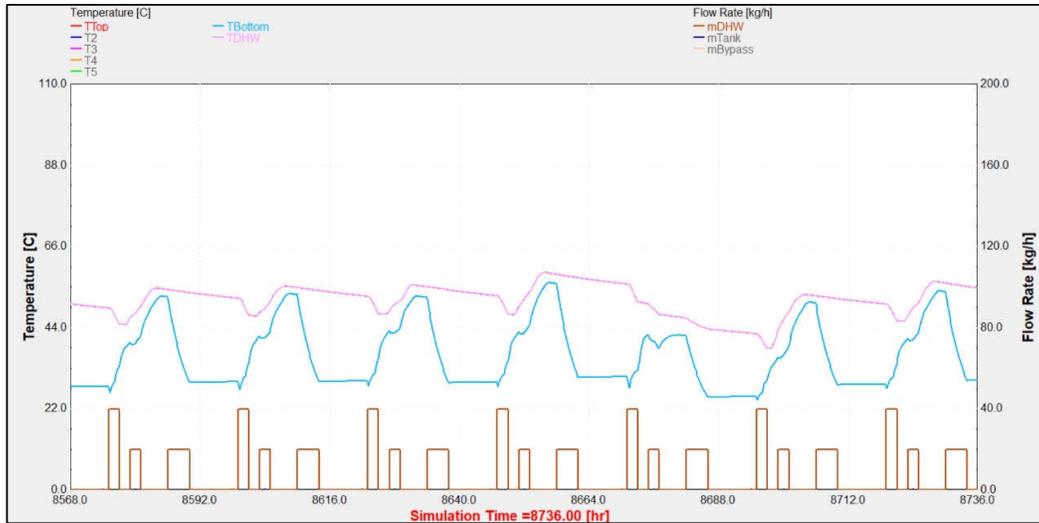


Figura 4. Simulación del agua en la última semana.



Figura 5. Simulación del SiO2 en la primera semana del mes.

Se observa que el flujo másico del fluido caloportador en las condiciones base trabajará solo durante ocho horas, y el patrón es similar en todos los casos. Como se necesitan 200 Litros diarios, el flujo másico del agua sanitaria sería de 25 kg/h suponiendo 8 horas de trabajo al día, lo que es equivalente a los 200 L por las ocho horas en un día, mientras que los fluidos caloportadores tendrán un flujo másico de 0.095 kg/s. Se obtuvieron las temperaturas mensuales promedio para cada fluido caloportador (tabla 3).

Las temperaturas del agua son inferiores a la temperatura objetivo de 60°C, por lo que no presentará un desempeño adecuado y no serán evaluados para la tasa de transferencia de calor. Con las temperaturas promedio de cada mes y las propiedades térmicas de cada fluido, junto con los datos del intercambiador de calor, haciendo uso de las ecuaciones (4) y (5) se calcula el coeficiente de transferencia de calor (tabla 4) y la tasa de flujo de calor (tabla 5).

Para el estudio el mejor fluido caloportador es el nanofluido de dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ) debido que este permitirá un

menor costo y tamaño del intercambiador de calor. En otras palabras, este fluido necesita ceder una menor cantidad de calor para lograr el mismo fin (calentar el agua hasta la temperatura deseada de 60°C).

**Tabla 3.** Temperaturas promedio mensuales de cada fluido caloportador en °C

| Temperaturas promedio mensuales (°C) |       |       |                                |                  |                  |
|--------------------------------------|-------|-------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Mes                                  | Agua  | CuO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> |
| Enero                                | 54.06 | 76.41 | 74.37                          | 74.76            | 76.31            |
| Febrero                              | 55.48 | 78.92 | 76.98                          | 76.61            | 78.42            |
| Marzo                                | 56.81 | 78.06 | 76.24                          | 75.62            | 77.55            |
| Abril                                | 44.58 | 72.88 | 68.78                          | 64.57            | 70.64            |
| Mayo                                 | 50.77 | 74.63 | 71.93                          | 71.75            | 73.96            |
| Junio                                | 49.64 | 74.23 | 71.55                          | 71.04            | 73.59            |
| Julio                                | 50.70 | 72.99 | 70.10                          | 70.94            | 72.27            |
| Agosto                               | 48.88 | 73.20 | 70.08                          | 70.13            | 72.34            |
| Septiembre                           | 50.32 | 73.82 | 70.74                          | 70.16            | 72.89            |
| Octubre                              | 53.93 | 76.96 | 74.74                          | 74.70            | 76.38            |
| Noviembre                            | 50.45 | 75.19 | 72.20                          | 72.17            | 74.49            |
| Diciembre                            | 52.72 | 77.46 | 75.24                          | 75.18            | 76.97            |

**Tabla 4.** Valor de coeficiente de transferencia de calor total

| Intercambiador         | Agua y Agua | Agua y CuO | Agua y Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Agua y TiO <sub>2</sub> | Agua y SiO <sub>2</sub> |
|------------------------|-------------|------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| U (W/m <sup>2</sup> K) | 215         | 279        | 266                                   | 248                     | 206                     |

**Tabla 5.** Tasa de Transferencia de Calor

| Tasa de Transferencia de Calor Mensual (W) |        |                                |                  |                  |
|--|--------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Mes  | CuO    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> |
| Enero                                      | 843.92 | 809.65                         | 629.83           | 802.16           |
| Febrero                                    | 900.63 | 870.93                         | 663.22           | 846.75           |
| Marzo                                      | 881.39 | 854.00                         | 645.63           | 828.63           |
| Abril                                      | 758.34 | 661.40                         | 399.66           | 669.58           |
| Mayo                                       | 801.83 | 748.30                         | 571.66           | 749.77           |
| Junio                                      | 791.96 | 738.53                         | 557.19           | 741.15           |
| Julio                                      | 761.30 | 699.15                         | 555.21           | 710.10           |
| Agosto                                     | 766.50 | 698.61                         | 538.01           | 711.67           |
| Septiembre                                 | 782.01 | 716.77                         | 538.75           | 724.85           |
| Octubre                                    | 856.50 | 818.73                         | 628.73           | 803.65           |
| Noviembre                                  | 815.30 | 755.54                         | 580.16           | 761.92           |
| Diciembre                                  | 867.99 | 830.44                         | 637.49           | 816.38           |

Comparando estos resultados, se comprueba lo visto en el estudio de Bellos y Tzivanidis que muestra al fluido

caloportador de CuO como el más eficiente en términos de transferencia de calor; sin embargo, en el caso de estudio, se quiso el fluido caloportador que menor tasa de transferencia de calor tenga, es decir el SiO<sub>2</sub> para un rendimiento igual reduciendo costos en el intercambiador de calor.

Esto indica que, dependiendo el tamaño de las nanopartículas y la fracción de volumen del nanofluido, afectaran de manera positiva o negativa la eficiencia térmica, siendo que mientras más grandes sean las nanopartículas y más grande sea la fracción de volumen, peor eficiencia térmica se tendrá, pero siempre dependiendo la aplicación y el enfoque que se desee lograr en la investigación.

Se presentan la figura 2 para el agua como fluido convencional y la figura 3 para el SiO<sub>2</sub> ya que resultó ser el fluido más eficiente, sin embargo, por motivos de espacio se omitieron las figuras de las simulaciones de los demás nanofluidos.

#### 4. Conclusiones

Teniendo el objetivo de evaluar el potencial de estos cuatro nanofluidos aplicándolos como fluidos caloportadores no convencionales en colectores solares, mediante simulación dinámica con el *software* TRNSYS bajo el clima de Ciudad de Panamá, podemos resaltar lo siguiente:

- El nanofluido de óxido de silicio SiO<sub>2</sub> es el fluido caloportador que con menor tasa de transferencia de calor proporcionará la temperatura deseada de agua caliente sanitaria, lo que reduce costos en diseño y tamaño del intercambiador de calor.
- Se comprueba que, para las condiciones climáticas de Panamá, los fluidos caloportadores no convencionales resultan ser eficientes gracias a la gran radiación solar que recibe el país durante gran parte del año.
- La tasa de flujo de calor va a depender del coeficiente de transferencia de calor del fluido caloportador, del tamaño de las nanopartículas, de la fracción de volumen del nanofluido, de la temperatura de salida del colector y de la temporada en la cual se hagan las mediciones.

Por otro lado, se logra comprobar que los cuatro nanofluidos suministran un flujo másico de 0.095 kg/s, suficiente flujo para permitir calentar los 200 litros diarios de agua caliente sanitaria que se necesitan para consumo en la vivienda.

A pesar de que se comprueba la eficiencia de los nanofluidos como fluidos caloportadores, se debe considerar que se asumió un sistema idealizado sin pérdidas y con transferencia de calor perfecta. Los resultados de esta investigación estuvieron sujetos a las limitaciones del *software* y a la disponibilidad de los nanofluidos, en especial a su método de preparación y los costos de este.

Los datos obtenidos por medio de análisis numérico se pueden utilizar para futuros proyectos experimentales con nanofluidos. Así, se recomienda el estudio de un sólo nanofluido con un método de preparación en específico, debido a la alta complejidad de hacer múltiples experimentos con este tipo de fluidos caloportadores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá por su colaboración. Esta investigación fue financiada por la Institución Panameña Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) <https://www.senacyt.gob.pa/>, bajo el proyecto con código FIED19-R2-005 y del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] G. Flamant *et al.*, “A new heat transfer fluid for concentrating solar systems: Particle flow in tubes,” *Energy Procedia*, vol. 49, pp. 617–626, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.03.067.
- [2] J. F. Cerón, “Análisis del mecanismo de transferencia de calor en colectores solares térmicos y de la influencia de las condiciones de contorno,” p. 170, 2012, [Online]. Available: [http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2885/1/pf\\_c4460.pdf](http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2885/1/pf_c4460.pdf).
- [3] U. Nacional, D. E. L. Centro, and D. E. L. Perú, “ASESOR : Dr . WILDER EFRAÍN EUFRACIO ARIAS,” 2017.
- [4] P. Pedraza and J. Pino, “Análisis de los Nanofluidos y su aplicación como Fluido HTF,” p. 136, 2016.
- [5] I. Conference, O. Communication, B. Rathodiya, and S. Vishnoi, “PREPARATION METHODS FOR NANOFLUIDS AND THERE STABILITY,” pp. 155–159, 2017.
- [6] T. Aguilar, I. Carrillo-Berdugo, P. Martínez-Merino, A. Yasinskiy, M. Rodríguez-Fernández, and J. Navas, “Improving stability and thermal properties of TiO<sub>2</sub>-based nanofluids for concentrating solar energy using two methods of preparation,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, pp. 895–905, 2020, doi: 10.1007/s10973-020-09615-w.
- [7] M. Shafiey Dehaj and M. Zamani Mohiabadi, “Experimental study of water-based CuO nanofluid flow in heat pipe solar collector,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 137, no. 6, pp. 2061–2072, 2019, doi: 10.1007/s10973-019-08046-6.
- [8] S. Khalid, I. A. Zakaria, W. A. N. W. Mohamed, and W. A. W. Hamzah, “Comparative analysis of thermophysical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanofluids,” *J. Mech. Eng.*, vol. 8, no. Specialissue1, pp. 153–163, 2019.
- [9] N. Akram *et al.*, *A comprehensive review on nanofluid operated solar flat plate collectors*, vol. 139, no. 2, 2020.
- [10] Q. Al-Yasiri, M. Szabó, and M. Arıcı, “Single and hybrid nanofluids to enhance performance of flat plate solar collectors: Application and obstacles,” *Period. Polytech. Mech. Eng.*, vol. 65, no. 1, pp. 86–102, 2021, doi: 10.3311/PPme.17312.
- [11] Z. Hajabdollahi, H. Hajabdollahi, and K. C. Kim, “Multi-objective optimization of solar collector using water-based nanofluids with different types of nanoparticles,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 140, no. 3, pp. 991–1002, 2020, doi: 10.1007/s10973-019-08444-w.
- [12] B. C. Pak and Y. I. Cho, “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles,” *Exp. Heat Transf.*, vol. 11, no. 2, pp. 151–170, 1998, doi: 10.1080/08916159808946559.
- [13] X. Q. Wang and A. S. Mujumdar, “A review on nanofluids - Part I: Theoretical and numerical investigations,” *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 25, no. 4, pp. 613–630, 2008, doi: 10.1590/S0104-66322008000400001.
- [14] R. Mondragón, D. Sánchez, R. Cabello, R. Llopis, and J. E. Juliá, “Flat plate solar collector performance using alumina nanofluids: Experimental characterization and efficiency tests,” *PLoS One*, vol. 14, no. 2, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0212260.
- [15] S. M. S. Murshed, C. A. Nieto De Castro, M. J. V. Loureno, M. L. M. Lopes, and F. J. V. Santos, “A review of boiling and convective heat transfer with nanofluids,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 5, pp. 2342–2354, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.02.016.
- [16] A. A. Fahmy and A. A. Abdel Aziz, “Pool boiling heat transfer from aluminum alloy circular surface using al<sub>2</sub>o<sub>3</sub> and cuo water based nano-fluids,” *Period. Polytech. Chem. Eng.*, vol. 64, no. 2, pp. 283–292, 2020, doi: 10.3311/PPch.13984.
- [17] L. Thermal Energy System Specialists, “TRNSYS.” 3 North Pinckney Street, Suite 202 Madison, WI 53703 USA, 2019.
- [18] Ç. Yunus A., “Transferencia de Calor y Masa,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 1, no. 9, p. 1699, 2013.

# Producción científica y su originalidad en universidades latinoamericanas: Una mirada en la Universidad Tecnológica de Panamá

## Scientific production and its originality in Latin-American universities: A look at the Technological University of Panama

María Carla Muñoz<sup>1</sup>, Víctor González<sup>1</sup>, Rosa Mosquera<sup>1</sup>, Libia Batista<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** El estudio del plagio u originalidad, con un enfoque orientado hacia la práctica en la producción científica de la universidad, permite a la comunidad académica establecer parámetros para la prevención y control de este flagelo y, por ende, proteger su imagen institucional como generadora de conocimiento científico. Este artículo presenta el estado del arte sobre el tema, mediante un proceso de análisis e investigación en treinta publicaciones que destacan la tipología, causas, buenas prácticas y la reglamentación universitaria relacionada al plagio en la producción científica, además de normativas en la Universidad Tecnológica de Panamá. Los estudios encontrados, en su mayoría de países como México y España, realizados en algunas universidades que han alzado su voz respecto al plagio, afloran avances importantes; además, revelan la falta de investigación sobre la práctica del plagio y la ausencia de mecanismos propios para su prevención, detección y control en países latinoamericanos. El estado del arte constituye el marco teórico adecuado para futuras investigaciones sobre este tema, lo cual implica el establecimiento y la justificación de nuevas líneas de investigación.

**Palabras clave.** Derecho de autor, ética, originalidad, plagio, producción científica, universidades.

**Abstract.** The scientific release of universities plagiarized and originality-oriented study allows the academic community to establish policies to prevent and control this crime, thus, it protects its institutional image as a scientific knowledge provider. This article presents the art state about this topic through a process of analysis and researching thirty publications outstanding the typology, causes, good practices and the university regulation regarding plagiarism of the scientific release and regulations at Technological University of Panama. Studies found, most of them from Mexico and Spain, about some universities which have stated their position regarding plagiarism show some important advance, moreover, it reveals lack of research and adequate mechanisms about this practice to prevent, detect and control it in Latin American countries. The state of art is the theoretical framework for future research about this topic; implying with this the establishment and justification of new trends of research.

**Keywords.** Copyright, ethics, originality, plagiarism, scientific production, universities.

### 1. Introducción

A pesar de que la integridad es uno de los principios básicos en la producción científica de una universidad y en toda la academia, hoy, los avances tecnológicos y el fácil acceso a Internet, para obtener información en todos los saberes, han permitido que muchos profesionales y estudiantes de diferentes niveles incurran en la práctica del plagio o a la falta de originalidad en sus escritos. Al respecto, [1] da cuenta del

impacto que este tiene a nivel académico y profesional, además de la práctica común en que se está convirtiendo.

Por consiguiente, esta situación da sentido a que las universidades deban ser vigilantes de esta mala práctica, toda vez que son formadores del talento humano integral y cuna de generación del conocimiento.

Además, siendo una práctica deshonesta en su concepción, está basada en principios éticos y morales, por lo que su vigilancia para las universidades desde su latitud debe estar fundamentada en la época, la cultura y una sociedad

determinada. Internacionalmente, las tendencias de análisis apuntan al estudio del plagio o al análisis de originalidad en campos más enfocados a nivel académico, como en el texto de [2], quienes exploran la integridad académica del alumnado en universidades españolas; o [3] que comparan la postura de profesores y estudiantes chinos sobre la escritura académica en inglés.

Si bien, la bibliografía consultada revela que el plagio o la falta de originalidad en la producción científica es un común denominador en las universidades y, por ser un creciente problema, son pocas las universidades que a nivel latinoamericano se han pronunciado al respecto; lo cual se puede evidenciar en el origen de las fuentes consultadas, debido a que estas, en su mayoría, provienen de estudios aislados en países como México y España.[4].

Pese a que a nivel universitario están expuestos al plagio: docentes, estudiantes, investigadores y el personal administrativo, quienes cada uno desde su rol y su intelecto conforman la comunidad académica con claros objetivos de investigación, docencia, extensión y administración bien relacionados, este estudio se orienta principalmente al campo de la investigación y la producción científica.

En este contexto, con miras a destacar las potencialidades y las carencias existentes sobre el estudio del plagio o a la falta de originalidad en la producción científica universitaria, se considera oportuno reflexionar sobre aspectos como:

- 1) ¿Cuáles son las acepciones sobre el plagio o falta de originalidad?;
- 2) ¿Qué enfoque tienen los estudios existentes sobre el plagio o sobre la falta de originalidad?;
- 3) ¿Existen lagunas dentro de la literatura?;
- 4) ¿Podría ser la reglamentación una de ellas?;
- 5) ¿Cuál sería la dirección de futuras investigaciones?

## 2. Aspectos metodológicos

De lo que internacionalmente la comunidad científica expone sobre el plagio o a la falta de originalidad a nivel de los diferentes estamentos universitarios, este estudio se contextualiza a nivel de producción científica universitaria y se hace esta selección debido a que las producciones científicas son publicadas por medios masivos de acceso abierto y puestas en manos de toda la sociedad; por consiguiente, su impacto al detectar plagio o esa falta de originalidad es mayor para todos.

Una vez identificado el campo de estudio, se realizó una búsqueda sistemática a nivel de artículos científicos en gestores de bases de datos como ABC (ScienceDirect y SpringerLink), Google Scholar e Internet. También, la búsqueda se fundamentó en el acceso a documentos legales

a nivel de Panamá y las reglamentaciones internas universitarias, en especial de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Por lo tanto, para el proceso de recolección de datos se usaron palabras clave como: 1) plagio y/o universidades; 2) plagio y/o producción científica; 3) originalidad y/o producción científica, universidades, producción científica. Esto, con el fin de capturar la mayor cantidad de artículos centrados en el objeto de estudio. A partir de los resultados de la búsqueda se localizó un total de 42 artículos relacionados con el plagio y/o falta de originalidad en universidades.

Finalmente, de la exploración, se tomaron treinta documentos como fuente de información que fundamentan el desarrollo de este artículo científico y cuyas fechas de publicación van desde el año 2012 al 2020. Esta estrategia de búsqueda permite desarrollar en las secciones siguientes, resultados, análisis cualitativos de lo planteado en los artículos seleccionados y presentar consideraciones finales.

## 3. Desarrollo y discusión

La revisión bibliográfica sobre el plagio en la producción científica universitaria se desprende que a partir de la década de los 80 se incorpora fuertemente en el mundo de la investigación, el concepto de ética de la investigación científica [5]. A esta fecha, 2018, se puede considerar un periodo extenso, pero si se mira la bibliografía existente se observa que los estudios publicados se incrementan después del año 2000.

Por otro lado, hay que destacar que esta concepción está intrínsecamente relacionada con el tema moral. De allí, que se apropia para el manejo de todo lo concerniente a los principios morales que siempre deben prevalecer en el mundo de la investigación científica. Desde este contexto se rescata lo que señala la Oficina de Integridad en la Investigación (*Office of Research Integrity*), ORI, en los Estados Unidos, que resume el hecho como una mala conducta en la investigación y señala el plagio o la falta de originalidad como una de las causas que infringen la integridad. También, agrega que los investigadores en sus producciones científicas pueden quebrantar su integridad al definir los créditos, al fabricar y/o falsificar datos.

### 3.1 Concepto de plagio o falta de originalidad según estudios

Por la importancia que merece el tema en las universidades como generadoras de conocimiento, es necesario se tenga una clara definición del plagio o de la falta de originalidad. De los trabajos publicados, es recurrente lo que señalan expertos en el tema del plagio y de falta de originalidad, en cuanto a que es

un delito. En la tabla 1, se puede apreciar la definición de algunos exponentes.

**Tabla 1.** Concepto de plagio o falta de originalidad

| Fuente  | Concepción  |
|---|---|
| Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI).                    | “El acto de ofrecer o presentar como propia, en su totalidad o en parte, una obra de una persona en una forma o contexto más o menos alterado”. |
| Artículo 47, Ley 64 Sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos- 2014/Panamá. | Violación al Derecho moral de paternidad.   |
| [5]; [6].   | Apropiación de las ideas sin dar el correspondiente crédito y uno de los tres delitos científicos más graves.                                   |
| Real Academia de La Lengua Española [7].                                    | Copiar en lo sustancial obras ajenas dándolas como propias.   |

Se infiere de las concepciones descritas, que el plagio o la falta de originalidad conlleva a incumplir algunos principios éticos y morales que a nivel de producción científica y dentro de una universidad, esta práctica, de ninguna manera puede pasar inadvertida [2].

### 3.2 Estudio del plagio o falta de originalidad por expertos

Con la intención de evidenciar cómo se ha abordado el tema del plagio o la falta de originalidad en la literatura revisada a nivel internacional, en la tabla 2 se muestra los tipos de enfoques más representativos. En su conjunto, todos ellos permiten alertar sobre este flagelo y, sobre todo, servir de base a las autoridades de una alta casa de estudio superior para diseñar su estrategia adecuada a la necesidad actual versus el escenario que se maneja internamente. Se plantean estudios desde un enfoque teórico, enfoque legal y otros sobre evaluación a la situación del plagio o de la falta de originalidad intramuros.

### 3.3 Tipos de plagio o falta de originalidad en la producción científica universitaria identificados en los estudios

Para conocer los tipos de plagio a nivel de producción científica, se seleccionaron los de mayor coincidencia en los estudios investigados. Del análisis que hacen los autores de

otras latitudes, en cuanto a los tipos de plagios, la tabla 3 recoge las principales aportaciones.

**Tabla 2.** Formas de abordar el tema del plagio o la falta de originalidad en los estudios revisados

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Estudios descriptivos</b>   | Estos estudios enfocan el plagio de manera teórica, presentan conceptos y características del plagio, posibles causas y consecuencias que llevan a la persona a cometerlo. También de manera general, recomiendan algunas estrategias para evitarlo.  |
| <b>Estudios investigativos</b> | Desde esta perspectiva, el plagio se estudia <i>in situ</i> , un estudio de campo a investigadores, docentes, estudiantes y administrativos, donde los resultados surgen de la aplicación de encuesta, entrevistas, análisis de base de datos. Esto permite realizar un análisis estadístico propio y definir estrategias propias para eliminar la práctica del plagio. |
| <b>Estudios jurídicos</b>      | Bajo este marco, el plagio es estudiado desde el aspecto legal. Se describen en los estudios las principales leyes que están relacionadas con el Derecho de autor, causa de infracción de estas leyes según país, las sanciones civiles y penales a aquellos que incurran en esta práctica.   |

Fuente: Elaboración propia con datos de [8].

### 3.4 Estudios realizados en universidades sobre el plagio o la incidencia en falta de originalidad en producciones científicas según literatura revisada

Resulta preocupante conocer que, en universidades de países desarrollados y pioneros en investigaciones científicas, los estudios revisados revelen la existencia de plagio o falta de originalidad en la producción científica. En la tabla 4 se muestra el resultado de estas investigaciones, clasificadas a nivel de país, vigencia del estudio y universidad. Cabe señalar que estos estudios no manifiestan el tema de medidas disciplinarias impuestas a los infractores.

A pesar de que los resultados no son halagadores, hay que reconocer que las universidades realicen este tipo de estudios y hagan públicos los resultados. Por lo que se espera que otras casas de estudios superiores rompan también el silencio sobre este tema.

Los resultados de estos estudios permitirán que aquellos que atiendan situaciones de plagios o de falta de originalidad

en sus respectivas universidades logren mejoras efectivas en la calidad de sus investigaciones, mediante la toma de medidas asertivas; de igual forma, permitirá a otras universidades tomar medidas de alerta y, sobre todo, a aquellas que están avanzando en la práctica de la investigación científica.

**Tabla 3.** Tipos de plagio

|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar ideas o palabras escritas por otros sin reconocer la autoría.</li> <li>• Presentar como propio un trabajo de forma parcial o total, sin ser el autor de dicho trabajo.</li> <li>• Actuar de mala fe de manera deliberada al copiar la propiedad intelectual de otros para producir un daño a los autores originales.</li> <li>• Copiar cualquier objeto de fondo o de forma, ya sea una situación, un desarrollo o incluso una simple frase.</li> <li>• Copiar lo dicho por otro en un discurso sin hacer referencia a la persona que lo dijo.</li> <li>• Imitar un modelo y reproducirlo de forma idéntica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Forma</b></li> <li>• Copiar sin autorización la propiedad intelectual de otra persona</li> <li>• Autoplagio</li> <li>• Falsa auditoría</li> <li>• Envío doble</li> <li>• Robo de material</li> <li>• Copias sin autorización de código fuente</li> <li>• <b>Método</b></li> <li>• Copia y pegar</li> <li>• Parfraseo inapropiado</li> <li>• Referencia perdida</li> <li>• Referencia falsa</li> <li>• Fabricación de datos</li> <li>• Robo de ideas</li> <li>• Propósito</li> <li>• Intencional</li> <li>• Accidental</li> </ul> |
|--|--|

Fuente: Elaboración propia con datos de [9]; [10]; [1]; [11].

### 3.5 Causas que inducen al plagio o a la falta de originalidad en la producción científica según estudios

La revisión de la literatura destaca la coincidencia de los autores en la descripción de causas específicas que conllevan al plagio científico. En la figura 1 se presentan los principales motivos que se recogen y que en su momento a un investigador puede llevarlo a esta mala práctica.



**Figura 1.** Causas que inducen a un investigador a plagiar o a faltar a la originalidad en sus escritos.

Fuente: Elaboración propia con datos de [17].

De este hallazgo se desprende el señalamiento de que las causas son comunes a todo investigador, por lo tanto, el riesgo de caer en plagio es latente. Vale la pena que las universidades indaguen sobre la coincidencia en las mismas y el índice de incidencia. Además de compartir sus hallazgos y que los actores involucrados le otorguen la importancia que requiere y tratar estos factores [18].

### 3.6 Buenas prácticas para el control del plagio y a la falta de originalidad en las producciones científicas universitarias según estudios

No todo es negativo en este tema del plagio, y se fundamenta en lo que desde la otra cara de la moneda se está haciendo y se recoge en la revisión bibliográfica. En la figura 2 se presentan modelos que autores reconocen como buenas prácticas y que redundan en la prevención y control del plagio, a nivel de país y a nivel de universidades. La práctica más reciente consiste en el uso de *softwares* antiplagio. ¿Qué modelo conviene implementar en cada universidad y cómo desarrollarlo?, dependerá del diagnóstico que obtenga la misma como resultado de la investigación realizada *in situ*.



**Figura 2.** Buenas prácticas para la prevención y control del plagio.

Fuente: Elaboración propia con datos de [19].

Los investigadores de la UTP no escapan a enfrentarse a estas medidas y hoy más, debido al interés de las autoridades por el fomento de las investigaciones científicas y su divulgación. Por mencionar algunas acciones institucionales: las Jornadas de Investigación Científica a nivel estudiantil, la Revista de Iniciación Científica, el recién lanzamiento del Repositorio Institucional y su Portal de Revistas, promoción para la producción de tesis como trabajo de grado y postgrado, entre otras.

**Tabla 4.** Resultado de investigaciones sobre el plagio o falta de originalidad en la producción científica a nivel de universidades

| País               | Año        | Universidad  | Resultados  |
|--------------------|------------|--|---|
| México             | 2009       | Nacional Autónoma de México (UNAM)   | Una encuesta a coordinadores de postgrados revela que aceptan que las faltas éticas se dan con frecuencia y el plagio resulta ser una de las anomalías más comunes [12].  |
| México             | 2004       | Nacional Autónoma de México, Autónoma Metropolitana, Autónoma de Yucatán, Autónoma de Morelos, Autónoma de Hidalgo y Autónoma de Tlaxcala. | De la encuesta se recoge la percepción de 139 investigadores y uno de los problemas éticos que se percibe como el más común es el plagio. De esos encuestados el 81%, indica que pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) [13].  |
| México             | 2016       | Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara  | Del estudio realizado a 51 miembros del SNI entre los años 2013 y 2014 donde se conoce como común denominador entre los participantes encuestados la idea de que el plagio es consecuencia de una cultura predominante desde el pregrado, alimentada por una ausencia de consecuencias graves [14].   |
| Estados Unidos-USA | 2014, 2015 | Universidad de Cornell   | Del repositorio arXiv.org, se analizaron 757,000 estudios entre 1991 y el año 2012 y deja ver que la práctica del plagio tiene más incidencia en países como China, Irán, India. Destaca que la tipología de plagio se centra en el autoplagio y la no cita [15];[16].  |
| Panamá             | 1998       | Empresa privada  | A nivel de Tribunales, se maneja un solo conflicto por violación de los derechos de autor y es el resuelto por el Tercer Tribunal sobre la importancia del reconocimiento del derecho de paternidad sobre la letra de una canción con sentencia en Resolución de 26 de enero de 1998. La percepción del plagio en las universidades de Panamá se tiene, pero nada está documentado. |

### 3.7 Regulación en cuanto al plagio según literatura

La revisión de la literatura destaca que la violación a la autoría en el ámbito de la producción científica no solo afecta al plagiador, sino al plagiado, a la sociedad y de forma muy significativa afecta a la universidad. Al respecto:

El plagio que no es fácil de detectar erosiona así la práctica de algunos principios éticos básicos, como son, entre otros, la lealtad de unos con otros y la cultura de la honestidad y del esfuerzo personal y, por otra parte, la seriedad y profundidad del proceso de descubrimiento científico y el propio prestigio de la institución universitaria como un todo [20].[21]

En consecuencia, en el tema de la legislación sobre el plagio o a la falta de originalidad, se evidencia a nivel internacional como denominador común, el Derecho de Autor. Se rescata también de la literatura, algunos estudios en universidades españolas, enfocados más a la normativa

fundamental sobre plagio académico. Los resultados se presentan en la tabla 5.

#### 3.7.1 Regulación en la Universidad Tecnológica de Panamá

Por otro lado, en Panamá, las regulaciones que en el tema de plagio maneja la Universidad Tecnológica de Panamá, se muestra en la tabla 6.

Se cuenta con la normativa interna respaldada por la Ley de Propiedad Industrial y derecho de autor de Panamá. Importante mencionar el hecho que desde el 2012, cuando inicia operaciones la Editorial de la Universidad Tecnológica de Panamá, dentro del proceso de publicación de las revistas, contempla la revisión de originalidad, con el uso del *software* antiplagio, lo que permite la verificación del porcentaje de originalidad de las publicaciones, esto con el apoyo de la Dirección de Gestión y Transferencia del Conocimiento.

**Tabla 5.** Leyes y regulaciones internas que rigen a universidades de España en cuanto al plagio

| Ley  | Objetivo  | Año  |
|--|---|------|
| Ley de Propiedad Regula el Derecho de Autor Intelectual y de Derechos Real decreto legislativo 1/1996, modificada por la Ley 5/1998. | Regula el Derecho de Autor  | 1996 |
| Ley orgánica 2/1984 de 26 de marzo   | Regula el Derecho de rectificación.   | 1984 |
| Código penal   | Ley orgánica 10/1995 de 23 de noviembre.  | 1995 |
| Normativa propia de las universidades (resultado de estudio)   | - De los documentos localizados y analizados (65 de 72) hacen alguna referencia a aspectos relacionados con el fraude; solo en 7 no se contempla el tema de la deshonestidad.<br>- De los mismos documentos analizados (26 de los 72) no hace referencia a las sanciones previstas. | 2016 |

Fuente: Elaboración propia con datos de [22]; [23].

**Tabla 6.** Leyes del país y regulaciones que rigen en la Universidad Tecnológica de Panamá sobre el tema de plagio

| Leyes y Reglamentación Universitaria                                       | Descripción   | Año  |
|--|---|------|
| <b>Ley 64 sobre Derecho de Autor</b> [24]                                  | Es la Ley general para todas las universidades en Panamá, garante de los derechos del titular y se deriva de esta los derechos morales y de este último el de paternidad.   | 2012 |
| <b>Código Penal y Procesal Penal</b>                                       | A nivel de país, esta competencia es de los Tribunales que administran justicia en la jurisdicción de Libre Competencia y Asuntos del Consumidor.   | 2015 |
| <b>Red PILA</b>  | Iniciativa de universidades regionales que se organizan para abogar por la Ley de Propiedad Intelectual.  | 2011 |
| <b>Estatuto Universitario - UTP</b> [25]                                   | Solo el artículo 82 hace mención en cuanto a que los Institutos deben publicar sus resultados. Nada describe sobre el plagio.   | 2012 |
| <b>Reglamento de la Carrera de Investigación</b> [26]                      | <b>El artículo 16</b> menciona de los deberes de cuidar la ética y el prestigio de la institución. <b>El artículo 24</b> señala el tema de sanciones, que van desde la amonestación oral o escrita o suspensión de labores. Lo señalado queda muy a la subjetividad del que sanciona y nada menciona sobre las medidas que debe acoger la institución para la prevención y control. | 1986 |
| <b>Código de Ética de los funcionarios</b> [27]                            | Conformado por 15 artículos, los más relacionados al tema son los que resaltan y describen la probidad, la honradez, la responsabilidad, la competencia, la transparencia y la obligación de denunciar.   | 2004 |
| <b>Reglamento Interno de la Editorial Universitaria</b> [28]               | Se exige al autor entregar nota señalando es un trabajo original. Se realiza el informe de originalidad, pero no menciona sanciones.  | 2015 |
| <b>Revistas Científicas</b>  | Dos de tres revistas, “I+D Tecnológico” y “Prisma Tecnológico”, tienen establecidas las políticas de ética [23]. Como no hay estudios, no se identifica si hay evidencias de plagio.  | 2017 |
| <b>Disposiciones Generales de Propiedad Intelectual en la UTP</b> [29][30] | “12. Cualquier acto de violación de los Derechos de Propiedad Intelectual que sean comprobados...sin perjuicios de las sanciones establecidas en la legislación nacional, le serán aplicadas las sanciones establecidas en la normativa correspondiente de la Universidad Tecnológica de Panamá...”<br>Al respecto, lo que se dice, se queda en la subjetividad.                    | 2007 |

#### 4. Análisis y conclusiones

Con base en más de 30 publicaciones estudiadas se define como un problema que ha existido en los claustros universitarios, pero que no ha sido estudiado apropiadamente, a pesar de lo importante que es para salvaguardar la imagen institucional y, por ende, de todos los que así la conforman. Esto lleva a concluir que el plagio no es negociable.

Es necesario que toda la comunidad universitaria tome conciencia de ello y se analicen las leyes existentes y reglamentaciones universitarias con el interés de llevar a la prevención y a la sanción ejemplar, según sea el caso. Son pocas las universidades que han realizado un diagnóstico sobre el escenario que dentro de su claustro existe, lo que no les permite tomar medidas efectivas o evaluar si las medidas tomadas han provocado un resultado positivo.

En Panamá, por ejemplo, existen leyes y normativas universitarias, pero no existe documentado ningún caso de plagio a nivel de universidades. En diversas instituciones se han presentado casos de plagio donde se esperan acciones legales en contra de los infractores, esto permitiría lograr una buena práctica de propiedad intelectual.

Aunque este estudio está enfocado al plagio o a la falta de originalidad en las producciones científicas, no significa que en los otros estamentos no se dé esta práctica, por lo que se debe estudiar en todas las esferas y trabajar sobre la prevención no solo en universidades, sino desde niveles inferiores, inclusive, desde los primeros niveles educativos. La responsabilidad es de todos, pero gran parte recae en la disposición que tengan las autoridades para prevenir, normar y sancionar estas prácticas; así como también la implementación de estrategias educativas apropiadas sobre el respeto al Derecho de Autor y la Propiedad Intelectual, teniendo presente que “El desconocimiento del delito, no exime de culpa”.

Ante el uso indiscriminado de Internet, estudiantes y profesionales se ven tentados a “copiar y pegar”, práctica que se incrementa ante la desinformación y un endeble sistema de valores éticos y ciudadanos. Tal y como se planteó en páginas anteriores, existen herramientas valiosas para la detección de plagio, como los *softwares* antiplagio, que a nivel de la Universidad Tecnológica de Panamá han sido utilizados desde la creación de la Editorial de la Universidad, pero al final, estos son un complemento para las buenas prácticas que deben implementarse en los diferentes contextos. Las estrategias deben encaminarse a definir programas que redunden en encontrar respuestas de mejoras permanentes desde el marco de la prevención y de control, a corto y mediano plazo.

Una práctica muy sabia y sencilla en el ámbito académico, con relación al plagio, es la actitud que asuma el docente, como practicar con el ejemplo, revisar a conciencia los trabajos que

asigne, ilustrar sobre el tema del plagio, enfatizar en el respeto al derecho de autor y sus consecuencias como estudiante y como profesional.

Adicional, es importante que este tema sea de interés para todas las autoridades de las instituciones educativas, de tal manera se realicen las acciones preventivas ante esta práctica y es permitir que toda la información, políticas, lineamientos, recursos de apoyo y otros, que tenga relación con el plagio o falta de originalidad científica y académica se visualice de manera sencilla, dentro de un portal académico universitario.

El papel de las instituciones educativas en fomentar la revisión de originalidad en general, la creatividad en las producciones y en el enfatizar el rol que juega el educador ante esta problemática, es vital para el abordaje del plagio o a la falta de originalidad académica.

Este trabajo sobre el estado del arte referente al plagio u originalidad en producciones científicas en universidades, permite recomendar la realización en nuestro país y en toda Latinoamérica, investigaciones futuras similares a las realizadas por la Universidad Autónoma de México y universidades de España, lo cual abre nuevas líneas de investigación de campo, dirigidas a analizar las bases de datos de los artículos científicos que han sido publicados y que se encuentran alojados en los Portales de Revistas de cada universidad. Se lograría identificar tipos de plagio, hacer comparaciones a nivel nacional y regional, evaluar resultados de mejoras sobre estrategias adoptadas, entre otras.

Otro estudio complementario sería la ejecución de encuestas a investigadores para corroborar o ampliar el tema sobre tipo de plagio; las causas que inducen a cometer este hecho; sus niveles de conocimientos sobre el Derecho de Autor y las reglamentaciones y sanciones que señala la universidad en el tratamiento del plagio; todo esto con el interés de que cada universidad prepare el camino para realizar análisis propios, con el fin de optimizar la calidad de las publicaciones científicas. Además, que estos estudios locales permitan manejar datos que lleven a realizar investigaciones científicas comparativas entre diversas universidades y de manera regional. En el caso que nos ocupa, América Latina.

También, en la misma línea de la investigación científica, sería interesante realizar un estudio sobre la práctica de plagio o falta de originalidad en las tesis, cuyos resultados permitiría evaluar el escenario de este flagelo en el plano académico, desde el estudiante y del asesor.

Para aquellas universidades que han adquirido la buena práctica y utilizan *softwares* para control del plagio, una investigación comparativa de un antes y un después del uso de la herramienta, proporcionaría datos significativos para analizar y tomar decisiones.

Finalmente, un estudio científico que muestre el impacto del plagio académico y en la investigación, dentro de las universidades, brindaría información para plantear un modelo consensuado y de sensibilización que permita erradicar el plagio universitario.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Universidad Tecnológica de Panamá, principalmente a la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, pues hacen realidad este proyecto, mostrando la investigación y producción científica desarrollados por nosotros, los estudiantes.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] A. S. Rodriguez, "El plagio y su impacto a nivel académico y profesional | e-Ciencias de la Información," pp. 1–13, 2012.
- [2] R. Comas, J. Sureda, A. Casero, and M. Morey, "La integridad académica entre el alumnado universitario Español," *Estud. Pedagog.*, vol. 37, no. 1, pp. 207–225, 2011.
- [3] G. Hu and J. Lei, "Plagiarism in English academic writing: A comparison of Chinese university teachers' and students' understandings and stances," *System*, vol. 56, pp. 107–118, Feb. 2016.
- [4] A. Hirsch Adler, "Comportamiento responsable en la investigación y conductas no éticas en universidades de México y España," *Rev. la Educ. Super.*, vol. 45, no. 179, pp. 79–93, Jul. 2016.
- [5] A. M. Montecinos, "Plagiarism and ethics of scientific research," *Rev. Chil. Derecho*, vol. 40, no. 2, pp. 711–726, 2013.
- [6] J. Tudela and J. Aznar, "¿Publicar o morir? El fraude en la investigación y las publicaciones científicas," *Pers. y Bioética*, vol. 17, no. 1, pp. 12–27, 2013.
- [7] "DLE: plagiar - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario."
- [8] Ligia Ochoa and Alberto Cueva Lobelle, "El plagio y su relación con los procesos de escritura académica Forma y Función," *Univ. Nac. Colomb.*, vol. 27, no. 2, pp. 95–113, 2014.
- [9] N. Imran and Naveed, "Electronic media, creativity and plagiarism," *ACM SIGCAS Comput. Soc.*, vol. 40, no. 4, pp. 25–44, Dec. 2010.
- [10] S. Jannett Girón Castro, "Anotaciones sobre el plagio," *Funlam*, p. 24, 2008.
- [11] J. Debnath, "Plagiarism: A silent epidemic in scientific writing - Reasons, recognition and remedies.," *Med. journal, Armed Forces India*, vol. 72, no. 2, pp. 164–7, Apr. 2016.
- [12] C. Domínguez Pérez-Tejada and R. Macías-Ordóñez, "¿ &quot; El que no transa no avanza &quot; : La ciencia mexicana en el espejo," *El Pap. la ética en la Investig. científica y la Educ. Super.*, pp. 133–153, 2003.
- [13] M. Aluja, *El papel de la ética en la investigación superior y la educación superior*. Academia Mexicana de Ciencias, 2004.
- [14] M. Hernández Islas, "El plagio académico en la investigación científica. Consideraciones desde la óptica del investigador de alto nivel," 2016. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982016000300120](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982016000300120). [Accessed: 10-Nov-2020].
- [15] D. T. Citron and P. Ginsparg, "Patterns of Text Reuse in a Scientific Corpus," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, p. 10, 2014.
- [16] ArXiv, "Geografía mundial del plagio," *El Mundo*, 2015.
- [17] A. H. Adler, "El Proyecto de Investigación sobre Ética Profesional," *Perfiles Educ.*, vol. xxxiv, 2012.
- [18] Maicel E Monzón Pérez, Lazara C Oviedo Herrera, Tania Sánchez-Ferrán, Ray Valdés Balbín, Ivette Camayd Viera, and Jorge L Calero, "(PDF) Plagio en artículos de investigación en revistas biomédicas cubanas. 2016," 2020. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/345824828\\_Plagio\\_e\\_n\\_articulos\\_de\\_investigacion\\_en\\_revistas\\_biomedicas\\_cubana\\_s\\_2016](https://www.researchgate.net/publication/345824828_Plagio_e_n_articulos_de_investigacion_en_revistas_biomedicas_cubana_s_2016). [Accessed: 15-Nov-2020].
- [19] FAPESP, "Código de Buenas Prácticas." Fundación de apoyo a la investigación científica del estado de são paulo, 2014.
- [20] F. M. Toller, "Propiedad Intelectual y Plagio en Trabajos Académicos y Profesionales (Copyright and Plagiarism in Academic and Professional Work)." Aug-2011.
- [21] P. Morales, "Universidad de Málaga," 2011.
- [22] M.-I. Domínguez-Aroca, *El profesional de la información world en español*, vol. 21, no. 5. Swets & Zeitlinger, 2012.
- [23] J. Sureda-Negre, J. Reynes-Vives, and R. Comas-Forgas, "Reglamentación contra el fraude académico en las universidades españolas," 2016.
- [24] "Ley 64 Sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos." *Gaceta Oficial Digital*, Panamá, 2012.
- [25] "Estatuto Universitario de la Universidad Tecnológica de Panamá." 2012.
- [26] "Reglamento de la carrera de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá." Panamá, p. 20, 1986.
- [27] "Código de Ética de los funcionarios de la Universidad Tecnológica de Panamá." 2004.
- [28] E. Universitaria, P. Intelectual, D. Compacto, E. Universitaria, C. Inst, and C. Institucional, "Universidad Tecnológica de Panamá Dirección de Editorial Universitaria Evaluación técnica , científica e informe sobre la originalidad de la," 2015.
- [29] Universidad Tecnológica de Panamá, "Disposiciones Generales de los Derechos de Propiedad Intelectual." Panamá, 2007.
- [30] L. Revista and D. I. D. T. Ridtec, "Declaración de ética de publicación." pp. 3–6, 2017.

## Aqua plantae: Sistema prototipo sostenible de desalinización de agua de mar, y aplicación a cultivos mediante riego subterráneo

### Aqua plantae: Sustainable prototype seawater desalination system and application to crops through underground irrigation

Alberto Atencio<sup>1</sup>, Alexandra Mojica<sup>1</sup>, Juan Osorio<sup>1</sup>, Viccelda Domínguez de Franco<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** En los últimos años, la problemática principal en el mundo es sin lugar a duda el inminente cambio climático acompañado de los fenómenos del Niño y la Niña que traen consigo, sequías extremas de un lado e inundaciones por el otro. A esto se le suma la contaminación del planeta y específicamente la de los ríos, lagos y otras fuentes de agua dulce que precisamente son las fuentes de agua que necesitan los seres vivos para su supervivencia. Esta investigación tiene como propósito adaptar un método de desalinización del agua de mar, a través de un procedimiento de destilación para la obtención de agua dulce, usando como fuente de energía, la solar. Por otra parte, se demuestra la eficiencia del producto de la desalinizadora, simulando microsistemas de crecimiento de plantas en función de la adición de agua de mar tratada, usando como caso de estudio muestras de suelo degradado del arco seco en la región de Los Santos. La metodología incluyó: i. Adaptar los métodos de Nicholas Grimshaw (Teatro del Agua) y Charlie Paton (Invernadero de Agua de Mar) sobre la utilización del agua de mar, ii. La aplicación de agua desalinizada, agua de mar, agua de lluvia y agua potable, a terrarios sembrados con maíz, frijol, lenteja y guandú en triplicado a escala de laboratorio. La tecnología es bastante sencilla y efectiva en la disminución de los niveles de salinidad en el agua de 34.39 g/L a 0.01 g/L; además, implica el uso de energía solar, la cual lo hace auto gestionable. Este estudio demuestra que sí es posible obtener agua de buena calidad por desalinización y de manera sostenible utilizando energía no convencional. Y que puede ser de grandes proporciones para el futuro del país beneficiando directamente a las regiones secas del país.

**Palabras clave.** Agua, desalinizadora, destilación, microsistema.

**Abstract.** In recent years, the main problem in the world is undoubtedly the imminent climate change accompanied by the El Niño and La Niña phenomena that bring with them extreme droughts on the one hand and floods on the other. Added to this is the pollution of the planet and specifically that of rivers, lakes, and other sources of fresh water, which are precisely the sources of water that living beings need for their survival. The purpose of this research is to adapt a seawater desalination method, through a distillation process to obtain fresh water, using solar energy as a source of energy. On the other hand, the efficiency of the desalination product is demonstrated by simulating plant growth microsystems as a function of the addition of treated seawater, using as a case study degraded soil samples from the dry arc in the Los Santos region. The methodology included: i. Adapting the methods of Nicholas Grimshaw (Water Theater) and Charlie Paton (Seawater Greenhouse) on the utilization of seawater, ii. The application of desalinated water, seawater, rainwater, and potable water, to terrariums planted with corn, beans, lentils and pigeon pea in triplicate at laboratory scale. The technology is quite simple and effective in decreasing salinity levels in the water from 34.39 g/L to 0.01 g/L; it also involves the use of solar energy, which makes it self-managing. This study demonstrates that it is possible to obtain good quality water by desalination in a sustainable manner using non-conventional energy. And that it can be of great proportions for the future of the country, directly benefiting the dry regions of the country.

Keywords. Water. Desalination, distillation, microsystem.

## 1. Introducción

Actualmente el cambio climático está afectando el planeta, y parte de esta problemática se está reflejando en las fuentes del vital líquido. Teniendo en cuenta que el planeta está formado en un 97% por agua de los mares, y apenas un 2.5% por agua dulce del cual solo el 0.007% puede ser utilizado, datos que sirven de apoyo para proyectar una inminente escasez conforme avance el tiempo [1]. Tanto es así que el Informe del Estado del Ambiente GEO 6 [2], en su análisis de vulnerabilidad e impacto al cambio climático en la subregión mesoamericana, muestran que un aumento en temperatura media y disminución de la precipitación se esperan en el 2030, con impactos significativos en la agricultura en todos los países de esta subregión. Como resultado, áreas adecuadas para cultivos que sostienen las exportaciones agrícolas y la seguridad alimentaria rural cambiarán [3].

Dichos cambios ya se presentan en casos de familias panameñas que subsisten de la producción de cultivos, quienes se están viendo afectados al no lograr realizar sus labores por la pérdida de suelos. Parte de este problema radica en la pérdida de las cuencas y efluentes como consecuencia de la ganadería extensiva y mal uso de agroquímicos, entre otras prácticas que ha causado la degradación del 28.7% de los suelos en Panamá, del cual el 51% pertenece a la Región Central [4]. Mientras que la otra parte de las afectaciones es producto de la inminente sequía y la disminución de lluvias [5].

Durante los últimos cinco años se ha visto como ríos, riachuelos y pozos se secan en la provincia de Los Santos, uno de ellos el Río Mensabé, hasta el año pasado era uno de los ríos más disfrutados por familias, hoy en día la situación es distinta, un cauce de casi 20 metros de ancho solamente muestra un camino de rocas. Esto lleva a la conclusión de si se estará o no preparado realmente en temas de conservación del agua dulce, la reserva y la obtención de esta por medios como la desalinización del agua del mar. Entonces, aún se está a tiempo de crear técnicas que permitan aplicar métodos físicos o químicos para la obtención de agua y subsistencia los seres humanos, animales y plantas que requieren del agua dulce para sobrevivir.

El propósito de esta investigación es proponer un nuevo método de desalinización del agua de mar, a través de un sistema de destilación para la obtención de agua dulce, usando como fuente de energía, la solar. Por otra parte, se demostrará la eficiencia del producto de la desalinizadora, simulando microsistemas de crecimiento de plantas en función de la adición de agua de mar tratada, logrando replicar así mediante procedimientos experimentales, como podría ser comportamiento de este una vez aplicado en la Península de Azuero.

## 2. Marco teórico

La idea de obtener agua dulce a partir de agua de mar es realmente una técnica ya estudiada y es conocida como desalinización.

### 2.1 Factores generales y ambientales de la Región Central

Actualmente Panamá presenta un incremento en la sequía en la Región Central comprendida por una superficie de 20.787,57 km<sup>2</sup> [6]. El arco seco es caracterizado desde el punto de vista climático y socioeconómico como un área crítica, afectada por la sequía [7]. Según datos del sector agro de la Península de Azuero entre los años 2015-2016 presento un descenso en la producción de maíz, esto debido a que la mayoría de los productores no poseen un sistema de riego y solo dependen de la lluvia [6].

#### 2.1.1 Capacidad de uso de suelo y demografía

La capacidad del uso del suelo no es más que el potencial para satisfacer las necesidades de producción vegetativa. Existen ciertas regiones que presentan un límite por poseer un rango de clase No Arable (suelos tipo v, vi, vii, viii) (figura 1) que es necesario darle una debida atención y cuidado en el manejo del suelo ya sea por la ganadería o por cultivo [8].

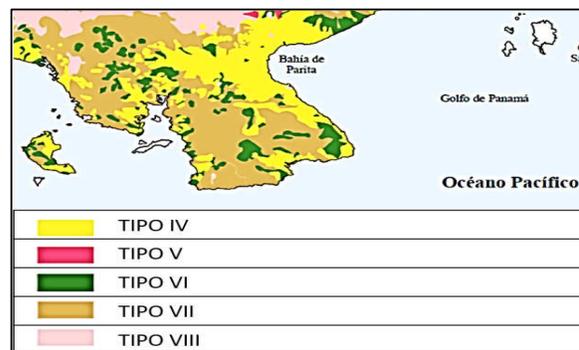


Figura 1. Capacidad de uso del suelo.

Fuente: Senacyt-CECOMRO, síntesis preliminar visión 2040.

Según datos confirmados estadísticamente, en años anteriores los productores de la región central cultivaban alrededor de 1.5 y 2 millones de quintales de maíz, en el año 2017 se vieron preocupados la gran mayoría porque no llegaron ni a los 600.000 quintales, porque solo lograron sembrar en la mitad de las hectáreas que poseen a causa de que el suelo se ha vuelto no cultivable [9]. Aparte que la cantidad de lluvia no era suficiente (entre 2000-1500 mm, años 1998-2008; 104.2mm, año 2015; 128.6mm, año 2016; y 1054 mm, año 2017) comparado con el rango normal de precipitaciones (2000mm-7000mm).

El crecimiento demográfico es hoy en día uno de los principales factores para la degradación de los suelos. Ejemplo de este hecho es la pérdida de la fertilidad en los suelos visto en la región central del país, donde se encuentra la mayor población, misma que se dedica a la ganadería y producción agrícola del país. Según el censo del 2010 la población creció en estas tres áreas: en un 0.21% en Herrera, 0.15% en Los Santos, 0.36% en Veraguas [10].

### 2.1.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial de Panamá según datos de años anteriores los contornos variaban entre 400 y 600 mm [5].

La evapotranspiración depende en su mayoría de los casos de una reserva de agua en el suelo; si los límites de esta están bajos, menor será la cantidad de agua evapotranspirada, por ejemplo, en la provincia de Los Santos el nivel se encuentra en 900 mm, en comparación a otras zonas de Panamá (1350 mm) [11] [12].

### 2.1.3 Clima y precipitaciones de la zona

Se encuentran tres tipos de clima, los cuales son clima tropical muy húmedo, clima tropical de sabana y clima tropical húmedo con influencia del monzón. Los primeros dos tipos son predominantes y se distribuyen en las provincias de Veraguas, Herrera, Los Santos y Coclé, mientras que el último, se limita a una pequeña franja de la parte norte (alta) de las cuencas San Pablo y Santa María (Santiago y San Francisco, Veraguas) [5], [6], [13]. Mientras que el este de la Península de Azuero (área de Los Santos) y el sur de la provincia de Coclé, se caracterizan por presentar totales anuales de lluvia muy bajos, con registros ligeramente inferiores a 1500 mm [5], [6], [14], [13], [12].

## 2.2 Agua desalinizada

El agua desalinizada en una definición sencilla no es más que el producto resultante de la reducción del contenido de sal en el agua.

### 2.2.1 Antecedentes de desalinizadoras en el mundo

Históricamente la primera referencia a desalinización que se conoce data de la época de Tales de Mileto y Demócrito quienes comentaron que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar a través de la tierra. Aristóteles hablaba en sus obras de la desalación y fabricó el primer evaporador conocido. Plinio en su enciclopedia sobre historia natural describe varios métodos para desalar agua. A mitad del siglo XIX algunos barcos llevaban instalados destiladores para potabilizar agua marina. En los años 60 se produce el descubrimiento de la ósmosis inversa, técnica que, por su eficacia y alto rendimiento, es el más usado en el mundo. Posteriormente se

estableció la primera planta desaladora del mundo en Las Islas Canarias, España, en el año 1964 [15].

### 2.2.2 Conceptos de proyectos idea: teatro del agua e invernadero de agua de mar

El teatro del agua, considerado como la principal iniciativa para el borde costero de la ciudad de Las Palmas, en las Islas Canarias, España, fue desarrollado por la oficina de arquitectura de Nicholas Grimshaw transformándose en una de las obras emblemáticas de producción sustentable de recursos naturales (en este caso, agua potable), a través de la destilación pasiva de agua de mar, utilizando como fuentes de generación el calor del viento, y el frío del agua. En él que se conjugan el espacio público con las necesidades actuales de aprovechamiento energético y del agua [16].

El invernadero de agua de mar es un sistema que produce grandes cantidades de agua de mar destilada a través de múltiples paneles con sistemas combinados de evaporación y condensación de agua de mar, ubicada en el Sahara, creada por el programa de reforestación, encabezada por el ingeniero Charlie Paton. El agua de mar es calentada hasta transformarla en vapor, y luego condensada, posteriormente envía el producto al riego de múltiples cultivos que allí se concentran [17].

### 2.2.3 Proyecto Aqua plantae

El proyecto aqua plantae (Sistema sostenible de desalinización y riego subterráneo de agua de mar) se compone de una mezcla de diversos temas de estudios, conjugados en la desalinización del agua de mar y la debida aplicación del producto a los cultivos. Todo esto enfocado al mejoramiento de las condiciones actuales y a futuro de la península de Azuero. El diseño de este fue en base a la fusión de conceptos analizados del mecanismo de proyectos ya existentes, con las nuevas ideas propuestas comprobadas mediante experimentación, convirtiéndose así en un nuevo proyecto de desarrollo sostenible.

El microsistema tiene un diseño volumétricamente cerrado, con la finalidad de evitar que el vapor que este produzca se pierda en el ambiente exterior, el mismo cuenta con unas tuberías que transportaran el agua desalinizada (ver metodología, procedimiento desalinizador detallado) al área de cultivo. El transporte del agua por las tuberías es efectuado por gravedad [18], teniendo como destino el suelo subterráneo para su debido riego. El riego subterráneo es una técnica que favorece con la disminución del uso de agua en los cultivos [19] y esto se planifico pensando en la situación degradada del suelo y el alto nivel de calor los cuales provocan una evaporación más anticipada del agua.

### 3. Metodología

El modelo de este experimento se basó en una fusión de dos proyectos ya conocidos, la obra arquitectónica de Nicholas Grimshaw (Teatro del Agua) y la idea de Charlie Paton (Invernadero de Agua de Mar), [20], [21], [22] los cuales crearon métodos para la utilización del agua de mar.

El experimento se realizó en tres etapas, las cuales comprenden:

#### 3.1 Etapa I. Proceso de desalinización

Para el proceso de desalinización se creó un microsistema cerrado (figura 2) para evitar la pérdida de vapor de agua. Su funcionamiento se inicia vertiendo el agua de mar en una bandeja de aluminio (cuya conductividad térmica es 237 W/Km) para acelerar la conducción de calor, posteriormente el microsistema es colocado en el sol a temperatura ambiental de 26°C o menos. Una vez que el agua comience a evaporar las partículas del agua de mar entran en contacto con las paredes internas del microsistema (vidrio con una conductividad térmica de 0.6-1.0 W/Km) [23], debido al calor que genera el sol, una vez las partículas de agua se condensan en la parte superior descenderán por efecto gravedad gracias a una pequeña inclinación de aproximadamente 45°, hacia unos tubos y de estos a una bandeja recolectora. Mientras que el agua condensada en las paredes descenderá y también pasará a la bandeja recolectora, para que posteriormente se dé su utilización.

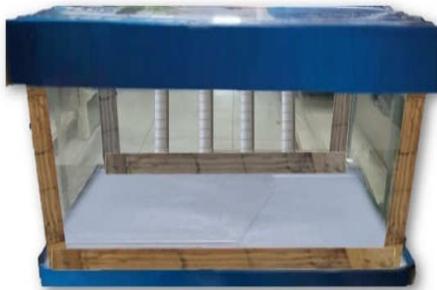


Figura 2. Microsistema de desalinización.

#### 3.2 Etapa II. Área de estudio, análisis de muestras de agua y suelo

Como se explicó anteriormente en la introducción, se considera importante la aplicación del sistema innovador de generación de agua dulce en zonas con extrema necesidad como lo es el arco seco. Para ello fue necesario analizar las muestras del suelo de la zona de aplicación, y el producto (agua

desalinizada) obtenido del sistema cuyo mecanismo fue anteriormente explicado.

#### 3.3 Área de estudio de selección del suelo y agua

Se seleccionó, como zonas de estudio el área de Los Ángeles (corregimiento de El Espinal, distrito de Guararé) (figura 3) la cual posee un suelo con característica áridas, y la playa La Enea (corregimiento y distrito de Pedasí) en Los Santos, península de Azuero, Panamá (figura 4).

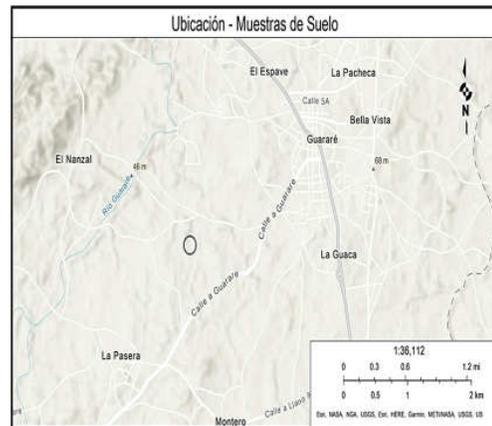


Figura 3. Mapa del sitio de extracción de muestras de tierra. República de Panamá, península de Azuero, distrito de Guararé, comunidad de Los Ángeles coordenadas UTM 7.8742280 N, UTM-80.3610510 W.

La muestra de suelo se tomó en las coordenadas UTM 7.8742280 N, UTM-80.3610510 W. La muestra de agua se tomó en las coordenadas UTM7.4500259, UTM-80.0466224.



Figura 4. Mapa del sitio de toma de muestras de agua. República de Panamá península de Azuero, distrito de Pedasí, playa La Enea coordenadas UTM UTM7.4500259, UTM-80.0466224.

### 3.3.1 Análisis de muestras de agua

Se analizaron cuatro muestras de agua y se verificaron los niveles de pH, salinidad y conductividad (figura 5) [24]. Utilizando como equipo para realizar los análisis, el multiparámetro YIS, cumpliendo con el debido cuidado y limpieza luego de analizar cada muestra.



Figura 5. Análisis de muestras de aguas.

Una vez extraídas las muestras de suelo (figura 6), se procedió a analizar las muestras.



Figura 6. Extracción de muestras de suelo.

Se procedió a utilizar el método de tamizaje para calcular el porcentaje de arena en una arcilla pasándose por un lavado y secado con anterioridad (figura 7) [25].



Figura 7. Procedimiento del tamizado y secado de la muestra.

Las muestras tomadas fueron pesadas antes de realizar el secado, y luego pesadas nuevamente para así determinar el porcentaje de humedad de el suelo por capas [25].

### 3.4 Etapa 3. Aplicación del agua desalinizada a los cultivos

Cuando se dispuso a utilizar el agua, se pensó que esta dañaría inmediatamente a las plantas y por ello se ideó aplicar el método de riego subterráneo. Con la idea de que a partir de esta forma se logre minimizar aún más el nivel de salinidad del agua, se realizó un diseño experimental mediante un microsistema de riego (figura 8), utilizando muestras de suelo procedentes de la región de Azuero, Los Santos. Utilizando agua de lluvia, agua de mar, agua de mar desalinizada (por el microsistema) y agua potable. Con una dosis de 300 mililitros (solo el primer día) y 100 mililitros (diariamente los próximos días), de cada tipo de agua. El primer día se roció la superficie para estimular el proceso de germinación, mientras que los días siguientes se aplicó por medio del segmento de tubería sobresaliente en la superficie del terrario, para que esta por medio de gravedad llegara al interior del suelo y cumplir así con el proceso de riego subterráneo (figura 10), lo que posteriormente llegaría a las raíces de los cultivos por medio de evapotranspiración.

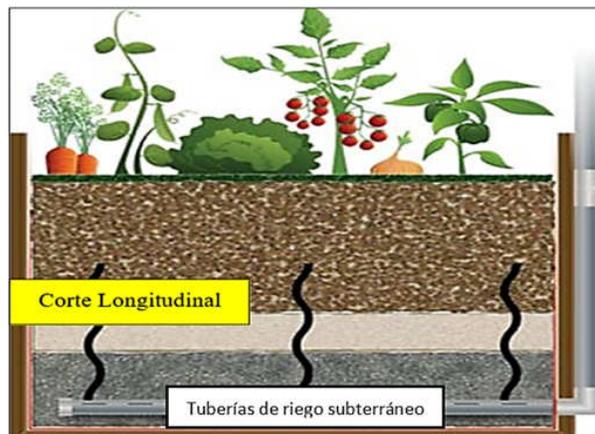


Figura 8. Esquema de corte longitudinal del terrario. Proceso de evapotranspiración por medio del riego subterráneo.

Las semillas sembradas fueron: frijol, maíz, lentejas y guandú. En la figura 9 se muestra la conformación de los bioensayos, realizados en triplicado.

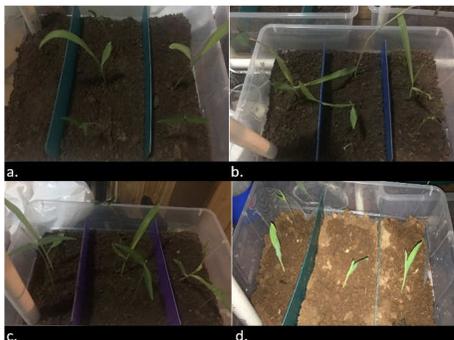


Figura 9. Terrario regado con: a. agua de lluvia, b. agua de mar, c. agua desalinizada, d. agua potable.

El terrario fue dividido en cuatro capas, cada una con cuatro centímetros de grosor. Las semillas seleccionadas se sembraron en la capa superior. Una vez que germinaron las diferentes plantas se inició la revisión visual en cambios de color en las plantas, marchitación, etc.

Se observaron las plantas para notar si se daban posibles cambios y si había algún elemento físico destacable.

#### 4. Resultados y discusión

El proyecto posee dos divisiones, siendo el funcionamiento del sistema para la desalinización del agua de mar y posteriormente la debida aplicación de forma subterránea del producto a los cultivos.

##### 4.1 Rentabilidad del sistema desalinizador

Ya se conocía de antemano, que uno de los principales problemas para la desalinización del agua de mar, es cómo obtener la energía necesaria para llevar a cabo la operación, sin incurrir en altos costos. Por esta razón se diseñó el sistema de tal forma que sea capaz de cumplir con el mínimo impacto ambiental. Sin el requerimiento de engranajes, ni de la intervención de materiales que puedan afectarse por acción de la salinidad, y que su mantenimiento o funcionamiento no puedan afectar a los seres vivos que la rodean.

Presenta adaptabilidad ante cambios ambientales siendo capaz de seguir funcionando durante la noche, pues se tomó la iniciativa de prevenir la posible debilidad, usando el mecanismo del escarabajo de Namibia, quien recoge agua condensada (procedente del sereno) entre sus alas para poder sobrevivir [26], técnica analizada en estudios ya existentes, con la cual es posible la obtención de agua dulce sin intervención de métodos mecánicos, hidráulicos u otros procedentes de energías convencionales. Siendo posible la no detención del proceso de evaporación y condensación, día y noche, respectivamente [27].

##### 4.2 Resultados en análisis de suelo y agua desalinizada

Es necesario observar los datos en la tabla 1 y tabla 2, donde se presentan los resultados de los análisis de suelo y agua, los cuales sirvieron para comprobar el nivel de salinidad del agua desalinizada, y su comparación con otras muestras de agua.

Tabla 1. Datos de análisis de suelo

| Suelos |                             |                         |                        |
|--------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| CAPAS  | Clasificación de la muestra | Peso de la muestra (kg) | Cantidad de finos (kg) |
| 1      | Arcillo Arenoso             | 2                       | 138.65                 |
| 2      | Arcillo Arenoso             | 2                       | 136.55                 |
| 3      | Arcillo Arenoso             | 2                       | 120.04                 |
| 4      | Arcillo Arenoso             | 2                       | 118.57                 |

Tabla 2. Datos de análisis de agua

| Agua              |               |      |                                   |                     |
|-------------------|---------------|------|-----------------------------------|---------------------|
| Tipo de muestra   | Cantidad (ml) | PH   | Conductividad (S/m) (durante 30s) | Salinidad (sal-g/l) |
| Agua desalinizada | 175           | 6.74 | 0.18                              | 0.01                |
| Agua de mar       | 175           | 8.17 | 5.26                              | 34.39               |
| Agua de lluvia    | 175           | 6.11 | 0.05                              | 0.02                |
| Agua potable      | 175           | 7.01 | 0.06                              | 0.40                |

En cuanto al suelo en todas sus capas es de textura arcillo arenosa [28]. Por otra parte, los resultados de los parámetros de calidad del agua mostraron que hubo una efectividad en el proceso de desalinización, ya que el agua desalinizada redujo su nivel de salinidad a 0.01 g/L, puesto que el agua de mar para el mismo parámetro muestra un valor de 34.39 g/L, incluso siendo menor al agua potable que mostró un valor 0.40 g/L y el agua de lluvia con un valor de 0.02 g/l.

Otro cambio importante fue el valor de pH de agua de mar de 8.17 en el agua desalinizada a 6.74, paso de un valor alcalino a ligeramente ácido, el agua potable se mantuvo en 7.01 neutro y el agua de lluvia ácido en 6.11.

Por otra parte, los valores de conductividad en los diferentes tipos de agua se mantuvieron en el rango de 0.05 S/m para el agua de lluvia hasta 5.26 S/m para el agua de mar [24].

La cantidad de arena con respecto a otros elementos es mayoritaria (tabla 3) siendo el segundo componente del suelo de la región, siendo 81.13% arcilla y 18.87% de arena convirtiéndose esta última en uno de los principales factores

por el cual el suelo está deteriorándose con el paso del tiempo, agregado a ello el inadecuado tratamiento que se le da a la hora de cultivar [28].

La tabla 3 muestra el porcentaje de finos en la capa 2. Capa con mayor cantidad de arena M. muestra, M+TARAS.H. muestra de tara de suelo húmedo, M+TARAS.S. muestra de tara de suelo seco, M.W. peso de la muestra, M.S.S muestra de suelo seco, W% porcentaje de peso,  $\bar{x}$  promedio del peso de las muestras.

El análisis de humedad en suelo dio como resultado que la cantidad de humedad por capa va descendiendo según sea la profundidad que tenga el mismo en otras palabras de un 100% de humedad en el suelo 28.63% será de la capa superficial, 24.52% capa 2, 23.89% capa 3 y un 22.96% en la capa 4, lo que coincide con valores obtenidos en el Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe [3]. Asimismo, la humedad con una buena técnica de riego se dará en aumento.

El presente estudio muestra un nivel bajo de humedad en relación con otros suelos de Panamá, esto se debe al manejo incorrecto que se les da a los suelos y además los factores de cambio climático [5].

Al realizar estudios a pequeña escala utilizando terrarios para proyectar como es y sería el suelo de la región, y utilizando tres tipos de agua a parte del agua desalinizada (producto de este estudio), se tomaron datos que demuestran que el utilizar agua desalinizada le proporciona al suelo un apoyo y que ha futuro, este suelo [25], puede restablecer el equilibrio de sus propiedades físico químicas productivas (i.e. pH=7) y favorecer el cultivo de la región, coincidiendo con [18].

El agua desalinizada tiene un nivel de pH aproximadamente neutro (6.74), nivel de salinidad (2.61g/L) y una conductividad (0.18 S/m) la cual da como resultado que está dentro del rango de agua apta para el riego (0-3) S/m [29], a causa de que la cantidad de sal es la suficiente para que el cultivo sobreviva y se desarrolle óptimamente.

### 4.3 Resultados de la implementación de riego subterráneo en cultivos

De acuerdo con los resultados se logró observar que en aquellos cultivos donde se aplicó el agua desalinizada, se produjo un mayor desarrollo en el cultivo principalmente en plantaciones de frijoles (figura 10) y maíz (figura 11), ambos al décimo día de estudio.

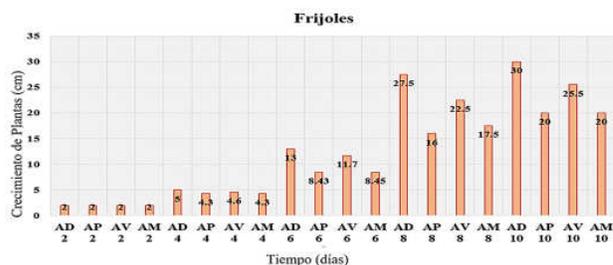


Figura 10. Crecimiento de frijoles. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar.

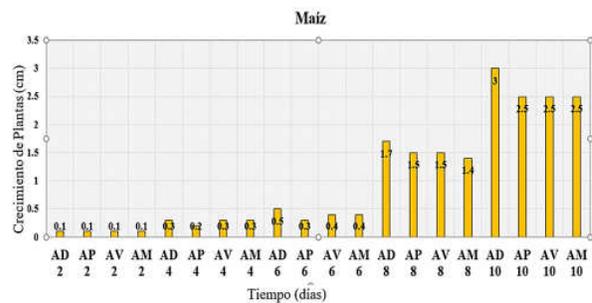


Figura 11. Crecimiento de maíz. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar.

Los desniveles que se generaron son relacionados a diversos factores abióticos no estudiados.

Tabla 3. Porcentaje de finos en la capa 2

| Porcentaje de humedad |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capas                 | Capa 1 |        | Capa 2 |        | Capa 3 |        | Capa 4 |        |
| Muestras              | M1     | M2     | M1     | M2     | M1     | M2     | M1     | M2     |
| MTara (kg)            | 9.42   | 9.37   | 9.52   | 9.47   | 9.33   | 9.40   | 9.58   | 9.34   |
| M+TaraSH (kg)         | 116.88 | 127.35 | 137.92 | 142.88 | 141.70 | 141.11 | 148.07 | 145.01 |
| M+TaraSS (kg)         | 97.34  | 105.25 | 115.77 | 120.40 | 121.34 | 120.04 | 126.56 | 124.17 |
| MW (kg)               | 19.54  | 22.10  | 22.15  | 22.48  | 21.36  | 21.07  | 21.72  | 20.84  |
| MSS (kg)              | 87.92  | 95.88  | 106.25 | 110.93 | 112.01 | 110.64 | 116.77 | 114.48 |
| W (%)                 | 22.2   | 23.05  | 20.85  | 20.26  | 19.07  | 19.04  | 18.60  | 18.20  |
| $\bar{x}$             | 22.63  |        | 20.55  |        | 19.06  |        | 18.40  |        |

En forma general el agua desalinizada fue aquella que mostró los mayores resultados en crecimiento de las plantas estudiadas (con una diferencia en el día 10 de 0.5 cm con respecto a los resultados de otras aplicaciones de agua), el agua de mar o agua salada mostró un incremento de manera lenta, pero posterior al día veinte de estudio, las plantas lograron un desarrollo con un crecimiento similar al de las plantas de agua desalinizada (incremento de 1.1cm). En el agua potable y el agua de lluvia el desarrollo fue constante y no produjo cambios repentinos de crecimiento.

El crecimiento de plantas en forma general mostró un desarrollo más rápido en frijoles durante los primeros cinco días (3cm/por día) posteriormente fueron disminuyendo la velocidad (aproximadamente 1.5 cm/por día) (figura 12).

El análisis de crecimiento de las plantas en función del tipo de agua proveída (figura 12) determinó que el agua desalinizada aportaba un beneficio extra en crecimiento con respecto a las plantas a las cuales se le aplicó agua de mar, de lluvia, y potable; ya que crecían significativamente. Esto se puede explicar entre otros factores, ya que el agua desalinizada cumplía el rango de conductividad que poseen los cultivos [29]. Y por otra parte el agua desalinizada cuenta un pH casi neutro (6.74), salinidad baja (0.01 g/L), y posee una característica importante, no cuenta con cloro añadido, como el caso del agua potable.

## 5. Conclusiones

La desalinización del agua de mar en las grandes empresas desalinizadoras acarrea varios problemas, entre los que destacan: el alto costo de su proceso, contaminación, los requerimientos de energía a gran escala, una dependencia aún mayor de las conocidas energías fósiles. Aplicar el riego subterráneo es una forma de mayor aprovechamiento del agua en el tema del cultivo de plantas.

El sistema que se propone posee un método simple de obtención del agua dulce a partir del agua de mar que no requiere combustible para ser transformada. En su lugar, se basará en el mar, el sol y el viento para producir la energía necesaria que requiere el proceso, lo cual lo hace auto gestionable. La tecnología es bastante sencilla y efectiva en la disminución de los niveles de salinidad en el agua de 34.39 g/L a 0.01 g/L.

La propuesta apoyada en los datos obtenidos por revisión literaria y experimentación, logra conjugar una serie de factores relacionados con el sistema, desde los ambientales, los cuales son parte esencial en el funcionamiento del mismo, como también el estado actual de la zona de aplicación, siendo este último aspecto relevante a la hora de determinar la sostenibilidad

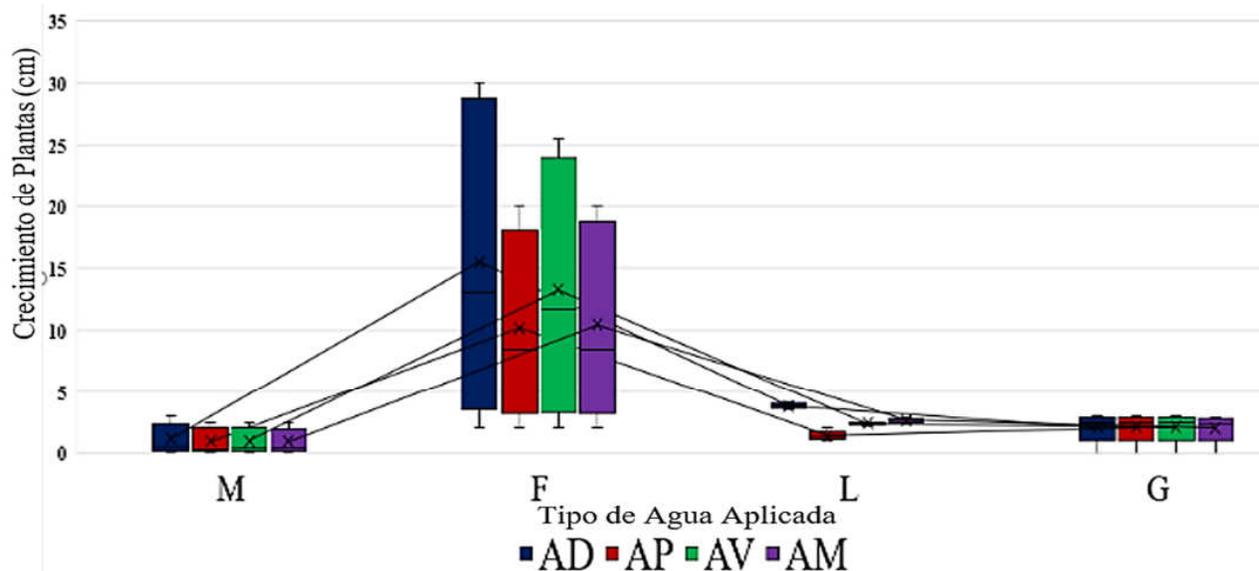


Figura 12. Crecimiento de plantas. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar, M. maíz, F. frijoles, L. lentejas, G. guandú

del sistema, sin causar una mayor afectación ambiental, y así servir como medida alternativa para sobrellevar la problemática que hoy en día es una de las mayores preocupaciones no solo de la región sino a nivel mundial

Este estudio demuestra que sí es posible obtener agua de buena calidad por desalinización y de manera sostenible utilizando energía solar en vez de métodos convencionales de producción de energía eléctrica. Por otra parte, se sientan las bases para que se considere replicar Aqua plantae a gran escala, y de esta forma brindar agua a lugares del país que lo necesiten con urgencia, y sobre todo en períodos de sequía en los que se pone en riesgo la producción de alimentos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing., J. J. Candanedo especialista en suelos, Ing., Miguel Rudas por brindarnos sus ideas técnicas en cuanto al montaje del microsistema de agua salada, al Dr. José Villarreal, Investigador Agrícola Ing. Jhon Alexander Villalaz Pérez, y a la Lic. Leyda Aguilar por sus aportes en ideas sobre salinidad en suelos y cultivos.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Fundación Aqueae, «Fundación Aqueae,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki-aqueae/datos-del-agua/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>. [Último acceso: 6 abril 2018].
- [2] UNEP, «UNEP LIVE,» 2016. [En línea]. Available: <http://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6-LAC/html/index.html>. [Último acceso: 3 mayo 2018].
- [3] C. A. M. B. S. C. J. C. G. C. E. R. A. J. A. K. P. M. S. B. M. M. L. M. U. O. S. P. V. R. M. V. Gardi, «Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea,» 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/260511837\\_Soil\\_Atlas\\_of\\_Latin\\_America\\_and\\_Caribbean](https://www.researchgate.net/publication/260511837_Soil_Atlas_of_Latin_America_and_Caribbean). [Último acceso: 15 mayo 2018].
- [4] ANAM-SENACYT, «Mi Ambiente,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES\\_DE\\_SEQUIA\\_Y\\_DEGRADACION.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES_DE_SEQUIA_Y_DEGRADACION.pdf). [Último acceso: 25 abril 2018].
- [5] Mi Ambiente, «Atlas de las Tierras Secas y Degradadas de Panamá,» 21 mayo 2017. [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/atlas\\_tierras\\_secas.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/atlas_tierras_secas.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [6] ANAM-SENACYT, «Mi Ambiente,» [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES\\_DE\\_SEQUIA\\_Y\\_DEGRADACION.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES_DE_SEQUIA_Y_DEGRADACION.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [7] La Estrella de Panamá, «Panamá,» Durante el 2016 la sequía se extenderá por 7 meses, p. 1, 21 septiembre 2015.
- [8] D. R. Tejeira, «Universidad de Panamá Facultad de Ciencias Agropecuarias,» mayo 2016. [En línea]. Available: [http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f\\_agropecuaria/documentos/SU\\_ELO.pdf](http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f_agropecuaria/documentos/SU_ELO.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [9] El Comercio, «Panamá sufre una de las peores sequías de los últimos 100 años,» El sol abrasador y escasez de agua golpea a la provincia de Los Santos, p. 1, 29 enero 2016.
- [10] La Estrella de Panamá, «Economía,» Población estimada de Panamá es de 4,058,372, según el INEC, p. 1, 2 noviembre 2016.
- [11] F. F. Pliego, «Blog La Calidad Ambiental,» Fernando Follos Pliego, 1 junio 2013. [En línea]. Available: <http://ferfollos.blogspot.com/2013/06/oasis-artificiales-con-agua-de-mar.html>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [12] ETESA, «ETESA S.A.,» [En línea]. Available: [http://www.hidromet.com.pa/clima\\_panama.php](http://www.hidromet.com.pa/clima_panama.php). [Último acceso: 7 abril 2018].
- [13] UNESCO, «Phi-LAC,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.hidromet.com.pa/documentos/Balance\\_Hidrico\\_Superficial\\_Panama\\_1971-2002.pdf](http://www.hidromet.com.pa/documentos/Balance_Hidrico_Superficial_Panama_1971-2002.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [14] «CLIMATE-DATA.ORG,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/location/5885/>. [Último acceso: 6 abril 2018].
- [15] S. Arnalich, Abastecimiento de Agua por Gravedad, Arnalich Santiago, 2008.
- [16] J. F. Fernández, «iAgua,» iAgua Conocimiento S.L., 21 12 2015. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/iriego/riego-agricola-goteo-subterraneo>. [Último acceso: 1 abril 2018].
- [17] Fundación Aqueae, «Fundación Aqueae,» 2016. [En línea]. Available: Cifras de porcentaje de agua en el mundo: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki-aqueae/datos-del-agua/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>. [Último acceso: abril 2018].
- [18] Tecnometro, «TECNOMETRO,» 4 septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://tecnometro.blogspot.com/2008/09/invernaderos-con-agua-de-mar-para-darle.html>. [Último acceso: 24 junio 2016].
- [19] A. Escario, «Dipler,» 31 diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.dipler.org/2008/12/el-teatro-del-agua/>. [Último acceso: 24 junio 2016].
- [20] Global Water Forum, «Global Water Forum, » Global Water Forum, 28 mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.globalwaterforum.org/2012/05/28/seawater-greenhouse-a-new-approach-to-restorative-agriculture/>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [21] Joakim Hauge, «Sahara Forest Project, » Sahara Forest Project, Inc, 2015. [En línea]. Available: <https://www.saharaforestproject.com/>. [Último acceso: 5 abril 2018].

- [22] A. Martínez, «Desenchufados.net.» [En línea]. Available: <https://desenchufados.net/proyecto-bosque-del-sahara-invernaderos-de-agua-salada-y-concentradores-solares/>. [Último acceso: 8 abril 2018].
- [23] A. J. Chapman, «Conductividad Térmica de los materiales.» de Transmisión de Calor, Madrid, España, Bellisco, 1984, pp. 23-32.
- [24] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.), Washington DC: American Public Health Association, 1998.
- [25] W. Forythe, Manual de laboratorio de física de suelos., San José, Costa Rica: Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1974.
- [26] «La Barulla Blog,» 10 diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://labarulla.blogspot.com/2015/12/el-escarabajo-de-namibia.html>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [27] D. Civantos, «La Información.com,» 7 julio 2010. [En línea]. Available: <http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2010/07/07/rocio/>. [Último acceso: 9 abril 2018].
- [28] J. E. Villarreal, «Clasificación Taxonómica y Caracterización Físicoquímica de los Suelos de la Región de Azuero,» IDIAP, octubre 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/320911289\\_CLASIFICACION\\_TAXONOMICA\\_Y\\_CARACTERIZACION\\_FISICOQUIMICA\\_DE\\_LOS\\_SUELOS\\_DE\\_LA\\_REGION\\_DE\\_AZUERO-PANAMA?enrichId=rgreq-e6620018a32542d306d7807dfca798c3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMDkxMTI4OTtBUzo1NTgxN](https://www.researchgate.net/publication/320911289_CLASIFICACION_TAXONOMICA_Y_CARACTERIZACION_FISICOQUIMICA_DE_LOS_SUELOS_DE_LA_REGION_DE_AZUERO-PANAMA?enrichId=rgreq-e6620018a32542d306d7807dfca798c3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMDkxMTI4OTtBUzo1NTgxN.). [Último acceso: 2 mayo 2018].
- [29] M. A. M. Redondo, «iAgua,» iAgua Conocimiento S.L., 24 4 2017. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>. [Último acceso: 25 abril 2018].

# Una revisión de las estrategias de diseño de envolventes para minimización de consumo energético de edificaciones en clima tropical basado en enfoques biomiméticos

## A Review on the Envelope Design Strategies to Minimize Energy Consumption in Buildings in Tropical Climate based on Biomimetic Approaches

Oscar Cowen<sup>1</sup>, Nicole Delgado<sup>1</sup>, Chrissmar González<sup>1</sup>, Miguel Chen Austin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso

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

**Resumen.** La envolvente térmica de una edificación es la interface entre el ambiente exterior y los espacios habitables de su interior, y se considera uno de los aspectos más críticos para la gestión eficiente de la energía de calefacción, refrigeración e iluminación. En este artículo se presenta una revisión sobre distintos enfoques basados en estrategias biomiméticas, que pueden ser aplicados al diseño y construcción de envolventes térmicas autoajustables. Las estrategias de adaptación conductuales, morfológicas y fisiológicas, que tienen los organismos en la naturaleza, sirven de inspiración a la humanidad para lograr grandes avances como el diseño de estructuras inteligentes para edificaciones y la creación de materiales bioinspirados.

**Palabras clave.** Biomimética, edificaciones, envolvente, térmico, tropical.

**Abstract.** A building thermal envelope is the interface between the outdoor environment and the occupied spaces of its interior and is considered one of the most critical aspects to accomplish energy efficiency. This paper presents a research review on different approaches based on biomimetic strategies, which can be applied to the design and construction of self-adjusting thermal envelopes. The behavioral, morphological, and physiological adaptation strategies that organisms have in nature, serve as an inspiration to humanity to achieve great advances such as the design of smart building structures and the creation of bio-inspired materials.

**Keywords.** Biomimicry, buildings, envelope, thermal, tropical.

### 1. Introducción

Con el aumento de la población humana y la urbanización, se ha dado un aumento exponencial en el consumo de energía en las edificaciones. El derroche de los recursos naturales, y el aumento de los gases de invernadero hacen que se busquen alternativas que no resulten perjudiciales para el ambiente. Es aquí donde se recurre a la biomimética, como el futuro de sustentabilidad. La biomimética se ha propuesto como un medio para fusionar el medio ambiente en el diseño proyectos y así poder alcanzar principios de sostenibilidad e innovación. La biomimética, como se le conoce en la práctica, es un método por medio del cual los diseñadores e ingenieros hacen investigaciones biológicas con el propósito de determinar cómo los organismos resuelven problemas complejos. En otras palabras, usan la información del desarrollo obtenido a través de millones de años de evolución para obtener un diseño [1].

Desde el inicio de la humanidad, los seres humanos se han inspirado por la naturaleza. Ya sea de manera consciente o inconsciente. La biomimética se remonta en el renacimiento italiano, donde Leonardo Da Vinci se inspiró en la anatomía y la forma de volar de los pájaros. Leonardo Da Vinci es considerado uno de los pioneros de la biomimética. Siendo la inspiración para el Da Vinci Index, el cual busca aumentar la eficiencia de las aplicaciones en la biomimética [2]. Muchas de estas innovaciones son altamente acreditadas en el área de medicina, sensores, sistemas de alarmas, agricultura, arquitectura y construcción de edificaciones. Siendo la última nuestro enfoque principal en este documento.

Algunos autores afirman que el biomimetismo promete una mejora en el entorno condiciones en los edificios. La tecnología de la construcción ha experimentado un dramático desarrollo en el uso de materiales bio-inspirados. Ya sea al imitar la estructura, los aspectos de comportamiento,

funcionales o morfológicos de los organismos naturales; se puede conducir a numerosos tipos de materiales bio-inspirados. Todos introduciendo nuevos métodos para estructuras diseño, aislamiento térmico, impermeabilización, etc. [3].

Una rama de la biomimética se enfoca en encontrar la forma en que los organismos han sobrevivido. A partir de estos, el biomimetismo promete lecciones aprendidas sobre eficiencia energética que se puede aplicar a los edificios. Algunas de estas lecciones sugieren materiales con alto rendimiento térmico. Por ejemplo, las fachadas de los edificios juegan un papel importante papel en el intercambio y almacenamiento de energía como un filtro que modera los flujos de energía entre el entorno interno y externo. Se han observado grandes mejoras en el rendimiento térmico de los edificios al imitar a la naturaleza y considerando las fachadas de los edificios como como las pieles de los organismos vivos. Aunque las tecnologías de fachada convencionales han cumplido parcialmente el intercambio de energía, el enfoque de la biomimética contemporánea ha abierto nuevas vías para la creación de materiales innovadores que contribuyan eficazmente al confort térmico. Asimismo, materiales convencionales como el hormigón y el vidrio están siendo reemplazados por materiales bio-inspirados. Patrones naturales como las configuraciones estructurales de nido de abeja y pompas de jabón recientemente han inspirado la creación de membranas de construcción descritas por Peters como "innovadoras membranas textiles" [4].

La envolvente, es uno de los aspectos más críticos para la gestión eficiente de la energía de calefacción, refrigeración e iluminación en los edificios. Un sistema de fachada es una barrera y un intercambiador (simultáneamente) de temperatura, luz y aire entre el ambiente interior del edificio y el ambiente exterior [5]. Por lo tanto, el diseño y el funcionamiento adecuados de la fachada pueden ahorrar una cantidad considerable de energía.

En términos de climas tropicales, aclimatar las edificaciones ha sido el desafío para la arquitectura en términos de comodidad térmica. Reducir el efecto de las altas temperaturas externas representa un factor importante que afecta directamente a la eficiencia energética del edificio. Actualmente, la estrategia más empleada para abordar este amplio rango de temperatura del clima son los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado), se necesita mucha energía en estos lugares para confort térmico interior. Hay muchos estudios que se centran en el sistema HVAC de alta tecnología o eficiencia para ahorrar energía. Sin embargo, consideramos que el punto fundamental corresponde a estrategias que abordan la orientación, los materiales y otros diseños, en lugar de un tratamiento externo como el Sistema HAVC. Actualmente, existe un patrón de rascacielos de vidrio en los trópicos,

desiertos y otros climas, para los cuales estos diseños no son sostenibles. Estas edificaciones contribuyen a la degradación global (promoviendo el cambio climático) y local (cultural) ambiental. Los edificios deben ser diseñados e inspirados por el lugar.

Es por esto, que en este documento nos enfocaremos en presentar alternativas inspiradas en la naturaleza para aumentar la eficiencia energética en las edificaciones ubicadas en climas tropicales. Resultando en un sistema de una envolvente autoajustable, que disminuya el gasto energético y a la vez garantice confort térmico. Para poder cumplir esta meta, el artículo revisa literatura relacionada a diseños enfocados en la biomimética, específicamente en el área de arquitectura y fachadas interactivas.

## 2. Materiales y métodos

Al momento de realizar la búsqueda, esta se enfocó en las bases de datos de Google Scholar, ResearchGate y Minerva Access. La búsqueda se basó en palabras clave. Se buscaron palabras clave en el texto completo. En cada base de datos, los términos se hicieron consistentes para enfocar el proceso de búsqueda en el alcance de la investigación. Las bases de datos se escanearon tres veces con cinco conjuntos diferentes de palabras clave:

- Bioinspired AND dynamic envelope: De esta búsqueda surgieron 8840 resultados. Por lo tanto, se procedió a anexar una restricción de tiempo (2016-2021). Obteniendo 5370 resultados.
- Bioinspired AND dynamic envelope AND buildings: 2850 resultados.
- Bioinspired AND dynamic envelope AND buildings AND tropics: 291 resultados. De estos 291 resultados se seleccionaron 50 cuyos títulos estuvieran lo más relacionado a nuestro tema principal. Al leer los resúmenes se redujo a 20 artículos los cuales consideramos relevantes.

Adicionalmente, se aplicó el método de perla. El cultivo de perlas es una técnica que se utiliza para garantizar que se incluyan todos los artículos relevantes. El cultivo de perlas implica identificar un artículo principal que cumpla con los criterios de inclusión para la revisión. A partir de este artículo principal, el investigador trabaja hacia atrás para encontrar todos los artículos citados en la bibliografía y verifica su elegibilidad para su inclusión en la revisión. El investigador luego trabaja hacia adelante para buscar cualquier artículo que haya citado el artículo principal. Con la ayuda de este método se garantiza una mayor profundidad de búsqueda con respecto a artículos verdaderamente relevantes a la investigación.

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación son presentados por medio de un resumen de cada uno de los artículos seleccionados de acuerdo a los parámetros escogidos. Además, se presenta la figura 1 como resumen.

#### 3.1 Materiales activos para envolventes arquitectónicas adaptativas basadas en los principios de adaptación de plantas

- Bioinspiración:

Esta investigación se enfoca en las plantas y su capacidad de adaptación al medio en que se encuentran. Específicamente estudia la estoma, célula que se localiza en la epidermis de las hojas y cuyas funciones incluyen controlar el intercambio de gases en procesos como la respiración y fotosíntesis, y liberar el exceso de agua de la planta en forma de vapor de agua [6].

- Tecnologías

Encontrar un material que pueda adaptarse en tiempo real a las condiciones ambientales (doblándose, encogiéndose o expandiéndose), como lo hacen las estomas, representaría una manera de reducir el consumo energético.

- Nivel 1 de biomimesis

Comportamiento. La estoma responde a estímulos de su alrededor como la luz, temperatura, humedad y el decremento en la concentración de dióxido de carbono. Por ello, se considera que su movimiento es ejemplo de un mecanismo dinámico aplicable a envolventes térmicas de edificaciones, y se busca crear un sistema que cambie su tamaño y forma adaptándose a las condiciones ambientales cambiantes de su alrededor.

- Nivel 2 de biomimesis

Material. Por medio de materiales activos o inteligentes se podría crear una envolvente térmica que responda a los cambios de manera automática, simulando el comportamiento de las estomas. Algunos de los materiales identificados durante este proyecto fueron: hidrogel, que se expande ante cambios en la humedad; aleaciones con memoria de forma, capaces de deformarse y volver a su forma original tras ser sometirse a cambios de temperaturas, y polímeros absorbentes de CO<sub>2</sub>.

- Escala

Micro. Se estudia a fondo el comportamiento de estas células de las plantas, así como las propiedades de aquellos materiales activos que responden a cambios en las condiciones exteriores. Se sugiere, además, realizar experimentos controlados en laboratorios, para estudiar con más detalle las respuestas de los materiales propuestos (madera, hidrogel, aleaciones).

#### 3.2 Enfoques biomiméticos para el diseño de envolventes para la adaptación ambiental

- Bio-inspiración:

Se expone cómo la adaptación morfológica, de animales y plantas, puede ser utilizada para el diseño de envolventes dinámicas. Estudiar esta estrategia de adaptación permite establecer relaciones directas entre cómo la forma, tamaño o patrón de un organismo puede ayudarlo a ajustarse al ambiente en el que vive, y extrapolarlo al diseño de una envolvente dinámica.

| Referencias | Bio-inspiración |         |                      | Nivel 1 Biomimética |                |            | Nivel 2 Biomimética |          |         | Escala |       |
|-------------|-----------------|---------|----------------------|---------------------|----------------|------------|---------------------|----------|---------|--------|-------|
|             | Animales        | Plantas | Forma, patrón, otros | Organismo           | Comportamiento | Ecosistema | Forma               | Material | Proceso | Micro  | Macro |
| [8]         |                 | ✓       |                      |                     | ✓              |            |                     | ✓        |         | ✓      |       |
| [9]         | ✓               | ✓       |                      | ✓                   |                |            | ✓                   |          | ✓       |        | ✓     |
| [10]        |                 | ✓       |                      | ✓                   | ✓              |            | ✓                   |          |         |        | ✓     |
| [11]        | ✓               |         |                      | ✓                   |                |            | ✓                   |          |         |        | ✓     |
| [12]        | ✓               |         |                      | ✓                   |                |            | ✓                   |          |         | ✓      |       |
| [13]        |                 | ✓       |                      | ✓                   |                |            | ✓                   |          |         | ✓      |       |

Figura 1. Resumen de las estrategias biomiméticas encontradas en los diversos artículos analizados. Fuente: Elaboración propia.

- Tecnologías

Como la envolvente basada en estrategias biomiméticas deberá ser capaz de responder simultáneamente a más de un cambio ambiental, se recomienda enfocarse en organismos con capacidad de respuesta multifuncional como son las termitas, que disipan el calor mediante convección natural y hacen circular el aire. Aplicando este tipo de estrategias podría mejorarse tanto la eficiencia energética como la ventilación de una edificación [7].

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo. Como se propone basar el diseño de una envolvente dinámica en la estrategia de adaptación morfológica, se mencionan ciertos organismos específicos junto a las características que los han hecho capaces de sobrevivir bajo las condiciones climáticas en las que se encuentran sometidos.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma y proceso. La morfología es la rama de la Biología que estudia la estructura de los organismos, por ende, la forma y cómo esta ayuda a los organismos a adaptarse puede servir de inspiración para diseñar envolventes inteligentes.

- Escala

Macro. En este documento se presenta el enfoque biomimético dirigido al diseño de envolventes de edificaciones basado en las tres estrategias de adaptación más comunes en la naturaleza: adaptación fisiológica, morfológica y conductuales [8].

Por otro lado, en este proyecto se hace énfasis en la importancia de estudiar los procesos que llevan a cabo los organismos para responder a los cambios que ocurren en su entorno. Por ejemplo, se habla de cómo los tucanes emiten radiación para disipar el calor de sus cuerpos [9].

### 3.3 Envoltura adaptativa para edificaciones en clima cálido, inspirada en biomímesis

- Bioinspiración

Las plantas representan uno de los principales actores del biomimetismo aprendido en el diseño arquitectónico, y la reacción de estas a los cambios de su entorno es la base del estudio de los envolventes adaptativos. Teniendo en cuenta cómo responden ante diferentes estímulos como el cambio en la temperatura en un lugar en específico o el nivel de humedad, pueden crearse estrategias aplicables a los envolventes de edificios.

Se presenta el caso de la flor de mangle, las cuales tienen hojas pequeñas y una espina dorsal que reduce la superficie expuesta a la luz solar directa y aísla a las plantas de la ganancia de calor, a la vez que permite que el aire fresco y la luz del sol pasen entre ellas sin calor, todo esto mediante un

estímulo provocado por el entorno que las rodea. Por eso se estudia el patrón, distintos parámetros y los algoritmos de esta para conocer su movimiento al realizar dicha función, además de la geometría que influye de igual manera.

También se analiza cómo los cactus se mantienen frescos gracias a sus costillas, que proporcionan sombra y mejoran la radiación térmica. El sistema de sombreado inspira su geometría en los cactus con costillas de refrigeración. Estas costillas dan sombra a la superficie contra el sol abrasador y, al mismo tiempo, mejoran la radiación térmica, además de que le sirven a la planta para hincharse de agua cuando cae la lluvia sin que los tejidos se rompan. Por lo que su geometría es muy interesante para el análisis de posibles estructuras de envolventes en edificios.

Otro fenómeno para observar es el de la planta *Morning Glory* que se cierra y se abre ante la presencia o ausencia del sol por lo que se le podría llamar como un sistema de sombreado la cual sus pétalos o envoltura giran para cambiar su forma y protegerse de la intensa radiación solar directa durante el día, abriéndose por la mañana y cerrándose por la tarde [10].

- Tecnologías

Ya viendo estas especies de plantas, se puede considerar para tecnologías que se asocien a la ventilación pasiva y a la acumulación del agua como por ejemplo el cactus, debido a que su comportamiento se basaba en el confort de la planta reduciendo la radiación solar. Aplicando la biomímesis, esta se centraría en el comportamiento de las plantas y sus movimientos ante ciertos estímulos los cuales aportan diversos beneficios ante ciertas circunstancias.

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo y comportamiento. Los ejemplos mencionados en este artículo se centran en el mismo organismo y su comportamiento, ya que estas características pueden ser estudiadas y aplicadas para los envolventes sin tomar en cuenta el ecosistema en que se ubican.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma. Estas especies y muchas otras presentan formas las cuales les permite realizar distintas labores como de ventilación, colector de agua, más que todo refiriéndose a su geometría. Se toma con mucha importancia la geometría ya que también influye en la radiación solar que reciben las plantas, dependiendo de sus geometrías, estas recibirán menos o más radiación.

- Escala

Macro. Teniendo en cuenta la bioinspiración, la escala solo se basa específicamente en el comportamiento de las distintas plantas ya que, estas realizan distintos movimientos que reducen ciertas variables como la radiación y

ventilación. Además de fijarse en la geometría que aporta grandes beneficios.

### 3.4 Soluciones biomiméticas para diseñar envolventes multifuncionales

- Bioinspiración

Las termitas procedentes del sur de África son muy interesantes debido al tipo de infraestructura que realizan para el nido de su colonia. Confeccionan un montículo que beneficia su base de alimentación, que incluye ciertos hongos que requieren cierto grado de humedad alcanzado por esta infraestructura. Además, allí se dan intercambios de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, vitales para las termitas y los hongos mencionados.

Las termitas realizan ductos internos que irán en la parte inferior del montículo, captarán el aire frío y ajustando el diámetro de dichos ductos regularán el flujo del aire con la finalidad de obtener oxígeno, expulsar dióxido de carbono y controlar la humedad. Luego ese aire es transportado al espacio donde entra en contacto con las larvas y los hongos, aumentando los niveles de CO<sub>2</sub>. Por último, el aire es evacuado por la parte superior del montículo el cual vendría siendo la chimenea. La chimenea ayuda a las termitas a controlar la humedad y sacan el excedente de agua del montículo mediante la evaporación (dependiendo de la estación, habrá más o menos excedente de agua) [11].

Una de las infraestructuras que utilizan la biomimesis con respecto a las termitas es el centro comercial de Zimbabue llamado Eastgate Centre. Este centro comercial utiliza el proceso de ventilación y refrigeración de los montículos creados por las termitas; donde el aire se recoge en la parte inferior del edificio y se conduce a través de las oficinas y locales. En contacto con los usuarios, el aire se calienta 1,5°C cada día, lo que provoca un movimiento ascendente. El aire luego se extrae de forma natural a través de las chimeneas de la azotea. En cuanto la estructura del edificio, esta es conformada por ladrillo y granito los cuales son materiales comunes de Zimbabue, estos materiales permiten utilizar la capacidad térmica para amortiguar las excursiones de temperatura a lo largo del día.

- Tecnologías

En cuenta el uso del modelo de las termitas, la ventilación pasiva sería una tecnología asociada al modelo debido a los bruscos cambios de temperatura del país, acompañado con el uso de materiales adecuados para los envolventes los cuales permitan una eficaz ventilación interna.

- Nivel 1 de biomimesis

Organismo y ecosistema. Este se centra en el mismo organismo y el ecosistema ya que dicha estructura depende de lo que tenga el organismo a su alrededor (materiales, clima,

etc.) para llevarla a cabo y obtener los beneficios correspondientes.

- Nivel 2 de biomimesis

Forma. Se toma la forma ya que el organismo construye dicha estructura de forma específica para obtener un intercambio de gases de manera exitosa, por lo que la misma no está hecha de forma aleatoria simplemente porque el organismo lo quiere así, sino para buscar mayor eficiencia.

- Escala

Macro. Solo se observa el comportamiento de las termitas para confeccionar un espacio que recoja las características necesarias para obtener beneficios como el intercambio de gases y un nivel de humedad específico para su colonia y alimento.

### 3.5 Primeros pasos para diseñar ideas biomiméticas

- Bioinspiración

Animal, las ofiuras, las cuales son una clase de estrellas de mar.

- Tecnologías

Aplicables a eficiencia energética. Imitando su nanoestructura, se busca crear un sistema de fachada que cambia de color y a la vez absorbe o refleja la energía solar a partir de un flujo que cubre o revela lentes. Otro estudio señala la posibilidad de crear un sistema de fachada con lentes para obtener más energía solar y almacenarla usando PCM, siguiendo los principios de la estructura de la estrella de mar: la capacidad del sistema óptico natural para optimizar la transmisión a través de las lentes y combinarla con el flujo para almacenar energía [12].

- Nivel 1 de biomimesis

Organismo. Se ha elegido el ejemplo de las propiedades de la superficie de las estrellas frágiles para futuras investigaciones: tiene propiedades que cambian de color en la escala de tiempo diaria: durante el día está oscuro, durante la noche cambia a blanco.

- Nivel 2 de biomimesis

Forma. Tienen la capacidad de alterar el color del material de acuerdo con las condiciones externas, cambiando así su propiedad, cambiaría o incluso aumentaría su rendimiento energético: la capacidad de absorber energía.

- Escala

Micro. La superficie de la estrella de mar está cubierta de protuberancias que funcionan como lentes y están dispuestas en una fina disposición. Las lentes capturan la energía en el punto focal, pero los agujeros en los valles después de recibir la señal neural liberan un pigmento que recubre la estrella quebradiza, volviéndola negra [12].

### 3.6 La Flor de Loto: Soluciones biomiméticas en el entorno construido

- Bioinspiración

La problemática expuesta consiste en la suciedad de la fachada de un edificio, la cual se vuelve cada vez más visible con el tiempo. En los lados expuestos a la intemperie en particular, los microorganismos encuentran un ambiente ideal para colonizar debido al exceso de humedad y nutrientes de los depósitos de suciedad. Los propietarios de edificios a menudo tienen que usar productos químicos agresivos para eliminar la suciedad y los microbios, y pueden volver a pintar el edificio varias veces, lo que produce desechos innecesarios. Como en otros casos, se recurre a la naturaleza para encontrar una solución, en este caso particular nos enfocamos en la planta, la flor de loto.

- Tecnologías

Enfocado en eficiencia energética. La flor de loto posee una superficie superhidrofóbica. La cual permite que las partículas de agua se resbalen, esta flor prácticamente no se moja. Esto se debe a la superficie de la hoja, la cual tiene pequeñas ondulaciones, con las cuales el ángulo de contacto aumenta, por puro efecto de la geometría, creando una alta tensión superficial. Cabe mencionar que para ser considerado un estado superhidrofóbico, el ángulo de contacto debe ser mayor a 137°.

- Nivel 1 de biomímesis

Organismo. La flor de loto, la cual desde la antigüedad es representativo de pureza. Las grandes hojas en forma de abanico de la planta de loto permanecen secas y prístinas a pesar de los estanques y lagos fangosos que la planta llama hogar. Observando estas características, se explora la posibilidad de imitar su comportamiento e inspirarnos en sus propiedades para solucionar nuestra problemática.

- Nivel 2 de biomímesis

Forma. Al estudiar el mecanismo de autolimpieza de las plantas de loto, se han desarrollado los acabados de superficie inspirados en sus características. Estos se han aplicado a pinturas, vidrio, textiles y más, lo que reduce la necesidad de detergentes químicos y mano de obra costosa. Además, se espera poder aplicar el efecto loto para diseñar paneles solares autolimpiables, ya que tanto el polvo como la suciedad es la principal causa de la pérdida de rendimiento en dichos paneles. De esta forma se podría alargar la vida útil y aumentar la eficiencia.

- Escala

Micro. El secreto de la asombrosa superhidrofobicidad de las plantas de loto se debe a la micro y nanoestructura de las hojas. La superficie de la hoja está cubierta de papila, que son pequeñas protuberancias o crestas de aproximadamente 10-20

micrones de altura y 10-15 micrones de ancho. Estas papilas también están cubiertas por una fina capa de cera. Cuando el agua entra en contacto con estas protuberancias cubiertas de cera, forma gotas y muestra algo llamado efecto de loto [13].

## 4. Conclusiones

En este trabajo se presentó una revisión sobre distintos enfoques basados en estrategias biomiméticas, que pueden ser aplicados al diseño y construcción de envolventes térmicas autoajustables, sirviendo como referencia al mejoramiento de las edificaciones en países con un clima tropical como Panamá.

Las ventajas que ofrece la biomimética en cuanto a la construcción de envolventes para las edificaciones tenemos:

- Buena ventilación y refrigeración.
- Moderada iluminación y radiación.
- Almacenamiento térmico que permite un adecuado flujo interno del aire en el espacio.
- Reducción de la humedad.
- Ahorro de energía ligada a una mejor eficiencia.

Pero no todo son ventajas ya que los envolventes al ser bioinspiraciones, no es muy fácil adaptar el comportamiento de las plantas o animales; al ser casos muy puntuales, los métodos de construcción y diseño son más específicos lo cual agrega un grado de dificultad en la creación de estos envolventes; además que se necesitan materiales adecuados para un correcto funcionamiento, lo que implica más costos al no usar los materiales convencionales.

Se recomienda que el campo de la biomimética sea más estudiado ya que este, mediante la inspiración de los seres vivos y cómo se comportan ante ciertos estímulos o para buscar su beneficio, nos proporciona métodos mucho más eficientes y que a largo plazo no representen un derroche de dinero y sobre todo de energía.

Este tema tiene un gran impacto en la comunidad científica ya que hay veces donde se trata de buscar soluciones para distintos problemas, y esas soluciones muchas de las veces no son las más adecuadas, se pierde tiempo, recursos y energía, pero no nos damos cuenta que las soluciones las tenemos justo al frente, el uso de la biomimética proporciona un sin número de soluciones basándose en el estudio de los seres vivos, su comportamiento, sus formas, el ambiente que los rodea, por lo que es muy beneficioso relacionar las diferentes propuestas científicas a el campo de la biomimética.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá por su colaboración. Esta investigación fue financiada por la Institución Panameña

Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) <https://www.senacyt.gob.pa/>, bajo el proyecto con código FID18-056 y del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] El-Zeiny, R.M.A. Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2012, 50, 502–512.
- [2] MIMS, C. Da Vinci would approve: New index tracks the growth of innovation in biomimicry. *Corp. Kn.* 2012, 11, 36.
- [3] Imani, M. & Donn, Michael & Balador, Zahra. (2019). Bio-inspired materials: Contribution of biology to energy efficiency of buildings. 10.1007/978-3-319-68255-6\_136.
- [4] Peters S (2011) In: ProQuest (ed) *Material revolution: sustainable multi-purpose materials for design and architecture*. Springer, Basel/London
- [5] Dac Khuong Bui. (2020). Improving building energy efficiency: biomimetic adaptive façade and computational data-driven approach
- [6] Lopez, Marlen & Croxford, Ben & Rubio, Ramón & Martín, Santiago & Jackson, Richard. (2015). Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. *Journal of Facade Design and Engineering*. 3. 10.3233/FDE-150026.
- [7] Korb, J.; Linsenmair, K.E. The architecture of termite mounds: A result of a trade-off between thermoregulation and gas exchange. *Behav. Ecol.* 1999, 10, 312–316.
- [8] Badarnah, Lidia. (2017). Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation. *Buildings*. 7. 10.3390/buildings7020040.
- [9] Tattersall, G.J.; Andrade, D.V.; Abe, A.S. Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator. *Science* 2009, 325, 468–470.
- [10] Sahar Mohamed Abd El-Rahman, Sobhy Ibrahim Esmail, Husam Bakr Khalil, Zeinab El-Razaz. "Biomimicry inspired Adaptive Building Envelope in hot climate". *Zeinb El-Razaz/Engineering Research Journal* 166 (June, 2020) A1-A 17.
- [11] Cruz, Estelle & Raskin, Kalina & Aujard, Fabienne. (2017). Biomimetic solutions to design multi-functional envelopes.
- [12] First Steps to Develop Biomimicry Ideas. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/282556031\\_First\\_Steps\\_to\\_Develop\\_Biomimicry\\_Ideas](https://www.researchgate.net/publication/282556031_First_Steps_to_Develop_Biomimicry_Ideas) [accessed May 19 2021].
- [13] Y. Nanaa, H. Taleb. (2015). *The Lotus Flower: Biomimicry Solutions In The Built Environment*. ISSN 1743-3541.

# Red neuronal artificial para detección de armas de fuego y armas blancas en video vigilancia

## Artificial neural network for firearms and cutting weapons detection in video surveillance

Miguel A. Campos<sup>1</sup>, Jacqueline Sánchez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación, Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá,

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

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

**Resumen.** Con el crecimiento de la población en América Latina, las ciudades incrementan el uso de video vigilancia para monitorear áreas con el objetivo de detectar incidentes de violencia y/o delictivos para tomar acción oportunamente. Actualmente el proceso de video vigilancia es desarrollado por personal humano revisando innumerables cantidades de señales de video al mismo tiempo, la actual solución es propensa a errores, no es escalable y plantea un desafío. En esta contribución se propone construir una red neuronal convolucional CNN para la detección de armas de fuego y armas blanca en imágenes con el objetivo de automatizar y optimizar el proceso de monitorización de señales de video. Se especificó una arquitectura de red neuronal artificial que fue entrenada con un conjunto de datos (construido a medida) y evaluada para dar solución a problemática. Se logra construir el conjunto de datos objetivo y la arquitectura SSD con red base Inception V3. La arquitectura logró la detección satisfactoria de las características propuestas luego de ser entrenada con el conjunto de datos, y se discuten ciertos elementos que podrían ser mejorados en futuras experiencias.

**Palabras clave.** Aprendizaje profundo, CNN, detección de objetos, red neuronal artificial, SSD, vigilancia inteligente, visión computacional.

**Abstract.** With the growth of the population in Latin America, cities increase the use of video surveillance to monitor areas in order to detect incidents of violence and/or crime to take timely action. Currently the video surveillance process is developed by human personnel reviewing countless video signals at the same time, the current solution is error prone, not scalable and challenging. In this contribution, it is proposed to build a convolutional neural network CNN for the detection of firearms and cutting weapons in images for automating and optimizing the surveillance process. An artificial neural network architecture was specified and trained with a dataset (custom built) and tested to solve the problem. It was possible to build the dataset and the SSD architecture using Inception V3 as base network. The architecture achieved the satisfactory detection of the proposed characteristics after being trained with the dataset, and some elements that could be improved in future experiences are discussed.

**Keywords.** Deep Learning, CNN, Object detection, artificial neural network, SSD, smart surveillance, computer vision.

## 1. Introducción

La República de Panamá y Latinoamérica en general, cada día se enfrenta a problemas de violencia y criminalidad más severos. Hoy en día la región es considerada la más violenta del mundo [1], con serias agrupaciones dedicadas al crimen organizado, tráfico de drogas y armas. Por esta razón, los países de la región sufren una amenaza a la gobernabilidad democrática y la seguridad pública, además de la desmejora progresiva de los habitantes en su calidad de vida. Ciertamente,

América Latina está inundada de armas. Dos tercios de todos los asesinatos en Centroamérica se cometen con armas de fuego, esto en contraste al treinta y dos por ciento que es el promedio global [2].

Como consecuencia, de lo anterior, las autoridades de muchos países han recurrido a incrementar la presencia de cámaras de video vigilancia, las cuales son dispositivos muy económicos, pero el proceso de monitorización hace el proceso de vigilancia costoso e ineficiente, debido a que es realizado por seres humanos [3].

Muchas veces los sistemas de video vigilancia cumplen un rol de documentación de hechos al cual se recurre cuando ya se ha reportado el incidente, si se usaran los sistemas de video vigilancia de forma activa e inteligente para detectar eventos que requieren atención, entonces se podría optimizar el personal necesario para hacer el proceso de monitorización [3].

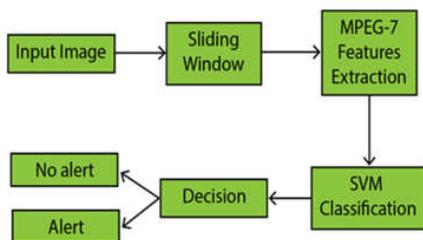
Entonces, surge la interrogante: ¿será posible la implementación de un *software* para la detección inteligente de armas de fuego y/o blanca en señales de video? Algunas investigaciones previas han desarrollado algunos algoritmos para mitigar esta problemática anteriormente como se detalla en la siguiente sección.

### 1.1 Antecedentes

Previo al inicio de esta investigación se han desarrollado algoritmos que detectan armas de fuego y armas blancas, se pueden destacar dos investigaciones principalmente.

El primer enfoque fue el problema en dos grandes partes, en una parte se desarrolló la detección de cuchillos, y en otra la detección de armas de fuego. Se planteó la detección de cuchillos basada en la detección de descriptores visuales y el empleo de *machine learning* [4]. El algoritmo identifica las manos y/o el abdomen de los seres humanos en la imagen, luego usando un mecanismo de ventanas deslizantes sobre la imagen que extraen características propias de los cuchillos mediante el empleo de una clasificación con el algoritmo SVM siglas de *Support Vector Machine* en inglés (Maquinas de vector de soporte) [4].

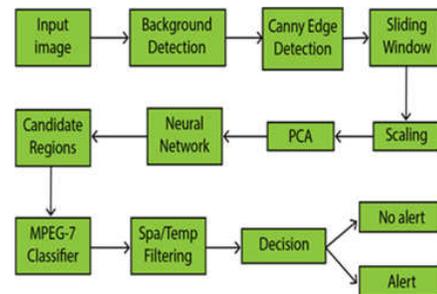
El enfoque planteado para la detección de armas de fuego es diferente al empleado para la detección de cuchillos, debido a la dificultad de crear un algoritmo que llene todos los requerimientos, los autores de la investigación se enfocaron en la detección de pistolas de entre todos los elementos del conjunto de armas de fuego [4].



**Figura 1.** Algoritmo de detección de cuchillos.  
**Fuente:** Automated Detection of Firearms and Knives in a CCTV Image. [4]

El segundo grupo de algoritmos plantea la extracción de características con el algoritmo de histogramas de gradientes orientados (HOG). Este algoritmo fue escogido por el autor ya

que se demostró que es el algoritmo que mejor describe los bordes de la hoja de un cuchillo [5]. La clasificación es realizada con una red neuronal artificial formada con una capa de entrada, dos capas intermedias (con 50 y 30 neuronas artificial respectivamente) y una capa de salida con tres neuronas artificiales [5].



**Figura 2.** Algoritmo de detección de armas de fuego.  
**Fuente:** Automated Detection of Firearms and Knives in a CCTV Image. [4]

En *machine learning*, especialmente en aprendizaje supervisado con redes neuronales, es frecuente el empleo de optimizadores matemáticos para aproximar el comportamiento del algoritmo a el conjunto de soluciones objetivo. Entre algunos de los optimizadores más conocidos en el campo, está el descenso de gradiente estocástico (SGD en adelante), el cual minimiza los parámetros de una función [6] (aprendizaje) mediante el uso del tradicional algoritmo de descenso del gradiente (DG en adelante) aplicado en lotes (subconjunto del conjunto de datos de entrenamiento) cuyas instancias son seleccionadas de forma completamente aleatoria. El algoritmo SGD representa una ventaja sobre el algoritmo GD, justificado en una rápida convergencia de la función objetivo, y la minimización significativa del espacio ocupado por el algoritmo con respecto a su predecesor (descenso del gradiente).

El algoritmo de estimación de momento adaptativo (ADAM en adelante) es un optimizador matemático derivado del descenso de gradiente estocástico que introduce estimaciones adaptativas de momento [7], es decir, el cálculo de diferentes tasas de aprendizajes para cada conjunto de parámetros entrenables [6]. Los autores, demostraron de forma experimental la efectividad del algoritmo ADAM, obteniendo tasas de convergencia mas rápidas que SGD [7].

Dentro del mundo de la detección de objetos en visión computacional existen muchos enfoques para la detección de objetos de interés, algunos otros enfoques emplean el uso de *machine learning* para procesos de clasificación y en algunos otros enfoques se emplea el uso de *machine learning* para

clasificación y ubicación del objeto de interés. La arquitectura *single shot multibox detection* (SSD en adelante) es una arquitectura que se enfoca en la ubicación y clasificación de objetos de interés [8]. La arquitectura SSD emplea el uso de una red base para la extracción de características y la aplicación de convoluciones (*multibox*) para la detección de los objetos de interés (ubicación y predicción de categoría). En una última etapa, se aplica un proceso para seleccionar las predicciones más destacadas (según un parámetro configurable) y suprime la detección sobrepuesta o repetidas (mediante operaciones de conjuntos), esta etapa se lleva a cabo en la capa “*non-maximum suppression*” [8].

## 1.2 Objetivos, relevancia y contribución

La meta fue construir un algoritmo que sea capaz de reconocer armas de fuego y armas blancas al mismo tiempo. Para ello, primero, hubo que recolectar los datos para construir el conjunto de datos que sirvieron para entrenar y evaluar el algoritmo; segundo, la construcción del algoritmo (definir y construir la arquitectura de red neuronal) para luego, tercero, entrenar y evaluar la arquitectura de red neuronal con el conjunto de datos recolectado.

Una vez estos objetivos fueron realizados, se pudo disponer de un algoritmo para poder detectar armas de fuego o armas blancas en múltiples sitios video vigilados por un equipo de seguridad de forma automática e inteligente. Un algoritmo como el planteado en esta contribución podría significar la disminución del personal de video vigilancia revisando constantemente señales de video donde no se está desarrollando un hecho delictivo con armas, y emplear el tiempo y/o recursos humanos en otras actividades no automatizadas.

Se han desarrollado otras investigaciones relacionadas a la detección de armas de fuego o armas blancas, pero el dominio de este trabajo se enfoca en un algoritmo que pueda detectar ambos grupos de objetos y no una detección parcial o por separado.

## 2. Método

### 2.1 Construcción del conjunto de datos

Todo algoritmo de *machine learning* necesita de datos para poder ser entrenado, los algoritmos que se pretenden desarrollar en las siguientes secciones no son la excepción, por lo tanto, la necesidad de un conjunto de datos que describan acertadamente las características que representan cada una de las categorías a detectar es de suma importancia.

#### 2.1.1 Definición de objetos a detectar

La idea de un sistema de detección de objetos es cumplir con una serie de propiedades, entre ellas reconocer muchos tipos

de objetos y categorizarlos [6, p. 540]. Pero ¿cuáles son esos objetos a detectar? La red neuronal se entrenó para detectar un conjunto específico de armas (fuego y blanca).

Un arma de fuego la podemos definir como un dispositivo con la capacidad de provocar la ignición de algún combustible que impulse un (unos) proyectil (es) no explosivo (s), y para efectos de esta investigación lo delimitamos a armas de fuego capaces de ser acarreadas por seres humanos sin ayuda extra; las armas de fuego se pueden clasificar a su vez en dos categorías, cortas y largas, y se refiere a la longitud del cañón y de los accesorios que por su tamaño (del arma) forman parte del arma en sí.

Por otro lado, un arma blanca es una herramienta capaz de producir cortes o punzar, mediante bordes o puntas afilados (as), para efectos de esta investigación se delimitó a armas blancas capaces de ser acarreadas por seres humanos sin ayuda extra.

Se desarrolló un algoritmo que detecta esas tres categorías, entonces las categorías a detectar son:

- Arma de fuego corta.
- Arma de fuego larga.
- Arma blanca.

Con el objetivo de explicar claramente cada una de las categorías a detectar se listan algunos ejemplos de armas para cada categoría. Entre las armas de fuego (cortas) se pueden destacar ejemplos:

- Pistolas.
- Sub fusiles.
- Pistolas con silenciadores.

Entre las armas de fuego (largas) se pueden destacar como ejemplos:

- Ametralladoras.
- Rifles.
- Escopetas.
- Rifles de asalto.
- Rifles francotirador.

Entre las armas blancas podemos destacar ejemplos:

- Cuchillos.
- Navajas.
- Espadas.
- Machetes.
- Katanas (espada japonesa).
- Puñal.
- Sables.

#### 2.1.2 Etiquetado de objetos en imágenes

Luego de recolectadas las imágenes con base en los objetos a detectar definidos previamente, se procedió a hacer el etiquetado de objetos sobre cada una de las imágenes.

El etiquetado de objetos en imágenes (*image labeling* en inglés) es el proceso de identificar los objetos presentes en las imágenes matemáticamente.

Cada uno de los objetos debe ser identificado con un recuadro independiente, cada recuadro representa una tupla de 4 números, posición (x, y), altura y ancho. Existen ciertos *softwares* que no hacen uso de altura y ancho, en su defecto se usa un segundo par de coordenadas (x2, y2), este enfoque junto con el enfoque anterior se puede usar indistintamente siempre y cuando todo el conjunto de datos este bajo un solo formato.

El *software* utilizado para el etiquetado de imágenes es un *software* de código abierto llamado “LabelImg”.

### 2.1.3 Aumento de datos

El aumento de datos se refiere a la optimización interactiva a través de la introducción de muestras de datos no observados [7]. La idea es diversificar el conjunto de datos para generalizar mejor el conocimiento del modelo al momento de ser aplicado el optimizador matemático. El aumento de datos se decidió a implementarse de forma dinámica en código fuente en la fase de entrenamiento de entrenamiento, es decir, no se aumentaron los datos replicando una y otra vez el mismo archivo con diferentes transformaciones, más bien, tales transformaciones se aplicaron en tiempo de ejecución.

En el experimento se hizo un aumento de datos bajo ciertos criterios:

- Enfoque gradual sobre los recuadros únicamente (objetos de interés).
- Reflejo de la imagen en forma horizontal.

Para el entrenamiento se han aplicado todos los criterios en conjunto de forma aleatoria sobre las instancias de datos, aumentando el conjunto de datos entre 9 y 16 veces el tamaño original.

## 2.2 Modelo

Una vez se construyó el conjunto de datos de acuerdo con las necesidades de cada uno de los experimentos; con el conjunto de datos definido se necesitó el algoritmo de *machine learning* capaz de clasificar las características de cada una de las categorías a detectar y generar las ubicaciones (x, y, w, h) de las que se han hablado anteriormente.

### 2.2.1 Arquitectura SSD para detección de objetos

Se escogió la arquitectura *single shot multibox detector* SSD como algoritmo para la detección de objetos en imágenes, la red base de este detector es *Inception v3* como extractor de características.

En la figura 3 se describe la arquitectura SSD [8] con red base *Inception v3* [9]. Esta nueva arquitectura está basada en

módulos *Inception* (bloques de convoluciones nombradas “Incp”) que son convoluciones paralelas aplicadas al mismo mapa de características (*feature map* en inglés) [9].

En términos simples, se tomó la arquitectura original SSD y se le ha reemplazado el extractor de características VGG por todas las capas de convoluciones hasta el séptimo grupo de módulos *inception* en la arquitectura *inception v3*, adicionalmente se retiró la convolución multibox descrita en la arquitectura SSD original que toma como mapa de características los productos del grupo de convoluciones número cinco del mapa de características VGG.

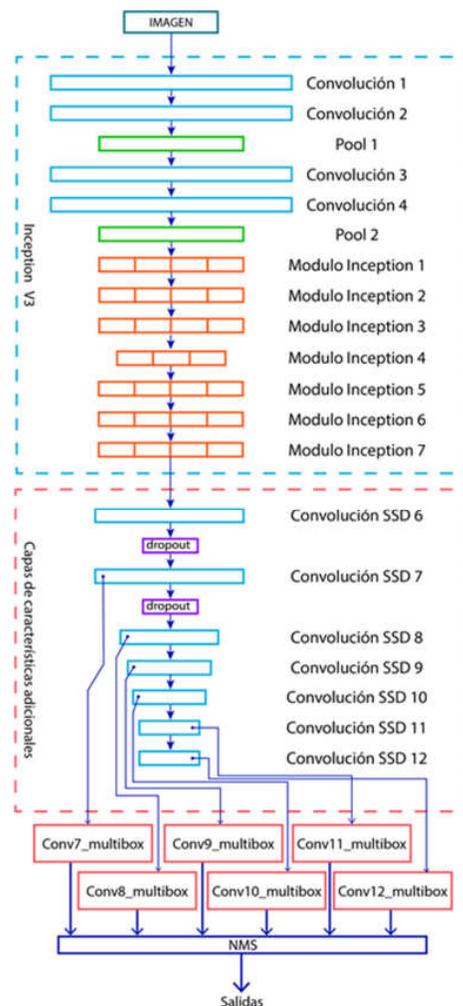


Figura 3. La arquitectura SSD con red base *Inception v3*.

## 2.3 Entrenamiento

### 2.3.1 Función de costo

Para poder medir el error del algoritmo (y para poder realizar el proceso de optimización la cual es la que produce el aprendizaje automático) se necesita computar la función de costo, y es que el producto de la función de costo es la tasa de error cuyo valor se encuentra en el rango un número real entre cero y uno [10, p. 101]. Existen muchas funciones de costo de uso general, pero, la arquitectura SSD nos brinda una función de costo específica para el cálculo del rendimiento de cada una de las capas *multibox* [8].

Para la computación de la función de costo específica de la arquitectura SSD, se calculan básicamente dos grandes funciones de costo, la primera función de costo es de confianza y la segunda función de costo es de localización [8] como se muestra en (1).

$$L(x, c, l, g) = 1/N \left[ L_{conf}(x, c) + \alpha L_{loc}(x, l, g) \right] \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de recuadros por defecto,  $g$  son los recuadros de prueba (teóricos),  $l$  son los recuadros generados,  $x$  categorías generadas,  $c$  categorías teóricas,  $\alpha$  es una constante de valor 1,  $L_{loc}$  es la función de costo de la ubicación de recuadros,  $L_{conf}$  es la función softmax entre categorías generadas y las teóricas.

### 2.3.2 Optimizador

El proceso de optimización consiste en encontrar la mejor hipótesis que se ajuste a la experiencia (conjunto de datos) [11, p. 722]. Con la arquitectura implementada, se debe definir cuál de los optimizadores matemáticos deberán ser configurados para el entrenamiento de la red neuronal convolucional.

ADAM utiliza el concepto de “*momentum*” para hacer converger más rápido la red neuronal convolucional, el cual simplemente significa que se agrega una fracción de la actualización anterior a la actualización actual, de modo que las actualizaciones repetidas en un compuesto de dirección particular acumulamos impulso, moviéndonos más y más rápido en esa dirección [12]. ADAM utiliza la filosofía de seleccionar adaptativamente una tasa de aprendizaje por separado para cada parámetro. Los parámetros que normalmente recibirían actualizaciones más pequeñas o menos frecuentes recibirán actualizaciones más grandes con ADAM, esto acelera el aprendizaje en los casos en que las tasas de aprendizaje adecuadas varían según los parámetros [12].

### 2.3.3 Hiperparámetros

El comportamiento del algoritmo de aprendizaje es controlado mediante el empleo de hiperparámetros [10], los hiperparámetros comúnmente son utilizados en algoritmos de *machine learning* para modificar la forma en que el algoritmo opera o es entrenado.

En el proceso de experimentación se plantea utilizar como optimizador ADAM con una tasa de aprendizaje entre (0.1, 0.01, 0.001), un coeficiente de regulación L2 de 0.0005; una mínima tasa de aprendizaje de 0.0000001; y un coeficiente de *dropout* del 85%.

Específicamente del algoritmo ADAM se emplea una  $\beta_1$  de 0.9 y una  $\beta_2$  de 0.999, todo esto junto a un valor de *momentum* 0.9.

Se configuró el tamaño del lote a entrenar (muestra del conjunto de datos) entre 10 y 35 muestras aleatorias por ciclo; y específicamente del algoritmo SSD se configura un conjunto de cajas de detección por defecto con los siguientes valores [(21.0, 45.0), (45.0, 99.0), (99.0, 153.0), (153.0, 207.0), (207.0, 261.0), (261., 315.0)].

## 3. Resultados

La arquitectura SSD con *Inception V3* configurado con los hiperparámetros especificados se ha entrenado se puede apreciar a simple vista que la arquitectura llega a converger, esto con base en la forma exponencial invertida con asíntota en  $y = 0$  que tiene la gráfica de la función de costo mostrada en la figura 4.

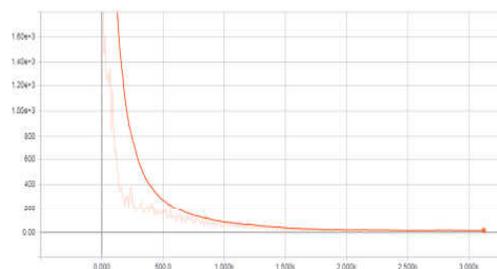


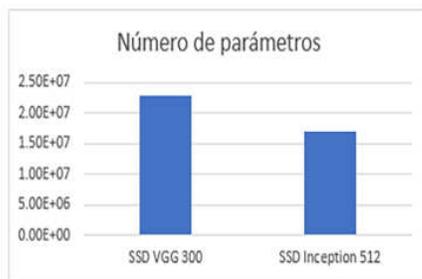
Figura 4. Gráfica de función de costo total del experimento.

Los hallazgos principales demuestran que sí es posible detectar armas de fuego y armas bancas en videos extraídos de video vigilancia, en el dominio de este trabajo, se demuestra que las redes neuronales convolucionales demuestran su utilidad para el procesamiento de imágenes y sus aplicaciones en detección de armas de fuego y arma blanca en un mismo algoritmo.

Como segundo hallazgo, se puede destacar una ventaja de la arquitectura SSD con *Inception V3* comparada con la

arquitectura SSD con VGG en la cantidad de parámetros necesarios para su entrenamiento.

En la figura 5, se puede apreciar una disminución considerable en el número de parámetros de SSD *Inception V3* con respecto a SSD VGG (propuesta inicialmente en la arquitectura SSD [8]), la disminución representa un 26% menos parámetros.



**Figura 5.** Gráfica de comparación del número de parámetros entre las arquitecturas SSD VGG y SSD *Inception V3*.

También, halló dificultad para la detección de objetos de interés pequeños o muy pequeños, esto dentro de la imagen ajustada a 512 píxeles (en una relación de aspecto cuadrado), todo objeto que ocupe un área de píxeles menor a 4,000 píxeles cuadrados ( $64^2$  píxeles cuadrados) es muy complejo de detectar para el modelo.

Otra limitación que se observó en los resultados radica en las categorías que se intentan detectar, dichas categorías son muy complejas en cuanto a características, y muy diversas en cuanto a los tipos subyacentes a cada categoría, por lo tanto, existen objetos que pueden ser detectados correctamente en sus localizaciones, pero incorrectamente clasificados.

#### 4. Conclusiones

Los enfoques previos a este trabajo plantearon la utilización de múltiples algoritmos para resolver tareas independientes, extracción de características, desplazamiento de ventanas, algoritmos de clasificación como SVM y en un caso el uso de una red neuronal.

Con los nuevos resultados se incorpora el enfoque de redes neuronales convolucionales para la detección de objetos, y se demuestra el uso de un único algoritmo para detectar armas de fuego y armas blancas.

Existen algunas limitaciones en el algoritmo y en el desarrollo de este trabajo como la detección de objetos pequeños, que es un aspecto que se debe mejorar en futuros trabajos. Otra limitante de esta investigación se presenta en el

conjunto de datos, debido a su reducido tamaño. Este aspecto debe ser mejorado para futuros trabajos con el objetivo de provocar una generalización del aprendizaje, disminuir el error, mitigar el sobreajuste, evitar la memorización del conjunto de datos; para esto se puede solicitar apoyo de las autoridades locales quienes tienen acceso a datos del dominio de esta temática.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Víctor López por su insistencia y revisión de este trabajo.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

#### REFERENCIAS

- [1] T. Phillips, «'Breathtaking homicidal violence': Latin America in grip of murder crisis,» 26 April 2018. [En línea]. Available: <https://www.theguardian.com/world/2018/apr/26/latin-america-murder-crisis-violence-homicide-report>
- [2] A. Erickson, "Latin America is the World's most violent region. A new report investigates why,," 25 April 2018. [Online]. Available: <https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/04/25/latin-america-is-the-worlds-most-violent-region-a-new-report-investigates-why/>
- [3] T. Ko, «A Survey on Behavior Analysis in Video Surveillance for Homeland Security Applications,» IEEE xplore, 2008.
- [4] M. Grega, A. Matiolański, P. Guzik y M. Leszczuk, «Automated Detection of Firearms and Knives in a CCTV Image,» MDPI Open Access Journals, 2016.
- [5] R. Vajhala, R. Maddineni y P. R. Yeruva, «Weapon Detection In Surveillance Camera Images,» 2016.
- [6] D. Forsyth y J. Ponce, Computer Vision A Modern Approach 2nd Edition, Pearson.
- [7] D. A. Van Dyk y X.-L. Meng, «The Art of Data Augmentation,» Journal of computation and grafical statistics.
- [8] W. Liu, A. Dumitru, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu y A. C. Berg, «SSD: Single Shot Multibox Detector,» Lecture Notes in Computer Science, 2016.
- [9] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke y A. Rabinovich, «Going Deeper with convolutions,» IEEE Xplore, 2015.
- [10] I. Goodfellow, Y. Bengio y A. Courville, Deep Learning, Cambridge, Massachusetts, London England: The MIT Press, 2016.
- [11] S. J. Russell y P. Norvig, Artificial Intelligence A Modern Approach 3rd Edition, Pearson, 2010.
- [12] D. P. Kingma y J. Lei Ba, «ADAM: A Method For Stochastic Optimization,» ICLR, 2015.

# Elaboración de un instrumento para el registro de pérdidas y daños por desastres en Panamá

## Preparation of an instrument for the registration of losses and damages due to disasters in Panama

Jenifer Montenegro<sup>1\*</sup>, José Hernández<sup>1</sup>, Casilda Saavedra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Campus Dr. Víctor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Campus Dr. Víctor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá

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

**Resumen.** Los desastres ocasionan múltiples daños y pérdidas de vidas humanas y económicas, modificando la vida de la población y la actividad económica del área afectada. En Panamá, la población está expuesta a desastres debido a la posición geográfica del país y a mecanismos de planificación de desarrollo escasos e insuficientes. En el período de 1983-2008, se experimentó un total de 32 desastres, provocando pérdidas económicas aproximadamente de 86 millones de dólares y 249 defunciones. El proceso de registro de pérdidas y daños por desastres en Panamá se realiza bajo la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), utilizando la plataforma DesInventar. El actual proceso de registro de pérdidas y daños por desastres presenta deficiencias, tanto en el proceso de coordinación interinstitucional para la recolección de información una vez que ocurre un desastre, como en los formatos utilizados para la recolección de dicha información. Esta investigación se realizó con el fin de fortalecer el proceso de registro de pérdidas y daños por desastres en Panamá, incluyendo el registro en la plataforma DesInventar. La metodología empleada se basó en revisión bibliográfica de experiencias exitosas en otros países, además de entrevistas con personal del Centro de Operaciones de Emergencia (COE) y (SINAPROC), para poder realizar un análisis objetivo del proceso empleado en Panamá y confeccionar un instrumento para el proceso de registro de daños y pérdidas por desastres. Como resultado, se propone un nuevo formato para el formulario de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN).

**Palabras clave.** Daños, desastre, DesInventar, pérdidas, registro.

**Abstract.** With the growth of the population in Latin America, cities increase the use of video surveillance to monitor areas in order to detect incidents of violence and/or crime to take timely action. Currently the video surveillance process is developed by human personnel reviewing countless video signals at the same time, the current solution is error prone, not scalable and challenging. In this contribution, it is proposed to build a convolutional neural network CNN for the detection of firearms and cutting weapons in images for automating and optimizing the surveillance process. An artificial neural network architecture was specified and trained with a dataset (custom built) and tested to solve the problem. It was possible to build the dataset and the SSD architecture using Inception V3 as base network. The architecture achieved the satisfactory detection of the proposed characteristics after being trained with the dataset, and some elements that could be improved in future experiences are discussed.

**Keywords.** Deep Learning, CNN, Object detection, artificial neural network, SSD, smart surveillance, computer vision.

### 1. Introducción

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), considera los desastres como: “consecuencia de fenómenos naturales desencadenantes de procesos que provocan daños físicos y pérdidas de vidas humanas y de capital, al tiempo que modifican la vida de las personas en sus comunidades y la actividad económica de los territorios afectados” [1]. Por lo tanto, el desastre es una manifestación

del riesgo existente en una sociedad, el cual se construye mediante la generación y acumulación de las condiciones que lo hacen posible, las vulnerabilidades y amenazas presentes en un mismo entorno [2].

La constante ocurrencia de desastres en el mundo conlleva a que los países a nivel mundial establezcan mecanismos, políticas, lineamientos, entre otros; para poder hacerle frente a las emergencias causadas por los desastres.

La recopilación de esta información y su posterior registro en bases de datos, permiten conocer la situación que enfrenta cada país en este tema. Además, poseer registro de los desastres, permite establecer futuras acciones para reducir el riesgo de desastre, por medio de estrategias y políticas nacionales e inclusive, regionales y/o mundiales.

En Panamá existe una gran debilidad en el registro de pérdidas y daños por desastres. A pesar de que se cuenta con la base de datos DesInventar para el registro de las pérdidas y daños por desastres, esta base de datos no se mantiene actualizada, ni contiene toda la información relevante que permita reflejar la situación del país. Esto se debe a que el proceso que se debe llevar a cabo por las instituciones del Centro de Operaciones de Emergencia (COE) para la recolección de los datos de pérdidas y daños materiales y fatalidades cuando se produce un desastre, no está estructurado para la adecuada recolección de información en campo y los mecanismos interinstitucionales para la gestión de la información no operan de manera adecuada.

Esta investigación contribuye a subsanar estas debilidades, en dos vías. En primer lugar, se diseñaron los instrumentos de campo para la recolección de información de pérdidas y daños por desastres. En segundo lugar, se generó un procedimiento de captura de datos para la debida coordinación de las entidades que forman parte del COE, para que se registre la información relevante sobre las pérdidas y daños por desastres. Con la aplicación de estas mejoras, la información debe llegar de manera oportuna a SINAPROC para su debida captura en la base de datos internacional DesInventar.

El objetivo planteado en este artículo consiste en elaborar instrumentos para la recolección relevante de pérdidas y daños en caso de desastres en Panamá. Este planteamiento se realizó a partir de la evaluación del proceso actual de registro de daños y pérdidas por desastres en Panamá. Finalmente se elaboró un instrumento de captura de datos para que el Centro de Operaciones de Emergencia pueda realizar el registro de daños y pérdidas por desastres en Panamá, que incluye un nuevo formato para la página de Evaluación de Daños y Necesidades (EDAN).

### **1.1 Proceso de evaluación de daños y análisis de necesidades**

La fase de evaluación de daños y análisis de necesidades se define como el conjunto de métodos y estrategias estructurales, administradas y planificadas de manera que se puedan establecer parámetros sobre los efectos adversos a la ocurrencia de un desastre. La metodología requiere de aspectos relevantes para su buen funcionamiento, entre ellos:

- Personal capacitado
- Método consistente y uniforme
- Disposición inmediata de recursos [3].

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) ha contribuido a que los países de la región latinoamericana implementen una matriz de trabajo para los formularios EDAN [4]. Esta matriz de formularios EDAN que facilita la USAID/OFDA (2008), contempla cuatro áreas representativas para el proceso de evaluación inicial de daños, entre ellas están el sector salud, líneas vitales, infraestructura productiva y viviendas e infraestructuras públicas y privadas.

### **1.2 Estrategias para la reducción de desastres**

En 1989, los estados miembros de las Naciones Unidas declararon la década de 1990 como la Década Internacional de la Reducción de Desastres Naturales, con el objetivo de “minimizar los daños humanos, los daños materiales y las perturbaciones económicas y sociales causadas por desastres, especialmente en los países en desarrollo” [5]. La misma da lugar a la implementación de la Estrategia y Plan de Acción de Yokohama con el propósito de lograr: “Un Mundo más Seguro” [6].

Por otra parte, en la década de 1990 se establece la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD) [7], con el objetivo de que las sociedades sean capaces de resistir los peligros naturales y los desastres asociados a estos [8].

Es importante resaltar que, en el año 2005, durante la Segunda Conferencia Mundial sobre Reducción de Desastres celebrada en Japón; 11 años después de la Estrategia de Yokohama, se adopta el Marco de Acción de Hyogo (MAH) 2005-2015, con el objetivo de mejorar las capacidades de resiliencia de las poblaciones ante los desastres.

En la III Conferencia Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres se adoptó el Marco de Acción de Sendai (MAS), el cual pretende lograr en un período de 15 años (2015-2030), la reducción del riesgo de desastres, la pérdida de vidas, medios de subsistencia y salud, además de evitar daños en patrimonios económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de la población [9].

### **1.3 Bases de datos para la recolección de pérdidas y daños por desastres**

Los registros sobre desastres son indispensables para encontrar las tendencias de los impactos de una catástrofe y poder estipular la relación que existe entre el desarrollo y riesgo del desastre. Estos son cada vez más útiles y cruciales para prevenir futuros riesgos, mediante herramientas analíticas que permitan establecer prioridades de acción internacional [10].

Los países han logrado avances significativos en los últimos años en cuanto al desarrollo de sistemas de recolección de información y registros sistemáticos de las pérdidas por desastres. Entre estos podemos mencionar la implementación de bases de datos como: la base de datos (DIBI) utilizada en

Indonesia, la base de datos Nacional de Mozambique creada por el instituto Nacional de Gestión de Desastres (INGC), la base de datos de pérdidas y sucesos de peligros espaciales para los Estados Unidos (SHELDUS por sus siglas en inglés, EM-DAT y DesInventar [11].

Sin embargo, la investigación está enfocada en la base de datos DesInventar, la cual será explicada en el siguiente apartado.

### 1.3.1 Base de datos DesInventar

En América Latina, hasta mediados de 1990, no se contaba con información sistemática en relación con la ocurrencia de desastres de pequeño y mediano impacto. Por ello, en 1994 se construye un marco conceptual y metodológico, denominado DesInventar. Creado por diversos grupos que integraban la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED) [12], con el apoyo técnico-financiero de entidades como la Corporación OSSO, UNISDR y diversas ONG [13].

La información recopilada en caso de un desastre en esta base de datos resulta de vital importancia para dar respuesta y ayuda humanitaria, inclusive puede servir como guía a los gobiernos de la necesidad de solicitar apoyo internacional o la declaración de un estado de emergencia [14].

Es importante destacar que la base de datos DesInventar sufrió actualizaciones posteriores a la implementación del Marco de Acción Sendai, pasando a llamarse DesInventar Sendai. Entre los cambios está registrar los avances en tema de reducción de riesgo de desastres (RRD) de cada país, la cual debe ser validada por una institución oficial, acorde a las normativas nacionales de cada país [4].

## 1.4 Evaluación y registro de daños y pérdidas por desastres en México y Costa Rica

Considerando los grandes avances en materia de evaluación de daños y pérdidas por desastres en México y Costa Rica, se investigó el proceso empleado en estos países para poder realizar un análisis comparativo con el empleado en Panamá. Es importante resaltar que estos países son considerados referentes en temas relacionados con la atención de emergencias en América Latina. Estos procesos serán explicados a continuación.

### 1.4.1 Evaluación de daños en México

El mecanismo de evaluación de daños a causa de desastre en México se desarrolla en función a dos vertientes, plasmados por la Coordinación Nacional de Protección Civil [15]; la primera tiene como objetivo conocer las afectaciones sobre la población, sus bienes, infraestructuras y entorno, considerando las prioridades presentes durante las primeras ocho horas después de ocurrido el desastre. Estas evaluaciones se realizan

de acuerdo con el formato de evaluación de daños y necesidades preliminar y complementaria. La segunda vertiente consiste en la instalación del comité de evaluación de daños a partir de las reglas de operación de desastres, participando entidades federales y estatales de protección civil.

México utiliza la plataforma DesInventar como inventario sistemático de desastres y pérdidas, principalmente para investigaciones académicas.

El Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), institución encargada de la Gestión del Riesgo en México, a partir del año 2000, realiza evaluaciones anuales de los principales desastres ocurridos. Estas evaluaciones son publicadas, ya sea por año o períodos de tiempo determinados [16].

### 1.4.2 Evaluación de daños en Costa Rica

La evaluación de daños y necesidades en Costa Rica se realiza de manera general llevando a cabo registros cualitativos y cuantitativos respecto al área afectada. Antes que todo se requiere de un equipo de EDAN óptimo, el cual es dependencia directa del comandante de incidente (CI) o de la unidad de análisis. Este equipo es el responsable de llevar a cabo la recolección de datos del desastre mediante un formulario establecido por la Cruz Roja Costarricense y el CNE.

Además, Costa Rica cuenta con registros en la plataforma DesInventar desde 1970 [17], la cual fue puesta a disposición por la Comisión Nacional de Emergencias, basados en la recolección de datos obtenidos de periódicos de circulación nacional [18].

## 1.5 Gestión, recopilación, registro y análisis de daños y pérdidas por desastres en Panamá

Panamá está expuesto a sufrir daños y pérdidas económicas y de vidas humanas debido a la ocurrencia de desastres a causa de las vulnerabilidades económicas y sociales que son detonantes para las posibles amenazas existentes. Es por ello que a continuación se muestran los aspectos que involucran la incidencia de desastres en el país y su debida gestión.

### 1.5.1 Desastres en la República de Panamá

El Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres [19] indica que Panamá se encuentra en la posición 14 de los países con mayor exposición a múltiples amenazas, de acuerdo con un estudio realizado por el Hotspot del Banco Mundial.

Panamá tiene un 15% de su área total expuesta y un 12.5 % del total de su población es vulnerable a dos o más amenazas. El mismo estudio indica que el país se encuentra entre los 35 países con mayor porcentaje de población en riesgo por múltiples amenazas.

Con respecto a las ocurrencias de desastres en Panamá, el Ministerio de Economía y Finanzas ha invertido 231,999,725 dólares en la atención de emergencias en el período 2000-2010; reportando solo para el año 2010 un total de 64,527 personas afectadas y 150 millones de dólares en daños viales relacionados con fenómenos climáticos [20]. Basándonos en esto, podemos interpretar que los principales fenómenos que afectan a Panamá son: lluvias duraderas, inundaciones, sequías, incendios forestales, terremotos, deslizamientos de tierra y ciclones tropicales (ver figura 1). Panamá experimentó 32 desastres derivados de estos tipos de fenómenos, entre 1983 y 2008, generando daños económicos de 86 millones de dólares y un total de 249 personas muertas [21].

### 1.5.2 Organización en la administración de la gestión del riesgo de desastres

La organización y mecanismos empleados ante la ocurrencia de un desastre dependen de diferentes factores como, por ejemplo, recursos empleados, instituciones participantes, reglamentos o normas nacionales y factores sociales de comportamiento ciudadano.

Es por eso que con el fin de unificar estrategias de acción el gobierno de Panamá crea el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) y a su vez el Centro de Operación de Emergencia (COE), los cuales ejercen diferentes funciones operativas en una emergencia como veremos a continuación.

- Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).  
El 11 de febrero de 2005 se adopta la Ley No. 7 que reorganiza el Sistema Nacional de Protección Civil, con un enfoque de preparación y respuesta ante desastres correspondiéndole por ley planificar, investigar, supervisar y organizar políticas y acciones encaminadas a prevenir los riesgos materiales y psicosociales, considerando la peligrosidad que pueden ocasionar los desastres [22].
- Centro de Operaciones de Emergencia (COE).  
El Centro de Operaciones de Emergencia (COE) se forma como una estructura permanente del SINAPROC, capaz de incentivar, planificar y mantener la operación y administración conjunta de los diferentes niveles operativos.  
El COE tiene sedes en distintos puntos de Panamá, las cuales son: Panamá, Aguadulce, Chiriquí y Colón. Estas son las denominadas COE provinciales y son activadas si tienen situaciones dentro de su área, siendo la de la provincia de

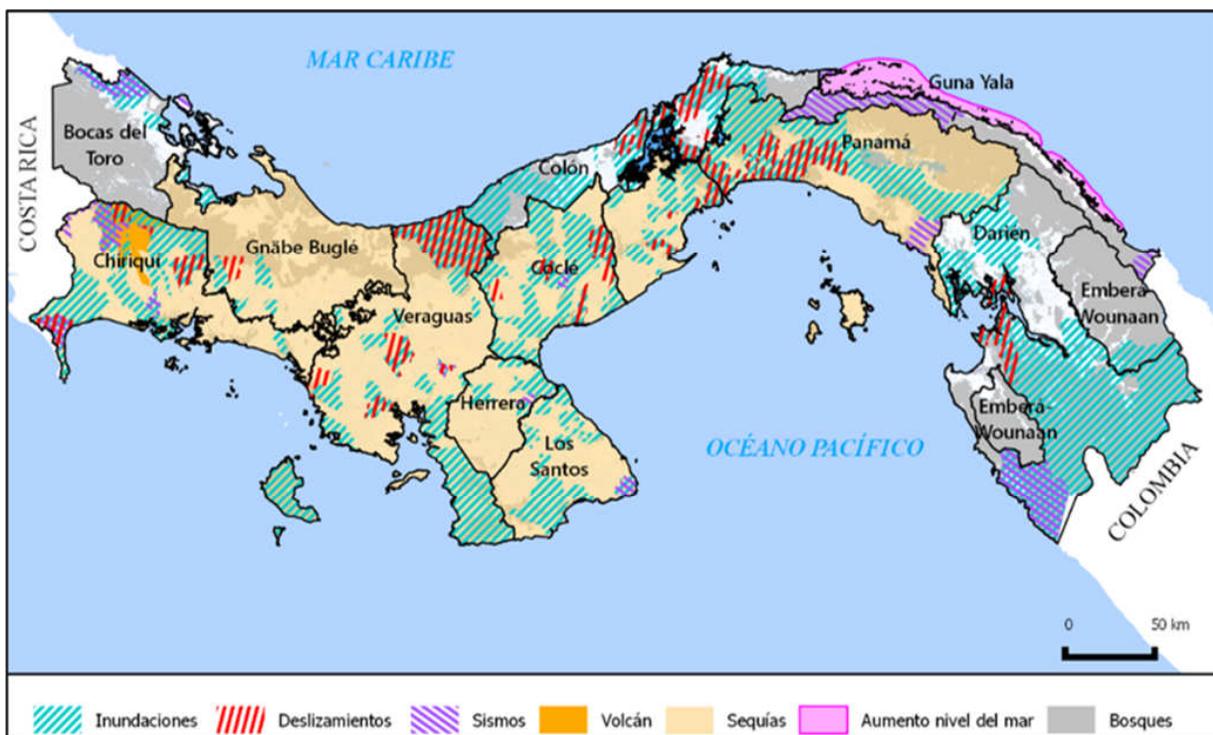


Figura 1. Tipos de Desastres que ocurren en Panamá.  
Fuente: (C. Gordón, 2014).

Panamá, la sede principal. En caso de que se presente una situación o emergencia que afecte a dos o más provincias, se activa el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), cuya sede sigue siendo la de Panamá, manteniéndose activado los COE provinciales pertinentes, los cuales verterán la información de manera directa y permanentemente al COEN. En circunstancias en que la situación o emergencia sobrepase las capacidades del COEN y sea necesario declarar “estado de emergencia”, se activará el Centro de Operaciones Nacional (CON), el cual es de carácter gerencial e involucra que las órdenes procedan del presidente de la República y/o ministros del país. La información que llega a los altos mandos del CON proceden del COEN y de los COE provinciales [23]

## 1.6 Evaluación y registro de daños y pérdidas por desastres

### 1.6.1 Evaluación de daños y análisis de necesidades

En Panamá, como se contempla en el Manual de organización y funcionamiento del centro de operaciones de emergencia nacional, se utilizaban páginas EDAN de manera preliminar, para contemplar diferentes tipos de afectaciones, como por ejemplo, afectaciones en agricultura y ganadería, que no son competencias del SINAPROC. El actual subdirector del COE R. Lezcano [23], nos informó que esas hojas EDAN se les facilitaba a las otras instituciones correspondientes para completar la información requerida, pero en la mayoría de los casos, para esas instituciones esa información era incompleta y no certificada, debido a que el personal del SINAPROC no era el idóneo para esas evaluaciones específicas.

Evaluando esa problemática, y el hecho de examinar el proceso de recolección de siete páginas de EDAN preliminar, tedioso, se llegó al consenso después de diversas reuniones con las instituciones que conforman el COE de que cada institución debía realizar las evaluaciones según su responsabilidad [23]. Por ello, entre los años 2008-2009, se pasó a cambiar a un enfoque de listado de encuesta familiar (LEF), utilizado actualmente. Otra manera empleada para realizar esta metodología es la utilización de la App de “SINAPROC Alerta” (la del funcionario), que cuenta con el formulario de EDAN por parte de los enlaces institucionales y así optimizar el tiempo empleado para compartir la información de las evaluaciones realizadas de cualquier evento a nivel nacional, la cual está georreferenciada [24]. Actualmente, las evaluaciones EDAN no se están registrando debido a que se está trabajando en una actualización que permita realizar las evaluaciones sin tener acceso a internet, considerando que en ocasiones las zonas afectadas no cuentan con este servicio. Lo que se busca es que la información se mantenga registrada dentro de la app e inmediatamente el operador se encuentre con acceso a internet, la información se mande al COE y pueda ser

registrada automáticamente. Adicionalmente, se está buscando que dentro de la app se pueda extraer un informe de carácter gerencial ya previamente establecido, considerando las EDAN previamente realizadas y otros informes y/o evaluaciones empleadas durante la emergencia [23].

### 1.6.2 Registro de daños y pérdidas por desastres

La principal fuente de información sobre desastres en Panamá es la base de datos DesInventar, la cual es administrada por el SINAPROC. Las fuentes principales de datos son: informes oficiales del SINAPROC y las fuentes hemerográficas, correspondiendo principalmente a datos del período de 1990-2013. En estas fuentes, la valoración de impactos y pérdidas es poco robusta.

La información proveniente de DesInventar es de acceso público vía web. El SINAPROC mantiene un funcionario con la responsabilidad del mantenimiento de la misma [25]

DesInventar cuenta con datos desde 1933 hasta la actualidad; contabilizando un total de 7,572 registros para el período de 1933-2020, siendo la tasa de mortalidad más elevada para ahogamientos con 1,364 decesos, con 1,265 registros y las inundaciones son las que tienen las tasas más altas de afectaciones, con 92,183 casas y 1,903 registros [26].

Considerando las estadísticas plasmadas por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, para el período de 2005-2013 se estableció la siguiente media:

- Registros: 168.75
- Fallecidos: 15
- Casas destruidas: 423
- Casas dañadas: 6,049.13
- Heridos: 49.13
- Personas desplazadas 717.13 Pérdidas económicas en dólares: 89,573,682.34

En Panamá no se cuenta con grupos de trabajo destinados a sistematizar la información y analizar su calidad. Tampoco se cuenta con mecanismos de comunicación y coordinación que permitan un diálogo en conjunto de los tomadores de decisiones, para un adecuado intercambio de comunicación sobre riesgos y desastres y/o acciones destinadas a la optimización de recursos [25].

## 2. Metodología

Dado que el objeto de estudio fue analizar y proponer una metodología efectiva para mejorar el proceso de registro de daños y pérdidas por desastres, la investigación se elaboró bajo el planteamiento del enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), siendo un diseño no experimental.

Primeramente, se procedió a redactar el marco teórico del proceso de evaluación y registro de daños y pérdidas por desastres, seguido se mencionan las principales estrategias y marco de acción, en las políticas nacionales de los países.

Como segundo punto se recopiló información sobre las bases de datos empleadas para la recolección de pérdidas y daños por desastres, proporcionando un mejor entendimiento, en cuanto a la necesidad y la importancia de mantener datos actualizados de los efectos adversos producidos por la ocurrencia de desastres y la situación general que afronta cada país.

Posteriormente, se investigó la situación, de manera general, de los países de México y Costa Rica, en relación al proceso de evaluación y registro de daños y pérdidas por desastres para su debido análisis y comparación con la de Panamá.

Finalizando la revisión bibliográfica, se presentó la metodología empleada en Panamá, en esta sección se evaluaron los procesos actuales, no solo utilizando fuentes secundarias (manuales de procedimientos, normativas, entre otros) sino también fuentes primarias, entrevistas con personal encargado del COE Y SINAPROC para así poder obtener un análisis completo de los procesos (revisión de formularios y análisis de debilidades) de evaluación de daños y pérdidas por desastres en Panamá.

Posteriormente se realizó la confección de un procedimiento de captura de datos para el registro de daños y pérdidas por desastres, incluyendo un nuevo formato para el formulario de Evaluación de Daños y Necesidades, basándonos en experiencias de la región latinoamericana.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Análisis del proceso de registro de pérdidas y daños por desastres en México, y Costa Rica en comparación con Panamá

En base a las revisiones bibliográficas realizadas en las secciones anteriores se desarrolló un análisis del proceso de registro de daños y pérdidas por desastres empleado en Panamá, comparando el proceso actual con la metodología empleada en los países previamente seleccionados: México y Costa Rica.

Los tres países estudiados emplean un mecanismo de EDAN similar, utilizando hojas EDAN en campo para realizar las evaluaciones pertinentes. Además, cada país presenta un esquema de organización semejante a sus respectivas instituciones. Es decir, enfocando la recolección de información a un estamento o institución en específico. Los tres países emplean la base de datos DesInventar para el registro de las pérdidas y daños por desastres. Es importante resaltar que México cuenta con una base de datos para el registro de las declaratorias de emergencia y desastre

#### 3.2 Deficiencias en el proceso de evaluación y registro de pérdidas y daños en Panamá

Para conocer con mayor detalle el proceso de evaluación y registro de pérdidas y daños en Panamá se realizaron entrevistas y reuniones con personal del COE y SINAPROC. Las personas entrevistadas fueron: La jefa del Departamento de Prevención y Mitigación de Desastres, Ingeniera Yira Campos; el jefe del Departamento de Cooperación Técnica, Licenciado Juan Carlos Rivas; el instructor de la Academia del SINAPROC, Licenciado René García y el subdirector del COE, Licenciado Rawi Lezcano. De estas entrevistas se recopiló información relevante, que describimos a continuación.

El intercambio de información entre las instituciones que componen el COE es una de las debilidades del proceso de evaluación. En reuniones de la Plataforma Nacional, se han realizado presentaciones por parte de las instituciones que la componen, sobre sus avances en temas de GIRD. Han concluido que se ha dado avances, pero el problema es que no hay un adecuado intercambio de información entre las instituciones. En cuanto a la situación financiera de SINAPROC, el personal del SINAPROC nos comunicó que “no hay manera de sustentar cuanto nos está costando la gestión del riesgo” y en ocasiones, en la fase de recuperación, posterior a un año de la ocurrencia de un desastre, se siguen generando gastos y “no hay quien recolecte toda la información de los gastos”.

En ocasiones los voluntarios no llevan las páginas de EDAN establecidas para la evaluación en campo, sino que anotan lo que recuerdan en un cuaderno, lo que provoca que se pierda información relevante.

El equipo evaluador, generalmente, no cuenta con personal idóneo para llenar todos los campos requeridos en los formularios EDAN familiar como, por ejemplo, ingenieros, agrimensores, arquitectos, agricultores, etc.

Las evaluaciones hechas en campo por otra institución diferente al SINAPROC, la manejan ellos y no llega al COE, al menos que el SINAPROC la necesite. Por ejemplo, para realizar un informe, se solicita esa información por medio de los enlaces, es decir no existe un reglamento que exija u obligue a las instituciones a presentar un informe final al SINAPROC.

El mecanismo de recolección de información por parte de las entidades correspondientes no cuenta con un periodo o tiempo límite posterior a la finalización de la emergencia para transmitir la información que involucra las cifras finales de las afectaciones, pérdidas y daños por desastres.

### 3.3 Formulario evaluación de daños y análisis de necesidades (EDAN)

Considerando el papel fundamental que tienen los formularios EDAN para realizar las evaluaciones posteriores a un desastre, en la tabla 1 se comparó la hoja de EDAN utilizada en Panamá (LEF), en relación con los campos sugeridos por la USAID.

**Tabla 1.** Comparación entre la hoja de EDAN en Panamá (LEF) y los campos establecidos por la USAID

| Especificaciones por la USAID                              | LEF de Panamá (Cumple)                              |
|--|---|
| Información general  |   |
| 1. Fecha   | ✓   |
| 2. Ubicación Espacial                                      | ✓   |
| 3. Tipo de Evento  | ✓   |
| 4. Nombre/Institución que presenta la evaluación           | ✓   |
| 5. Personas que conforman el equipo evaluador              |   |
| Acceso a la zona afectada                                  |   |
| 1. Grado de afectación de las vías                         |   |
| 2. Vía de accesibilidad más rápida                         |   |
| 3. Medio de transporte posible                             |   |
| 4. Condiciones Climatológicas                              |   |
| Características del Evento                                 |   |
| 1. Fecha   | ✓   |
| 2. Tipo de Evento Generador                                |   |
| 3. Descripción del Evento                                  |   |
| 4. Efectos secundarios                                     |   |
| 5. Impacto del Evento                                      |   |
| Efectos Adversos   |   |
| 1. Salud (Población general)                               |   |
| 2. Recursos Humanos de Salud Afectados                     |   |
| 3. Afectación de Líneas Vitales                            |   |
| 4. Afectación a la vivienda, edificios públicos            | Considera solo una vivienda familiar                |
| 5. Afectación en Infraestructura Productiva                |   |
| Recursos Disponibles (Humanos, Materiales y Económicos)    |   |
| Análisis de Necesidades (Humanos, Materiales y Económicos) | Solo se deja un espacio para llenar las necesidades |

Fuente: Elaboración propia.

En base a lo mostrado en la tabla 1, se puede inferir que Panamá cuenta con déficit en la recolección y registro de información, esto debido al cambio de enfoque empleado en la hoja EDAN.

#### 3.3.1 Análisis de los formularios de evaluación de daños y análisis de necesidades en Panamá con respecto a la base de datos DesInventar

Considerando los aspectos antes descritos, sobre lo importante que es contar con una base de datos actualizada en tiempo real y eficaz, fue necesario considerar los aspectos que involucran la base de datos DesInventar, con respecto a los campos establecidos en las hojas de EDAN en Panamá (LEF) (ver tabla 2).

**Tabla 2.** Comparación entre la base de datos DesInventar y el registro EDAN en Panamá

| Campo en DesInventar       | Panamá                      |
|----------------------------|-----------------------------|
| Fecha inicio               | ✓                           |
| Hora                       | ✓                           |
| Nombre geografía           | ✓                           |
| Muertos                    |                             |
| Desaparecidos              |                             |
| Heridos, enfermos          |                             |
| Damnificados               |                             |
| Evacuados                  |                             |
| Reubicados                 |                             |
| Viviendas Destruídas       | ✓                           |
| Viviendas Afectadas        | ✓                           |
| Valor pérdidas \$          |                             |
| Valor pérdidas US\$        |                             |
| Centros hospitalarios      |                             |
| Centros de educación       |                             |
| Cultivos y bosques (Ha)    |                             |
| Ganado                     |                             |
| Vías afectadas (m)         |                             |
| Línea eléctrica destruida  |                             |
| Líneas de agua y carretera |                             |
| Características del evento |                             |
| Tipo de evento             | ✓                           |
| Afectados                  | Solo por vivienda y familia |
| Observaciones              |                             |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se puede observar la comparación de los campos requeridos en la base de datos DesInventar y la hoja de EDAN en Panamá, lo que muestra que la información recolectada en la EDAN familiar se considera insuficiente para servir de base para la alimentación de DesInventar, lo que implica que se debe adicionar otro tipo de formulario de EDAN que contemple los campos de DesInventar y datos más generales de la ocurrencia del desastre.

A partir del análisis mostrado, se puede inferir la necesidad de implementar cambios en la metodología utilizada en Panamá, específicamente en el proceso de evaluación y registro de daños y pérdidas por desastres.

### **3.4 Elaboración de un instrumento para el mejoramiento del proceso de registro de pérdidas y daños por desastres en Panamá**

El instrumento que se presenta a continuación se basó en la información recopilada del proceso actual realizado en Panamá y las observaciones transmitidas por personal del SINAPROC y COE. Además, se consideró los procesos empleados en México y Costa Rica, descritos anteriormente. Es importante destacar que también se proponen formularios EDAN que contribuyen a facilitar el intercambio de información entre las instituciones que integran al COE y la posterior alimentación de la base de datos DesInventar.

#### **3.4.1 El proceso de captura de datos**

Entre las consideraciones que se deben tener en cuenta previo a seguir los pasos en la captura de datos están:

- El equipo EDAN debe estar conformado por personal idóneo y capacitado según sea su institución y responsabilidad.
- El personal del SINAPROC encargado de alimentar DesInventar, deberá enfocarse únicamente en esa tarea.

Conociendo estas consideraciones, se propone un instrumento para el proceso de registro de daños y pérdidas por desastres, incluyendo desde que el equipo realiza la evaluación en la zona afectada hasta su registro en DesInventar. Se propone la implementación de una nueva base de datos en línea, que sea compartida por medio de la nube y que sea liderada por el COE. La misma debe estar a disposición de todas las instituciones que integran el COE, las cuales tendrán acceso únicamente a sus formularios pertinentes. A continuación, se describen los pasos del proceso de captura de datos.

1. Inicialmente el SINAPROC realizará una inspección de la zona afectada, empleando las hojas EDAN establecidas para la institución. Esta inspección tiene la finalidad de establecer el alcance de las afectaciones y determinar las instituciones que se deben involucrar en la evaluación de

daños y análisis de necesidades y luego de esto, utilizarán el formulario de EDAN familiar.

2. Posteriormente a que el SINAPROC notifique a las otras instituciones que deben involucrarse, las mismas deben realizar las evaluaciones pertinentes según sea su sector de responsabilidad, llenando los formularios propuestos
3. Se almacenará la información de las EDAN de cada institución pertinente por medio de la base de datos.
4. Para fines de acreditación, se establecerá una entrada en la base de datos para la Contraloría, en la cual registrará el costo real de las acciones realizadas después de la ocurrencia (rehabilitación y reconstrucción).
5. Posterior a que todas las instituciones terminen de llenar los campos de sus EDAN, automáticamente la base de datos confeccionará un informe estadístico, el cual podrán tener acceso visual todas las instituciones y principalmente, el personal que alimenta DesInventar. SINAPROC procederá al registro de la información en dicha plataforma.

### **3.5 Formularios de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) Propuesto**

Los formularios EDAN que se proponen en este artículo, se confeccionaron posterior a un análisis exhaustivo de los empleados en los países estudiados de la región, el utilizado actualmente en Panamá y la matriz de la USAID. Es importante resaltar que adicionalmente se consideraron ciertos campos pertinentes que servirán para llenar los datos solicitados en la plataforma DesInventar.

Se propone realizar las EDAN con un enfoque general, en base a 4 sectores previamente descritos en la sección 1.2 de este artículo. Esto adicional al del enfoque familiar que ya realiza el SINAPROC y del cual proponemos añadir algunos campos en base a lo estudiado.

Los Formularios EDAN propuestos, según el sector, contemplan los siguientes puntos:

1. La evaluación inicial:
  - Información general: fecha y hora de la emergencia y de la evaluación, localización de la zona afectada, institución y evaluador responsable de la evaluación y el No. de documento.
  - Características del evento: se considera el tipo de evento, sus características, ubicación geográfica de la zona afectada, el evento generador y observaciones.
  - Afectaciones: de acuerdo con el tipo de vías, líneas vitales, infraestructuras e infraestructuras productivas.
  - Población afectada por sector: detallando si se encuentran reubicados, afectados, damnificados, etc. Adicionalmente, se debe contemplar su edad, situaciones especiales y clasificar el recurso humano afectado mientras atiende la emergencia.

- Recursos disponibles: detallando la cantidad disponible del recurso humano y material.
  - Análisis de necesidades: se contempla la cantidad de recurso humano y material necesitado y la estimación de costo que tendría el mismo.
  - Ayuda del SINAPROC: se registra el tipo de ayuda, la cantidad y el costo estimado.
2. Recepción de Insumos: contempla la firma del jefe de familia que certifica que se entregó la ayuda, la firma del personal que la entrega y la fecha. EDAN Familiar
- Información General
  - Listado de familias afectadas: detallando el estado familiar (afectados, reubicados, evacuados o damnificados), los integrantes de cada familia y registrando su sexo, edad y estado de salud.
  - Viviendas: contempla el tipo de construcción de la vivienda, si es habitable o no, el tipo de solución (local o externa) en caso de ser necesario y la estimación de costos.
  - Economía de patio: detallando si la familia contaba con ganado o productos agrícolas, la cantidad, si se vieron afectados, posibles pérdidas y su costo estimado.
3. EDAN- Sector Salud.
- Información general.
  - Instituciones de Salud en la zona: detallando si se encuentran en funcionamiento, afectados, dañados, destruidos, el costo estimado y el tipo de solución que necesitan.
  - Recursos Humanos y Camas Disponibles: se detalla el personal de salud disponible y el costo estimado. Adicionalmente, si se encuentran heridos o fallecieron durante la atención de la emergencia. Además, se detalla, por institución, las camas totales y disponibles y su costo estimado.
  - Localización de Población Afectada: se especifica el centro hospitalario en que se encuentra la población herida y fallecida.
4. EDAN-Sector infraestructura productiva.
- Información general.
  - Infraestructura Productiva: se detalla por sector productivo, el tipo de afectación, la cantidad dañada, pérdida y afectada y su costo estimado.
5. EDAN- Sector Vivienda.
- Información general.
  - Edificaciones Públicas y privadas: se detalla el tipo de edificación, la cantidad total y la que se encuentra con daños, en funcionamiento, el tipo de solución necesaria y la estimación de costos.
  - Viviendas: se detalla por sector la cantidad de viviendas. Posteriormente el tipo de construcción de las mismas y su estado (afectadas, destruidas, habitables), el tipo de solución necesario y la estimación de costos.

#### 6. EDAN- Sector Líneas Vitales.

- Información general.
- Agua Potable: se detalla el tipo (presa, tanques, etc.), la cantidad de cada tipo, si se recibieron algún tipo de daños (en metros), su funcionamiento, el tipo de solución que ameritan y la estimación de costos.
- Agua Residual, Energía, Telecomunicaciones, Carreteras y Medios de Transporte: se detalla el tipo y la ubicación geográfica, la cantidad que presenta daños, si se encuentran en funcionamiento, el tipo de solución necesario y la estimación de costos.

Informe Estadístico: contempla todos los datos descritos anteriormente. Es importante resaltar, que en el mismo se deben incluir los costos totales, ya no se colocan los costos estimados.

Es importante resaltar que se sugiere que el periodo de evaluación en campo para el llenado de las hojas EDAN propuestas sea de un máximo de 72 horas posteriores a la ocurrencia del desastre. En caso de que las circunstancias no lo permitan, deberán llenarse en el menor periodo de tiempo posible. Además, estas evaluaciones permitirán que de manera automática se pueda confeccionar el Informe Estadístico Final de la ocurrencia del desastre, el cual servirá principalmente para que el personal encargado por parte del SINAPROC pueda registrar las pérdidas y daños por desastres en la base de datos DesInventar.

## 4. Conclusiones

En situaciones posteriores al desastre es necesario evaluar las pérdidas y daños por desastres, tanto económicas como humanas, esto sirve de base para establecer mecanismos de respuesta más eficientes y mantener registros actualizados.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, es necesario reconocer que, para mantener los registros de pérdidas y daños por desastres actualizados, se requiere de una base de datos sistematizada que recolecte todos los registros y estadísticas de la ocurrencia de desastres de manera oportuna.

Es por ello, que conocer el funcionamiento de la base de datos DesInventar es fundamental, ya que facilita el análisis del riesgo y la evolución constante de la ocurrencia de desastres. Además, esta información sirve de base para que los gobiernos puedan solicitar ayuda humanitaria y ejecutar acciones pertinentes ante una emergencia.

Es necesario que, mediante alguna normativa, se le brinde mayor autoridad a SINAPROC en materia de recolección de datos de daños y pérdidas por desastres, ya que, al ser SINAPROC el ente rector del COE, debe mantener los datos completos y actualizados que sean recopilados durante una emergencia para poder plasmarla en DesInventar. Por ello es

necesario que las instituciones que integran el COE tengan la responsabilidad de transmitir toda la información importante que recolecten en su debido momento sin que SINAPROC tenga que solicitarla.

Se debe unificar la metodología empleada para la recolección de datos de pérdidas y daños por desastres en las instituciones que realizan las evaluaciones pertinentes, facilitando el intercambio de información y la posterior alimentación de DesInventar.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestra asesora de tesis, la Doctora Casilda Saavedra, profesora Regular Titular de la Facultad de Ingeniería Civil quien con sus conocimientos y apoyo nos guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados proyectados.

En segundo lugar, queremos agradecer el financiamiento por parte de la Cooperación Suiza en América Central y la coordinación por el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central (CEPREDENAC) y el Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA), por brindarnos los recursos y herramientas necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. Esta investigación se realizó en el marco del subproyecto Resiliencia al Cambio Climático y los Desastres desde la Universidad: Caso de Panamá y Costa Rica, que es parte del proyecto regional Fortalecimiento de la Gobernanza de la Gestión del Riesgo de Desastres en Centroamérica.

Por último, queremos agradecer al Centro de Operaciones de Emergencia (COE) y el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), quienes apoyaron nuestro proyecto permitiéndonos obtener información por medio de entrevistas realizadas a personal encargado que labora dentro de estas instituciones.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] L. Neira, «Desastres naturales y responsabilidad civil. Identificación de los desafíos que presenta esta categoría de hechos dañinos,» *Revista de Derecho*, pp. 123-142, 2019.
- [2] M. Aranguren, «Creación, actualización y/o homogeneización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la subregión Andina. Cali,» 2006.
- [3] S. De León, «La Importancia de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades ante un Desastre,» 2020.
- [4] J. C. Rivas, Interviewee, [Entrevista]. 17 marzo 2021.
- [5] K. Morán, «Introducción a la estrategia internacional para la reducción de desastres.»
- [6] Estrategia Internacional para la reducción de riesgos de desastres (EIRD), «Estrategia y plan de acción de Yokohama para un mundo más seguro: Directrices para la prevención, preparación y mitigación de desastres naturales.,» Ginebra, Suiza, 1994.
- [7] J. Macías, «Crítica de la noción de resiliencia en el campo de estudios de desastres.,» *Revista Geográfica Venezolana*, pp. 309-325, 2015.
- [8] «Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de desastres (UNDRR),» junio 2001. [En línea]. Available: [https://eird.org/esp/acerca-eird/marco-accion-esp.htm#p1\\_2\\_1](https://eird.org/esp/acerca-eird/marco-accion-esp.htm#p1_2_1). [Último acceso: 4 octubre 2020].
- [9] J. Teja, «Tercera conferencia mundial sobre reducción de riesgos de desastres.,» *Revista de Información científica para la dirección en salud. INFODIR*, 2015.
- [10] M. Pelling, «Los datos sobre desastres sientan bases para producir el riesgo,» 2005.
- [11] O. Cardona, C. Velásquez, M. Salgado, B. Gabriel, M. Mora, L. Yamín, A. Barbat, M. Carreño y M. Marulanda, «Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction-Gar 2013 Probabilistic Modelling of Natural Risks at The Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve Desinventar Database of 23 Countries Implementation of Case Studies Phase IB,» Bolivia, Costa Rica, 2012.
- [12] DesInventar, «Acerca de DesInventar,» [En línea]. Available: <https://www.desinventar.org/>. [Último acceso: 13 Marzo 2021].
- [13] Y. Zúñiga, R. Granados y W. Coto, «Vista de Fuentes estadísticas para el estudio de la gestión del riesgo de desastres en Centroamérica.,» *Revista de Historia*, pp. 1-18, junio 2019.
- [14] Maskrey, «Análisis comparativo de la Base de Datos de Desastres,» 2002.
- [15] Coordinación Nacional de Protección Civil, «Manual de Organización y operación del Sistema Nacional de Protección Civil,» Ciudad de México, México, 2018.
- [16] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), «Indicadores de Riesgo de desastres y de gestión de riesgos: para América Latina y el Caribe; México,» 2015.
- [17] G. Barrantes y A. Quesada, «Cartografía de afectación por amenazas naturales en el Cantón de Póas, Costa Rica,» *Revista Geográfica de América Central*, p. pp.129, 2016.
- [18] H. Rodríguez, «El daño y la Evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica.,» 1999.
- [19] «Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres 2011-2015,» Panamá, Panamá, 2011.
- [20] Secretaría Ejecutiva de la Coordinación Nacional para la Reducción de Desastres (SECONRED), «Marco Nacional de Recuperación,» Panamá, Panamá, 2014.

- [21] Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), «Disaster Risk Management in Latin America and the Caribbean Region: GFDRR Country Notes.» Washintong D.C., 2005.
- [22] «Plataforma Nacional para la Reducción de Riesgos de Desastres,» Panamá.
- [23] R. Lezcano, Interviewee, [Entrevista]. 9 abril 2021.
- [24] Autoridad Nacional para Innovación Gubernamental, «SINAPROC,» [En línea]. Available: <http://solca.innovacion.gob.pa/index.php/sinaproc/>
- [25] Organización de las Naciones Unidas (ONU), «Panamá, Evaluación del estado de la reducción del Riesgo de Desastres en la República de,» Panamá, Panamá, 2015.
- [26] Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR), «DesInventar Sendai,» [En línea]. Available: <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=pan&continue=y>. [Último acceso: 13 3 2021].



## Escriba en este espacio, el título del artículo en español

(El título debe ser centrado, con solo la primera palabra iniciada en mayúscula, tipo de fuente *Times New Roman 18*, negrita, a espacio sencillo y no debe contener más de 15 palabras. Se debe dejar un espacio de 12 puntos entre el título en español e inglés)

## Escriba en este espacio, el título del artículo en inglés

The title must be centered, with the first word capitalized, font type Times New Roman 14, single-spaced and must not contain more than 15 words. (A space of 10 points must be left between the title in English and the names of the authors)

*Autor 1<sup>1</sup>, Autor 2<sup>1</sup>, Autor 3<sup>2</sup>, ..., Autor de correspondencia<sup>n\*</sup>* (Use *Times New Roman 10*, cursiva)

(Información de autores: *Nombre1 Inicial del segundo nombre Apellido-1 Apellido-2 ó Inicial del Apellido 2*. El autor puede anotar su nombre según la combinación que sea ya reconocida públicamente, pero siempre empezando por Nombre y después Apellido.

Los autores deben ser separados mediante comas. Ejemplo: *Orlando A. Aguilar Gallardo<sup>1</sup>, Orlando A. Aguilar G.<sup>1</sup>, Orlando Aguilar<sup>1</sup>, ...<sup>2</sup>, ...<sup>3\*</sup>*.

<sup>1...n\*</sup>Afiliación: En línea separada de los nombres, describa la unidad, grupo de investigación y entidad a la que está afiliado cada autor. Autores con igual afiliación, usan el mismo número de afiliación.

\***Autor de correspondencia:** ejemplo.nombre@ejemplo.com (*Times New Roman 9*)

**Resumen.** Este documento proporciona instrucciones a los autores sobre el formato de los artículos para su publicación en RIC. El autor debe seguir las instrucciones de este documento y usarlo como plantilla sobre la que puede escribir su propio texto. Use el documento como plantilla para escribir sobre ella, eliminando todo lo que no sea parte de su manuscrito. Cada sección de la plantilla está formateada con los detalles y especificaciones necesarios para cumplir con los requisitos de la revista. Todo trabajo debe presentar un resumen de 200 a 250 palabras. El título "**Resumen**" debe ir en negrita, *Times New Roman 12*. El cuerpo del resumen debe escribirse con fuente *Times New Roman 10*, y sigue inmediatamente después del encabezado del resumen en el mismo párrafo. Es de obligado cumplimiento que el resumen declare los objetivos, metodología, resultados y conclusiones de la investigación reportada, según se describe a continuación: *Objetivos*, declare en una o dos frases, los objetivos de la investigación. *Metodología*, debe resumir métodos, equipos e instrumentos, normas, materiales, participantes, lugar y fechas de referencia del estudio. *Resultados*, expresar en tres a cuatro frases los resultados puntuales de la investigación. *Conclusiones*, describir las conclusiones importantes en una a dos frases. En esta sección no debe usarse citas o referencias, acrónimos o abreviaturas, ni simbología matemática que requiera explicación.

**Palabras clave.** Incluya de tres a 8 palabras o frases clave, deben aparecer en orden alfabético, separadas por comas y solo la primera palabra en mayúscula. El título "**Palabras clave**" debe ir en negrita, *Times New Roman 12*, alineado a la izquierda. Luego escribir las palabras o frases clave con fuente Times New Roman 10, inmediatamente después "Palabras clave", en el mismo párrafo.

**Abstract.** This document provides instructions to authors on the format of articles for publication in RIC. The authors must follow the instructions in this document and use it as a template on which to write their own text. Use the document as a template to write about, deleting anything that is not part of your manuscript. Each section of this template is formatted with the necessary details and specifications to meet the journal's requirements. All work must present an abstract of between 200 and 250 words. The title "Abstract" must be in bold, Times New Roman 12. The body of the abstract must be written in Times New Roman 10 font, and it follows immediately after the abstract heading in the same paragraph. It is mandatory that the abstract declare the objectives, methodology, results and conclusions of the reported research, as described below: *Objectives*, state in one or two sentences, the objectives of the research. *Methodology*, should summarize methods, equipment and instruments, standards, materials, statistical analyses, participants, place and reference dates of the study. *Results*, express the specific results of the research in three to four sentences. *Conclusions*, describe the important conclusions in one to two sentences. In this section, do not use citations or references, acronyms or abbreviations, or mathematical symbols that require explanation.

**Keywords.** Include three to 8 key words or phrases, they must appear in the order in which they appear in Spanish, separated by commas and only the first word capitalized. The title "Keywords" should be in bold, Times New Roman 12. Then write the key words or phrases in Times New Roman 10 font, immediately after "Keywords", in the same paragraph.

---

## 1. Introducción

La palabra "**Introducción**" debe ir en negrita, *Times New Roman* 14. El cuerpo del texto se escribe con fuente *Times New Roman* 10. Este documento proporciona instrucciones a los autores sobre el formato de los artículos para su publicación en RIC. El autor puede utilizar este documento como instrucciones y como una plantilla en la que puede escribir su propio texto. Use esta plantilla para escribir sobre ella, cada sección de esta está formateada con los detalles para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial de la Revista RIC de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Elimine sobre la marcha, todo material que no sea parte del manuscrito. Observe que, en la sección de Introducción de esta plantilla, estamos presentando todas las instrucciones de formato del artículo. Las secciones siguientes 2, 3, 4 y las no enumeradas, son parte obligada del artículo y no deben variar de numeración ni de orden.

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.

En la sección Introducción, el autor 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 con el estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

Todos los componentes de un artículo estándar han sido especificados por tres razones: 1) fácil uso al preparar el documento, 2) cumplimiento de los requisitos electrónicos que facilitan la producción de artículos electrónicos, y 3) márgenes, columnas, espaciado interlineal y estilos de letras son incorporados. Ejemplos de estilos de letras son proporcionados a lo largo de este documento; así como algunos componentes, tales como ecuaciones, gráficas y tablas. El autor necesitará crear estos componentes incorporando los siguientes criterios: use estilos, fuentes y tamaños de letras tal como se definen en esta plantilla, no las cambie o redefina de ninguna manera para evitar alteraciones en la plantilla.

A continuación, se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

### 1.1 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en *Times New Roman* 18 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, 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 16 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.

### 1.2 Nombre y afiliación de los autores

El nombre de autores incluye primer nombre seguido del primer apellido e inicial de segundo apellido. No debe mostrar ningún título profesional, tal como gerente, director, etc., ningún título académico o membresía de ninguna organización profesional (ejemplo. miembro de la IEEE).

Cada afiliación debe incluir los siguientes elementos: unidad a la que está adscrito, grupo de investigación, entidad a la que está afiliado y el correo electrónico del autor de correspondencia. Este último elemento es obligatorio porque facilita la comunicación entre autores y el lector.

Los autores 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 ID1* y *WoS2*

### 1.3 Diseño de página

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de 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 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: superior 3.97 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm.

#### 1.4 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra *Times New Roman*. Evite el uso de “*bit-mapped fonts*”. 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.

#### 1.5 Texto principal

Escriba el texto principal en *Times New Roman* 10 puntos a espacio sencillo. El artículo debe seguir la regulación de formato de IEEE. Las secciones obligadas, después de Título y Palabras clave, son: 1. Introducción, 2. Materiales y métodos, 3. Resultados y discusión, 4. Conclusiones, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Contribución y aprobación de los autores, Referencias y Anexos. Solo se enumeran las secciones de 1 a 4, Solo se enumeran las secciones de 1 a 4, mantenga la numeración y el orden de las secciones. Los símbolos como el de porcentaje y las unidades deben estar unidas a los números. Las unidades de miles en los números se separan con coma. Los puntos decimales, se separan con punto. No muestre más de dos cifras decimales, salvo que justifique su exactitud.

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura ([2] como ejemplo). Se enumerarán por orden de aparición en el texto. No utilice expresiones tales como “Ref. [3]” o “Referencia [3]”, excepto al inicio de una oración, ejemplo “La referencia [3] muestra...”. Múltiples referencias deben enumerarse en corchetes separados (ej. [2], [3], [4-6]). El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un software específico. La letra de las citas debe ser *Times New Roman* 9 puntos.

Deben utilizarse un mínimo de 10 referencias, preferiblemente de artículos de revistas indexadas publicados en los últimos cinco años. El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias.

#### 1.6 Títulos de las secciones

En las secciones y subsecciones no deben utilizarse más de tres niveles de títulos. Otros títulos (subsecciones) deben tener una fuente de 10 puntos excepto los títulos de primer nivel, que son de 14 puntos. Los títulos no llevan punto al final.

- Primer nivel de título: un título en el nivel uno debe estar justificado a la izquierda, fuente *Times New Roman*, tamaño 14 puntos y enumerado con números arábigos seguido por un punto, ejemplo: “**2. Materiales y métodos**”.

Los títulos “Agradecimientos”, “Conflictos de intereses” y “Referencias”, “Anexos”, etc. no deben ser enumerados.

- Segundo y tercer nivel de título: los títulos en el nivel dos y tres deben estar justificados a la izquierda y enumerados con números arábigos, con fuente *Times New Roman* de 10 puntos en negrita. Por ejemplo, “**1.6 Figuras y tablas**” o “**1.6.1 Título de figura**”. Al igual que los demás títulos, la numeración de estos subtítulos no culmina 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 10 puntos.

#### 1.7 Figuras y tablas

Las leyendas de figuras (colocadas al pie de la figura) y títulos de las tablas (colocados en el encabezado de la tabla), deben ser en *Times New Roman* de 8 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.

Los gráficos y otras figuras enumeradas deben aparecer en el texto tan cerca de su mención como sea posible. Las figuras no deben infringir sobre los bordes de las páginas.

Las figuras y las tablas deben estar centradas en la columna y su formato debe ser en línea con el texto (evitando que la figura quede flotando en el documento). Las figuras y tablas de gran tamaño pueden estar en una columna (ancho total de la página, dentro de los márgenes), pero deben estar posicionadas en la parte superior o inferior de la página.



**Figura 1.** Un ejemplo de un gráfico de líneas con colores que contrastan bien en pantalla como en una copia impresa en blanco y negro.

##### 1.7.1 Título de la figura

Las figuras deben ser enumeradas con números arábigos y fuente *Times New Roman* de 8 puntos. Los títulos de figuras deben estar justificados y llevar punto al final (ejemplo: ver figura 1).

La mención de una figura en el texto del artículo debe realizarse antes de su aparición, tal como se aprecia con la figura 2 y la palabra figura debe ir en minúscula dentro del párrafo.

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 como se aprecia con la figura 2.



**Figura 2.** Ejemplo de una imagen con resolución aceptable.  
**Fuente:** Universidad Tecnológica de Panamá.

### 1.7.2 Título de las tablas

Las tablas deben enumerarse con números arábigos. Los títulos de las tablas deben centrarse, colocarse en la parte superior, no llevan punto al final y con una fuente regular de 10 puntos. La mención de una tabla en el texto del artículo debe realizarse antes de su aparición. Dentro de las tablas los títulos deberán ir en negrita ver tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo de títulos de tablas

| # | Artículo    | Cantidad |
|---|-------------|----------|
| 1 | Volumen 6.0 | 25       |
| 2 | Volumen 6.1 | 20       |
| 3 | Volumen 6.2 | 15       |

### 1.7.3 Fuentes de referencia

El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos de propiedad intelectual establecidos para información, imágenes y tablas. En caso de que la imagen, tabla o grafica no sea de su autoría deberá colocar el autor o

fuente correspondiente ver figura 2. La palabra fuente va en negrita seguido de dos puntos, la información debe estar justificada y llevar punto al final.

### 1.8 Enlaces (Links) y marcadores (bookmarks)

Los enlaces y marcadores deben ser removidos del artículo durante el proceso de elaboración. Si usted necesita hacer referencia a un URL en su artículo, usted debe escribir completamente la dirección URL con una fuente regular.

### 1.9 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 10.

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.*

Las ecuaciones deben enumerarse secuencialmente a lo largo del artículo. El número de la ecuación debe encerrarse entre paréntesis, ubicado totalmente al margen derecho como en (1) y (2).

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

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.

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva *Times New Roman* 10. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo, debe ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”. No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “Ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán señalar la fuente.

### 1.10 Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, la

UTP declina toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación, responsabilidad y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revistas 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).

### 1.11 Originalidad

El artículo deberá cumplir con al menos 90% de autenticidad a la entrega. Al momento de someter el artículo, se deberá adjuntar además del artículo, el reporte proveniente de la siguiente herramienta antiplagio gratuita, “*Small Seo Tools Plagiarism Checker*” (<https://smallseotools.com/>). Este enlace lleva a la página donde aparecen todas las aplicaciones disponibles, como se muestra en la figura 3.

## 2. Materiales y Métodos/ Metodología

Este título en *Times New Roman* 14, negrita. En artículos correspondientes a investigaciones experimentales, use como título de esta sección “Materiales y métodos”; en el caso de artículos de revisión, use como título “Metodología”. En esta sección el autor debe presentar y detalladamente todo lo referente al trabajo realizado, incluyendo, pero no limitado a: diseño y tipo de investigación, población/muestra estudiada, materiales y métodos utilizados, equipos e instrumentos con sus especificaciones y origen de fabricación, instrumentos de recopilación de datos, fechas y lugares, protocolos y normas utilizados, criterios estadísticos para el análisis de datos, experimentos realizados. En el caso de artículos de revisión, el autor debe incluir los criterios de búsqueda y selección del material utilizado, bases de datos utilizadas, controles aplicados, criterios de selección de información y métodos de análisis de la información, etc.

## 3. Resultados y discusión

Este título en *Times New Roman* 14, negrita. En artículos correspondientes a investigaciones experimentales, use como título de esta sección “Resultados y discusión”; en el caso de artículos de revisión, use como título “Desarrollo y discusión”. 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.

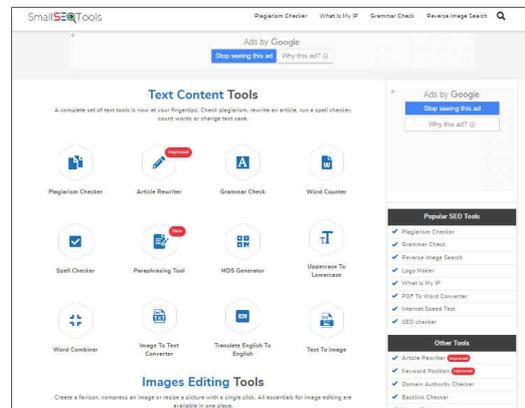


Figura 3. Ejemplo de <https://smallseotools.com/>.

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 uno de cada cinco ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando una oración inicia con un número, debe escribirse el número en letras. En cualquier otra parte del texto, 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. Debe hacerse comparación y discusión de los resultados obtenidos, con estudios previos, ya sea que los avalen o no. Explicar las similitudes o las diferencias.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Recuerde que las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%. Las figuras, gráficas y tablas deben seguir las indicaciones dadas previamente. No debe presentar la misma información en formatos de imagen y tabla, use solo una de estas alternativas.

## 4. Conclusiones

Este título en *Times New Roman* 14, negrita. Las 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.

## AGRADECIMIENTOS

Este título en mayúscula cerrada, *Times New Roman* 12, negrita. En esta sección se podrá incorporar a las personas, grupos u organizaciones que hayan colaborado o apoyado en la investigación que se reporta. Ejemplo “A Juan Pérez por su asistencia técnica”. Se puede dar reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero: “Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación bajo el acuerdo xyz”. No iniciar los agradecimientos con la misma palabra del título, queda tácito. No es necesario incluir en el agradecimiento al asesor ni a cualquier otra persona que aparezca como coautor del trabajo. Importante también agradecer a la institución que hospeda, soporta o cofinancia el proyecto.

## CONFLICTO DE INTERESES

Este título en mayúscula cerrada, *Times New Roman* 12, negrita. El objetivo de esta sección es esclarecer que los autores y el trabajo presentado, no presentan conflictos de intereses con ningún patrocinador o agencia con interés en los resultados del proyecto. Seleccione la opción correspondiente (la que corresponda con exactitud) y borre el resto de este contenido.

- Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.
- Los autores declaran conflicto de intereses, según se detalla a continuación:

(De existir conflicto de interés en uno o más coautores, proceda a declarar los conflictos de interés individualmente).

## REFERENCIAS

Este título en mayúscula cerrada, *Times New Roman* 12, negrita. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la IEEE y deben estar en *Times New Roman* 9 puntos. Todas las referencias deben aparecer citadas en el documento y viceversa, todas las citas en el texto deben ser listadas en las referencias.

A continuación, ejemplos de diferentes categorías de referencias no debe colocarse punto porque se puede confundir con el enlace:

- **Citación de un artículo de revista:** Iniciales y Apellido del autor, "Título del artículo entre comillas", Título abreviado de la revista en cursiva, volumen abreviado (vol.), número abreviado (no.) páginas abreviado (pp.), Mes Año.

[1] O. Aguilar, R. Maghirang, C. W. Rice, S. L. Trabue and L. E. Erickson. “Nitrous Oxide Fluxes from a Commercial Beef Cattle Feedlot in Kansas”, *Air, Soil and Water Research*, vol. 2014, no. 7, pp. 35-45, Nov. 2013.

- **Citación de un artículo de congreso publicado:** Iniciales y Apellidos del autor, "Título del artículo de conferencia entre comillas" en Nombre completo del congreso, Ciudad de la conferencia, año, páginas (abreviado pp.).

[2] D. Navarro Alaín, J. J. Lay Pérez y O. Aguilar. “Paja Canalera (*Saccharum spontaneum*), especie herbácea invasiva como potencial recurso energético en Panamá”, en *International Engineering, Science and Technology Conference*, Panamá, 2019, pp. 99-107.

- **Citación de un libro:** Iniciales y Apellido del autor, *Título del libro en cursiva*. Edición. Lugar de publicación: Editorial, Año de publicación.

[3] H. Motulsky. *Intuitive Biostatistics*. 2da. ed. New York: Oxford University Press, 2010.

- **Citación de un documento electrónico:** Iniciales y Apellido del autor (año, mes y día). Título (edición) [Online]. Available: Url.

[4] A. Paul. (1987, Oct. 10). “Electrical properties of flying machines.” (2da ed.) [Online]. Available: [www.flyingmachjourn/properties/fly.edu](http://www.flyingmachjourn/properties/fly.edu)

NOTA: los recursos en internet incluyen múltiples posibilidades (revistas, artículos, monografías, sitios web de entidades, bases de datos, etc.) En general, se citan como el documento impreso del tipo al que pertenecen, añadiendo la indicación [Online] y el DOI si está disponible o su url.

## ANEXOS

Este título en mayúscula cerrada, *Times New Roman* 12, negrita. Este apartado no es obligatorio. Se usa para incluir cualquier tipo de material importante para justificar los resultados del trabajo, pero que no pueda presentarse en el desarrollo continuo del artículo.

**Anexo 1. Ejemplo de redacción del resumen en los manuscritos sometidos a RIC.** (Este título en *Times New Roman* 12, negrita).

**RESUMEN. [Introducción]**La emisión de gases de efecto invernadero, incluido el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), de los corrales de engorde de ganado vacuno a gran escala, es ya una preocupación ambiental. **[Objetivo]**Este estudio se realizó para cuantificar los flujos de emisión de N<sub>2</sub>O en función de las condiciones de la superficie del corral, en una hacienda industrial de engorde de ganado vacuno, en el estado de Kansas, USA, desde julio de 2010 hasta septiembre de 2011. **[Metodología]**El período de medición representó las condiciones típicas del corral de engorde, con temperaturas del aire que oscilaron entre -24 a 39°C. Se utilizaron cámaras estáticas de medición de flujo para recolectar muestras de gas de las superficies de los corrales a los 0, 15 y 30 minutos de

instaladas las cámaras. Las muestras fueron analizadas mediante cromatografía de gases. Los flujos de N<sub>2</sub>O emitidos del suelo se determinaron a partir de las concentraciones medidas. **[Resultados]**El flujo medio de emisión de la condición superficial húmeda/fangosa fue de 2.03 mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, lo que resultó ser 20 veces mayor que los flujos de N<sub>2</sub>O en otras condiciones de la superficie de corral. Los picos emitidos de N<sub>2</sub>O de esa condición superficial fueron seis veces mayores que picos de emisión previamente reportados para suelos agrícolas. **[Conclusión]**Se reporta que, en función del estado superficial de los corrales, los flujos de emisión de N<sub>2</sub>O se ven afectados por una o más propiedades del suelo tales como humedad, temperatura, pH y contenido total de C, NO<sup>3-</sup> y NH<sup>4+</sup>.

Fuente: Tomado y traducido al español de: Aguilar et al. Nitrous Oxide Fluxes from a Commercial Beef Cattle Feedlot in Kansas. *Air, Soil and Water Research* 2014;7 35–45 doi:10.4137/ASWR.S12841.

NOTA: Este formato del resumen es de obligatorio cumplimiento (las palabras entre paréntesis son solo como guía, no deben aparecer en el resumen).

# RIC

## REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL of UNDERGRADUATE RESEARCH

Volumen 7 - N.º 2 - Julio - Diciembre 2021 P-ISSN 2412-0464 E-ISSN 2413-6786

### Revista Editada por la Dirección de Investigación

Dr. Orlando Aguilar

#### Editor de la Revista

Dr. Jorge Quijada-Alarcón

#### Coeditora y coordinadora

Mgrt. Patricia Del Cid

Dirección de Investigación, UTP

#### Comité Editorial

Dr. Ignacio Chang

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Dr. Humberto Álvarez

Facultad de Ingeniería Industrial

Dr. José Rangel

Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales

Prof. Tatiana Salgado

Facultad de Ciencia y Tecnología

Dr. Arthur James

Facultad de Ingeniería Mecánica

Ing. Matías Carrera

Facultad de Ingeniería Civil

Mgrt. Danny Murillo

Repositorio Institucional de Documentos Digitales de Acceso Abierto

#### Equipo técnico y proyección internacional - UTP

Ing. Danny Murillo

Ing. Dalys Saavedra

#### Dirección de Comunicación Estratégica

Mgrt. Danilo Toro  
Director

Dra. Libia Batista de Muñoz  
Editorial Universitaria

Diseño y diagramación  
Sección de Diseño Gráfico

Lcda. Shirley Cedeño  
Imprenta

#### Autoridades

Ing. Héctor Montemayor Á.  
Rector

Lcda. Alma Urriola de Muñoz

Vicerrectora Académica

Dr. Alexis Tejedor de León

Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

Mgrt. Mauro Desto Stimamiglio

Vicerrector Administrativo

Mgrt. Ricardo Reyes

Secretario General

Ing. Brenda Serracín de Álvarez

Coordinadora General de los Centros Regionales

#### Decanos

Dr. Martín Candanedo

Facultad de Ingeniería Civil

Dr. Edilberto Hall Mitre

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Dr. Israel Ruiz

Facultad de Ingeniería Industrial

Dr. Julio A. Rodríguez B.

Facultad de Ingeniería Mecánica

Dr. Clifton E. Clunie B.

Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales

Mgrt. Juan González

Facultad de Ciencias y Tecnología

#### Directores de Centros de Investigación

Ing. Javier Navarro

Centro Experimental de Ingeniería - Encargado

Dr. José Fábrega

Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas

Dr. Félix Henríquez

Centro de Investigación e Innovación Eléctrica

Mecánica y de la Industria

Dr. Wedleys Tejedor

Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales

Lic. Norman Rangel

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación  
en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - Encargado

RIC: Revista de Iniciación Científica = Journal of undergraduate Research.  
Vol. 7, No.2 (Jul. - Dic. 2021) - Panamá: Editorial Tecnológica, 2021

V.; 27 cm  
Semestral  
P-ISSN-2412-0464  
E-ISSN-2413-6786

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



Universidad Tecnológica de Panamá

### Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas (Investigación, Académica, Cultural, Congresos Nacionales e internacionales) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Este sitio nace como una iniciativa del proyecto UTP-Ridda<sup>2</sup> para mostrar la producción científica e investigativa desarrollado por los docentes, investigadores y estudiantes de la UTP. Este proyecto es desarrollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, Editorial Universitaria y la Dirección de Comunicación Estratégica, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad.

El objetivo de esta plataforma es visibilizar la producción científica en las revistas científicas en vías de mejorar el alcance de las publicaciones a nivel nacional e internacional a través de la integración en directorios, bases de datos, catálogos e indexaciones.

A partir del 2018 las publicaciones de los volúmenes de las revistas I+D Tecnológico, Prisma Tecnológico y la Revista de Iniciación Científica (RIC) se les asignará un DOI (Digital Object Identifier).



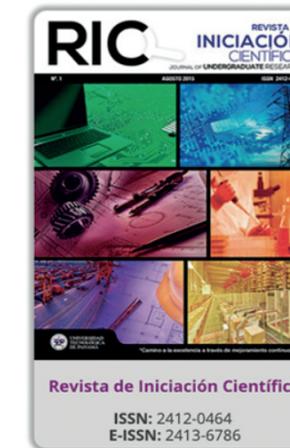
I+D Tecnológico

ISSN: 1680-8894  
E-ISSN: 2219-6714



Prisma Tecnológico

ISSN: 2076-8133  
E-ISSN: 2312-637X



Revista de Iniciación Científica

ISSN: 2412-0464  
E-ISSN: 2413-6786



Revista RETOS XXI

ISSN: 2524-1125  
E-ISSN: 2524-1133



El Tecnológico

ISSN: 1819-9623  
E-ISSN: 1819-9623

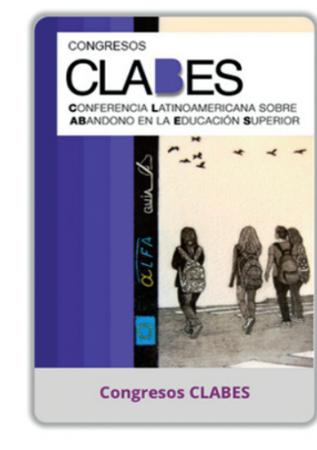


Cultural Maga

ISSN: 1018-1563  
E-ISSN: 1018-1563



Memorias de Congresos UTP



Congresos CLABES

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas