

PRISMA Tecnológico

P-ISSN | 2076-8133 | E-ISSN | 2312-637X | Volumen 13, N.º 1 | 2022 | Edición anual

Análisis de la influencia de la masa térmica en climas tropicales mediante simulación con Energy 2D

Aplicación e integración de tecnología solar fotovoltaica en edificio residencial de San Juan, Argentina

Entrevista a la Dra. Eva Ortega Paino, Presidenta de la Red de científicos españoles en el exterior y Directora Científica del Biobanco del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO)

Interview with Dr. Peter McGrath, Coordinator of the InterAcademy Partnership (IAP) and Co-coordinator of the UNESCO-TWAS Science Policy/Science Diplomacy programme

Sistema Semi-Automatizado para Procesos Universitarios de Transacciones Monetarias e Identificación por Medio de Tecnología Near Field Communication

Disminución de la densidad aparente y del módulo dinámico longitudinal de cinco maderas angiospermas después de su exposición al fuego

Indexada en:



Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través del Departamento de Editorial Universitaria, bajo el sello **Editorial Tecnológica**. Es una revista abierta indexada a LATINDEX, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería y ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

Revista PRISMA Tecnológico

El Departamento de Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá, Jefa: Libia Batista. Avenida Universidad Tecnológica de Panamá, Vía Puente Centenario, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, Edificio Orillac, Primer alto, Panamá, República de Panamá. Teléfonos: (507) 560-3703, 560-3441. Telefax: (507)560-3442. Correo electrónico: editorial@utp.ac.pa, página web:

http://www.utp.ac.pa, Apartado 0819-07289 El Dorado, Panamá, República de Panamá. La responsabilidad de los contenidos es de los autores de los artículos firmados y no de la Universidad Tecnológica de Panamá o sus miembros. A menos que se especifique lo contrario, la Universidad Tecnológica de Panamá ni comparte ni desapueba cualquier posición o acción propugnada en PRISMA tecnológico.

Correspondencia Editorial

Enviar a: Directora del Comité Técnico, Dra. Aranzazu Berbey Álvarez, Investigadora, Vicerrectoría Académica, Universidad Tecnológica de Panamá, Avenida Universidad Tecnológica de Panamá, Vía Puente Centenario, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, Panamá, República de Panamá. Tel: (507) 560-3042, correo electrónico: aranzazu.berbey@utp.ac.pa

Presentación de Artículos para Evaluación y Publicación

PRISMA Tecnológico es una revista de divulgación tecnológica científica de carácter general, cuyos artículos o ensayos deben tener un carácter, forma y nivel científico, pero también deben mantener un perfil y redacción tales que permitan su lectura e interés a un público general, de personas interesadas en la tecnología y la ciencia. Los artículos no son del tipo de una revista altamente especializada o teórica. La revista está dirigida a profesionales del área tecnológica, estudiantes universitarios de carreras tecnológicas, docentes universitarios, investigadores y público en general.

PRISMA Tecnológico PRISMA Tecnológico es una revista abierta a todos los interesados en publicar, es decir, que los autores de los artículos no tienen que ser miembros de la Universidad Tecnológica de Panamá. Además, son bienvenidos los trabajos, en particular, de los estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con la orientación y colaboración de un profesor tutor.

Cualquier aportación técnico-científica relacionada con algún área de la ingeniería en sus múltiples disciplinas es, en principio, susceptible de ser publicada en PRISMA Tecnológico.

PRISMA Tecnológico se ha diseñado con varias secciones que permiten incluir artículos de diversos tipos, desde escritos de opinión a ensayos técnicos y artículos originales con resultados de investigaciones o proyectos. Las secciones de artículos que incluye PRISMA son: Impacto, Tecnología y Sociedad, Actualidad Tecnológica, Tecnología a Fondo, Tecno I+D, Tecno-Historia. Cada artículo será evaluado por tres (3) evaluadores externos, mediante el método de "revisión por pares" para conocer su calidad técnica, la originalidad, la contribución científica, entre otros criterios relevante. La revisión por pares se rige por el método de "doble ciego" para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflicto de interés. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial de Prisma Tecnológico.

Impacto: Trata de ensayos sobre una tecnología cuyo impacto en la evolución de la sociedad ha sido trascendental. Estos artículos deben incluir algo de la historia o evolución de la tecnología en cuestión, el impacto de la misma en los diversos aspectos de la sociedad, prospectiva, etc. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. La longitud máxima es de cinco (5) páginas. Se espera que sean artículos interesantes y orientados a lectores inteligentes y con formación científica, pero no expertos en un área en particular. Pueden incluir figuras y deben incluirse referencias.

Tecnología y Sociedad: Incluye artículos sobre temas de tecnología, educación o investigación, relacionados con problemáticas o realidades sociales. Deben incluir aportaciones que reflejen la opinión del autor sobre el tema. Deben tener carácter, forma y nivel científico (no tipo diario/periódico) - estar basado en estudios, datos, área de experticia del autor y deben incluir referencias. Pueden incluir figuras, tablas y gráficas y deben incluirse referencias.

Tecno-Historia: Encierra dos tipos de trabajos: biografías de científicos importantes o ensayos sobre la historia de alguna tecnología. Las biografías están limitadas a una (1) página por personaje y los ensayos a un máximo de tres (3) páginas. En ambos casos deben incluirse figuras y referencias.

Actualidad Tecnológica: Se trata de ensayos técnicos descriptivos sobre tecnologías actuales - se incluyen estudios del estado del arte, tutoriales o artículos de visión general (survey). Estos trabajos no son una publicación de investigaciones y no incluyen resultados de investigaciones. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible.

Tecnología a Fondo: Contiene artículos técnicos-científicos descriptivos sobre tecnologías que describen en forma bastante detallada, un aspecto relacionado con una tecnología, pero tratando de mantener el enfoque en la explicación de la esencia de una idea, estudio, experimento o tecnología, más que en los detalles matemáticos o de ejecución. La cantidad de fórmulas matemáticas debe mantenerse al mínimo posible.

Tecno I+D: Incluye artículos que describen los resultados originales derivados de investigaciones teóricas, experimentales y de desarrollo tecnológico, así como resultados derivados de trabajos de grado de estudiantes universitarios.

Todos los trabajos deben ser originales y no haberse publicado en ninguna otra revista o forma de publicación exclusiva. Los artículos se recibirán durante todo el año. Que un artículo sea aceptado no significa que vaya a ser publicado, ni crea ninguna obligación de la revista PRISMA Tecnológico en relación al artículo.

La guía para autores con sus especificaciones está disponible en:
www.revistasutp.ac.pa/index.php/prisma

PRISMA TECNOLÓGICO

Directora del Comité Editorial
Dra. Aranzazu Berbey Álvarez
Vicerrectoría Académica, UTP
aranzazu.berbey@utp.ac.pa

Comité Editorial

Dra. Ana Muñoz
Universidad de Los Andes, (Venezuela)
anamunoz@ula.ve

Dr. Rolando Gittens, Ph.D.
Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta
Tecnología (INDICASAT-AIP)
rgittens@indicat.org.pa

Dr. Miguel Vargas Lombardo
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales UTP
miguel.vargas@utp.ac.pa

Dr. Ronald Barazarte, Ph.D.
Electric Power Engineers, Inc.
rbarazarte@epeconsulting.com

Dr. José Hernández Rosas
Universidad de los Andes, (Venezuela)
epifitajh@gmail.com

Dr. Danilo Cáceres Hernández
Miembro de la IEEE, capítulo Panamá
danilo.caceres@ieee.org

Dr. Vladimir Villarreal
Centro Regional de Chiriquí UTP
vladimirvillarreal@utp.ac.pa

Dra. Nacari Marín
Centro Regional de Azuero UTP
nacari.marin@utp.ac.pa

Dr. Jesús B. Alonso Hernández
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España)
jesus.alonso@ulpgc.es

Dr. Francisco Calvo-Poyo
Universidad de Granada, (España)
fjcalvo@ugr.es

Dr. Juan de Dios Sanz-Bobi
Universidad Politécnica de Madrid, (España)
juandedios.sanz@upm.es

Dr. Eng. Arkadiusz Kampczyk,
Department of Engineering Surveying and Civil Engineering,
Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering,
AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland
kampczyk@agh.edu.pl

Dr. Marek Mezitis
Riga Technical University, (Latvia)
marek@dztu.edu.lv



Ing. Libia Batista
Directora
Sr. Armando Pinillo
Mercadeo y Ventas

Diseño e impresión
Departamento de Comunicación Gráfica

Editorial



El año 2021 nos dio buenas noticias. Las vacunas contra el virus covid-19 han demostrado ser efectivas. Estas han salvado vidas. La Pandemia ha trastocado la logística mundial, esto ha impulsado el surgimiento de nuevas estrategias en la cadena de suministro para la distribución global de los bienes y servicios. Ante la adversidad de esta Pandemia Covid-19, el ingenio, la motivación, la creatividad y la innovación constituyen activos intangibles esenciales para superar los nuevos desafíos.

En este número presentamos a nuestros lectores varios artículos multidisciplinarios, acompañados de tres entrevistas a reconocidos representantes internacionales de la gestión y divulgación científica, diplomacia científica y popularización de redes científicas. Además de 5 biografías de hombres y mujeres que han contribuido al desarrollo de la ciencia, tecnología e ingeniería. También queremos compartir la siguiente noticia maravillosa con nuestros lectores: La Revista Prisma Tecnológico ha sido integrada al DOAJ (The Directory of Open Access Journals), posicionándose como la segunda revista de nuestro país en lograr esta hazaña. La primera revista en lograrlo fue la Revista I+D Tecnológico y en tercer lugar la Revista de Iniciación Científica (RIC). Todas ellas forman parte del portal de revistas académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. El directorio DOAJ, abarca todas las revistas científicas y académicas de acceso abierto a nivel mundial.

Dra. Aranzazu Berbey Álvarez
Universidad Tecnológica de Panamá
aranzazu.berbey@utp.ac.pa

PRISMA Tecnológico

Contenido

P-ISSN | 2076-8133 |

E-ISSN | 2312-637X |

Volumen 13, N.º 1 | 2022

| Edición anual

ACTUALIDAD TECNOLÓGICA

Humedales artificiales flotantes y su valor paisajístico en ríos urbanos-Ciudad de Panamá.....3-9

Acción del microambiente sobre el concreto reforzado.....10-16

Importancia de la implementación de geoparques en Panamá: Proyecto Geoparque Puente de las Américas.....17-26

Análisis de la influencia de la masa térmica en climas tropicales mediante simulación con Energy 2D.....27-35

Análisis del nivel de aceptación de los millennials sobre el fenómeno del internet de las cosas y su efecto en las decisiones de compra.....36-44

Aplicación e integración de tecnología solar fotovoltaica en edificio residencial de San Juan, Argentina.....45-51

ENTREVISTA

Entrevista a la Dra. Eva Ortega Paino, Presidenta de la Red de científicos españoles en el exterior y Directora Científica del Biobanco del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO).....52-54

Interview with Dr. Peter McGrath, Coordinator of the InterAcademy Partnership (IAP) and Co-coordinator of the UNESCO-TWAS Science Policy/Science Diplomacy programme.....55-57

Interview with Dr. Shirin Haque, Astronomer and National Outreach Coordinator (IAU) University of the West Indies, Dept of Physics, St Augustine, Trinidad & Tobago.....58-60

PRISMA Tecnológico

Contenido

P-ISSN | 2076-8133 |
E-ISSN | 2312-637X |
Volumen 13, N.º 1 | 2022
| Edición anual

TECNOLOGÍA I+D

Sistema Semi-Automatizado para Procesos Universitarios de Transacciones Monetarias e Identificación por Medio de Tecnología Near Field Communication.....61-68

Disminución de la densidad aparente y del módulo dinámico longitudinal de cinco maderas angiospermas después de su exposición al fuego.....69-76

Técnicas de machine learning aplicadas a la evaluación del rendimiento y a la predicción de la deserción de estudiantes universitarios, una revisión.....77-87

TECNOLOGIA A FONDO

La flexibilidad y otros retos de la integración masiva de generación eólica y solar en los sistemas de potencia.....88-96

TECNO HISTORIA

Dr. Ángel Rubio: Padre de la Geografía en Panamá.....97-99

Dr. José Antonio Price: pionero de la medicina republicana en Bocas del Toro.....100-102

José María Figueroa Oreamuno: hombre de ciencia, historia y arte costarricense.....103-104

Olimpia R. Altuve: Farmacéutica y Química Bióloga guatemalteca.....105-107

Dr. Reinaldo Espinosa Aguilar: botánico y científico ecuatoriano.....108-109

Dr. Abel Martiniano del Carmen Bravo Martínez: Ingeniero Civil.....110-111

GUÍA PARA AUTORES

Instructivo.....112-115



Universidad Tecnológica de Panamá

AUTORIDADES

Ing. Héctor M. Montemayor Á.
Rector

Licda. Alma Urriola de Muñoz
Vicerrectora Académica

Dr. Alexis B. Tejedor De León
Vicerrector de Investigación, Postgrado y
Extensión

Mgtr. Mauro Destro Stimamiglio
Vicerrector Administrativo

Mgtr. Ricardo Reyes
Secretario General

Ing. Luis A. Muñoz V.
Coordinador General de los Centros Regionales

Revista indexada en

latindex

www.latindex.unam.mx

Humedales artificiales flotantes y su valor paisajístico en ríos urbanos-Ciudad de Panamá

Denise Delvalle de Borrero² , Katherine Fuentes¹  & Juan Medina¹ 

¹Licenciatura en Ingeniería Ambiental - Universidad Tecnológica de Panamá,
²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotecnia-Universidad Tecnológica de Panamá

denise.borrero@utp.ac.pa; katherinefuentes2996@gmail.com;

jmr2095@gmail.com

DOI: 10.33412/pri.v13.1.2871



Resumen: *Los humedales artificiales son tecnologías que aprovechan la capacidad de depuración de las plantas y su capacidad para mejorar la calidad y el estado de los cuerpos de agua, conocida como fitorremediación. Las aplicaciones en el tratamiento de agua de distintas procedencias son amplias. Dentro de esta gama de aplicaciones destacan los Humedales Artificiales Flotantes (HAF) como soluciones innovadoras con un potencial de tratamiento mayor al de otros métodos convencionales de fitorremediación. Este artículo presenta las posibles ventajas de su implementación en ríos urbanos, especialmente en la ciudad de Panamá. Los HAF como micro ecosistemas se recomiendan como alternativa verde para el tratamiento de estos ríos con la consecuente mejora de la calidad de vida de los habitantes y el entorno.*

Palabras claves: Cuerpos de agua, contaminación, fitorremediación, humedal artificial flotante, paisajismo.

Title: Landscaping value of Constructed floating wetlands for urban rivers -Panama City.

Abstract: *Constructed wetlands are technologies that take advantage of the purification capacity of vegetation and the ability to improve the quality and condition of water bodies, which is known as phytoremediation. The applications in the treatment of water from different sources are wide. Within this range of applications, Floating Artificial Wetlands (HAF) stand out as innovative solutions with a higher treatment potential than other conventional phytoremediation methods. This work presents the possible advantages of its implementation in urban rivers, especially in Panama City. HAFs, resemble micro ecosystems and are recommended as green alternatives for the treatment of polluted rivers with the consequent improvement of life quality for inhabitants and the environment.*

Key words: water bodies, pollution, phytoremediation, constructed floating wetlands, landscaping.

Tipo de artículo: Artículo de Impacto

Fecha de recepción: 16 de octubre de 2020.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

Es un hecho que las poblaciones se ubican a las márgenes de los ríos y en las costas, el ser humano necesita agua para sobrevivir, cultivar y prosperar. La demanda de agua dulce se incrementa de manera proporcional al aumento de la población; y los recursos hídricos se afectan por la captación excesiva, la contaminación de origen antropogénico y el cambio climático [1]. Hoy en día la calidad de las fuentes puede verse afectada por falta de regulaciones para protección del recurso. Muchas industrias descargan a los afluentes y contaminan ríos que a su vez sirven de fuente a las potabilizadoras que abastecen a las ciudades.

El recurso hídrico en Panamá es, por ahora, abundante. En el país existen alrededor de 500 ríos, de los cuales 350 drenan en el Pacífico y 150 drenan en el Mar Caribe; divididos en 67 sistemas lacustres, insertados en 52 cuencas hidrográficas (18 en la vertiente del Caribe y 34 en la vertiente del Pacífico) [2]. Sus usos pueden cuantificarse en uso doméstico (56%), seguido por las actividades agrícolas (43%) e industriales (0.9%) [3].

Según informaciones recogidas del Ministerio de Ambiente de Panamá (MiAmbiente), cerca del 60% de los ríos de la Provincia de Panamá muestra índices de contaminación en las partes medias y zonas bajas de sus respectivas cuencas [4]. Entre estos, los 8 ríos ubicados en la ciudad de Panamá se encuentran contaminados debido la falta de educación ambiental, al crecimiento de la población, mala planificación urbana, deficiente manejo de los desechos e incumplimiento de normas ambientales. Estos cuerpos de agua representan un riesgo para la salud y la calidad de vida de los residentes aledaños [4], [5].

La *fitorremediación* (FR) es una tecnología empleada para reducir las concentraciones de contaminantes mediante el uso de plantas. Algunos procesos implican la absorción, precipitación, filtración, almacenaje y detoxificación de contaminantes. La FR se aplica en el tratamiento de diversos tipos de aguas residuales domésticas y efluentes industriales. La técnica se emplea en conjunto con estructuras construidas como: humedales artificiales, lechos de juncos y sistemas de plantas flotantes [6], [7].

Por definición, los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de agua, diseñados para eliminar contaminantes mediante procesos físicos y bioquímicos, que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de plantas (*fitorremediación*), asimilación, filtración, precipitación, absorción y volatilización [8]. Estos sistemas se diseñan de manera que simulan escenarios de zonas húmedas naturales. Los sistemas más populares encontrados en la literatura incluyen aquellos de flujo libre superficial, de flujo horizontal y flujo vertical. Existen también, otros sistemas como los humedales híbridos (o de flujo combinado) y los humedales artificiales flotantes (HAF),

conocidos como islas flotantes que son los que nos ocupan en adelante como posibles soluciones a la contaminación de ciertos ríos urbanos.

Los HAF son variantes innovadoras de humedales artificiales, que consisten en el cultivo de plantas terrestres o acuáticas usando el principio de la hidroponía. Estos sistemas tienen cuatro funciones principales: ser hábitat para peces y aves, purificar el agua, ser barreras para proteger la zona litoral y promover el paisajismo.

La aplicación de HAF se ha extendido en varios países de América, Asia y Europa [6], [9]–[11]. En algunos países en desarrollo, con clima tropical, han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales domésticas, efluentes industriales, aguas residuales agrícolas, aguas de ríos y lagos, efluentes de lodos, escorrentía e, incluso, aguas residuales de hospitales y laboratorios [12]. La efectividad es clima-dependiente: es mayor en los trópicos y subtropicos que en climas más templados [13]. Además, se prevé que el aumento de la temperatura, producto del cambio climático, puede incrementar la tasa de remoción de contaminantes en humedales [8].

Los sistemas de HAF han demostrado ser ecológicos y sostenibles y su uso permite la protección de la vida silvestre sin impactos significativos, por lo cual son aplicables como medidas de restauración de ecosistemas degradados por intervención antropogénica.

El objetivo de trabajo es resaltar la utilidad de humedales artificiales en situaciones de fuerte contaminación como lo pueden ser aquellos ríos urbanos que recorren secciones enteras de la ciudad. En este sentido, la instalación de humedales artificiales flotantes puede ayudar a mejorar la calidad del agua específicamente en el punto de remoción de contaminantes, eliminación de los olores. Finalmente vuelve atractivas las riveras de los ríos.

2. Metodología

Para la redacción de este artículo se revisaron artículos científicos, bases de datos y páginas institucionales, en busca de información relacionada a humedales artificiales flotantes o a la calidad de las aguas superficiales. Con base en esta revisión, presentamos una perspectiva de sus ventajas y desventajas, para evaluar la viabilidad de su implementación en algunos sectores de la Ciudad de Panamá que se ven afectados desde el punto de vista estético, económico y de salubridad por aguas contaminadas.

2.1 Características del área de posible aplicación de HAF en ciudad de Panamá

La precipitación promedio anual en la República de Panamá es de 1917 mm, esto induce a que los ríos de la Ciudad se desborden, causen inundaciones y arrastren desechos a su paso, descargándolos en la Bahía de Panamá [14].

La Ciudad de Panamá tiene una población que rebasa los 430 mil habitantes con un consumo de agua de 370 litros por persona por día y una tasa de generación de residuos de 1.2 kg por habitante por día. Parte de las aguas servidas generadas, así como también aguas de procesos industriales, descargan

directamente en los cuerpos de agua o son colectadas por el sistema de colectoras del Proyecto Saneamiento de la Bahía [15].

Los 8 ríos de la Ciudad de Panamá son: Cárdenas, Curundú, Matasnillo, Matías Hernández, Abajo, Juan Díaz, Tapia y Tocumen [16]. Muchos de estos ríos producen gran acumulación de basuras en sus canales, lechos y orillas; como los ríos Matías Hernández y Juan Díaz, que son cintas transportadoras de desechos que descargan en el Océano Pacífico.

Para los ríos urbanos de gran caudal como el Río Juan Díaz y el Río Matthias Hernández se están implementando medidas como las barreras flotantes para detener sobre el cauce las basuras flotantes, retirarlas y llevarlas al vertedero. Aunque este no es el tratamiento ideal, aun no existen programas y recursos para reciclaje de plásticos en nuestro país.

MiAmbiente ha reportado que los ríos de la ciudad presentan Índices de Calidad del Agua (ICA) en los rangos de aguas contaminadas y altamente contaminadas para la cuenca baja. Este indicador se calcula a partir de parámetros como coliformes fecales, pH, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno en 5 días, temperatura, turbidez, nitratos y fosfatos [17]. Un vivo ejemplo de ello es el Río Matasnillo, que atraviesa áreas importantes como áreas residenciales y área bancaria de la ciudad de Panamá.

Existen normativas, en Panamá que establecen una servidumbre de hasta 20 metros entre las construcciones y la orilla o borde de un río. Sin embargo, la invasión inmobiliaria, en conjunto con las actividades económicas que aportan descargas no tratadas al río es uno de los factores de mayor impacto. Esta situación afecta negativamente la calidad de agua de los afluentes, la estética paisajística y el valor de mercado de los terrenos. Además, la acumulación de desechos y la mala calidad de las aguas representa un peligro para la salud de las comunidades aledañas y de los ecosistemas.

2.2 Construcción y funcionamiento de los HAF

Los materiales más utilizados para la construcción de HAF son materiales sintéticos, e incluyen: tuberías fabricadas de materiales como el cloruro de polivinilo (PVC), el Polietileno (PE) y el polipropileno (PP), mallas o redes, planchas de poliestireno (PS), y las botellas plásticas de polietileno tereftalato (PET) selladas con sus tapas. La composición de estos materiales (polímeros plásticos) es considerada como contaminante potencial y posiblemente tóxico en actividades acuícolas y agrícolas, según lo reconoció Naciones Unidas, en el año 2015; como resultado, el uso de estos materiales para la construcción de humedales se ha reducido paulatinamente, pese a características deseables como la capacidad de flotación, la baja densidad, el bajo costo y su relativa durabilidad. En contraste, se recomienda el uso de materiales biodegradables y de origen natural como el bambú, el corcho, el balsa u otras maderas livianas.

Los diseños HAF se basan en la construcción una balsa flotante con agujeros donde se colocan las plántulas en contacto con el agua. La estructura sirve como sustento o apoyo a la vegetación para mantenerla a flote y permitir que sus raíces prosperen dentro de la columna de agua (Figura 1).



Figura 1. Balsas flotantes, tomado de MacDonald et al. [18].

2.3 Selección de las especies para construcción del HAF

En los HAF, las plantas (*macrófitas*) se apoyan de un medio flotante, donde las raíces crecen directamente en el agua, similar a los sistemas hidropónicos. La figura 2 muestra los cuatro tipos de plantas que se utilizan en humedales: plantas emergentes, de hojas flotantes, flotantes y plantas sumergidas.

Algunas especies de plantas se utilizan con el fin de eliminar, destruir o secuestrar contaminantes del medio acuático, mediante el método conocido como *fitorremediación*. En los humedales artificiales, las plantas absorben y metabolizan los compuestos presentes en los desechos. Las especies utilizadas para estos tratamientos se seleccionan en función de sus propiedades como *evapotranspiración*, producción de enzimas, tasa de crecimiento y cosecha, profundidad y longitud de sus raíces y capacidad para bioacumular contaminantes.

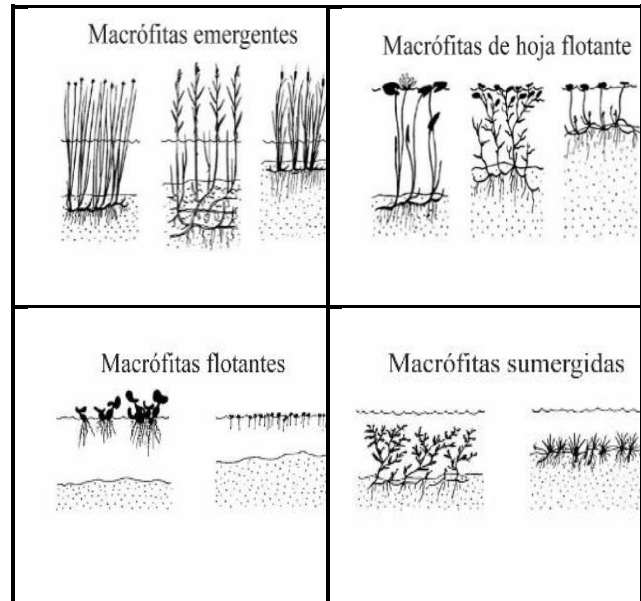


Figura 2. Tipos de macrófitas utilizadas en los HAF. Fuente [18].

La selección de especies vegetales también está relacionada al diseño del HAF, contaminante a tratar, disponibilidad y cantidad de especies, área de tratamiento e interés estético o comercial. Diversos estudios han reportados el uso de plantas (Tabla 1) para la remoción de nutrientes [7], [19], *fitodesalinización* [20], tratamientos secundarios previos a las descargas a los ríos [21], efluentes industriales y metales pesados [22]–[25].

El uso de especies nativas es sugerido debido a la facilidad de estas especies para adaptarse al medio, poseen valor ecosistémico (producción de semillas y frutos, refugio de animales, interacciones simbióticas u otras) y control natural (depredación por especies locales). En cambio, el uso de especies introducidas puede representar problemas ecológicos debido a la competencia por espacio y recursos, desplazamiento de flora y fauna autóctona y poco valor ecosistémico. Panamá, a pesar de contar con un inventario de flora extenso, requiere del estudio de especies con capacidades para la *fitorremediación*. Estos análisis no requieren gran esfuerzo ni mucha inversión y pueden apoyarse en las líneas base de investigación existentes.

Algunas especies de las familias Cyperaceae, Juncaceae, Pontederiaceae y Alismataceae han sido colectadas en el territorio panameño, según registros del Herbario de la Universidad de Panamá. En estas familias se incluyen numerosas especies que han demostrado su capacidad para la depuración de aguas; algunas, han sido utilizadas en otros países.

Tabla 1. Plantas utilizadas en la construcción de HAF

Planta (Familia: <i>Especies</i>)	Tipo de tratamiento	Autor, Fuente / año
Amaranthaceae: <i>Amaranthus retroflexus</i> [20]	Medicamento (Metformina)	Siahouei, R. et al., Caspian Journal of Environmental Sciences. 2020.
Araceae: <i>Lemna gibba</i> [26]	Aguas residuales (1,4-dioxano)	Osama, R. et al., Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021.
<i>Pistia stratiotes</i> [22], [23]	Arsenito (As _{III})	de Campos, F. et al., Ecological Indicators. 2019.
	Metales (iones de Cu, Fe y Hg)	Kumar, V. et al., Environmental Sustainability. 2019.
Alismataceae: <i>Alisma lanceolatum</i> [24]	Efluentes industriales (metales pesados)	Mustafa, H. & Hayder, G., Ain Shams Engineering Journal. 2021.
Cyperaceae: <i>Carex apressa</i> [27]	Escorrentía	Schwamberger, P., International journal of GEOMATE. 2017.
<i>Carex cuprina</i> [24]	Metales pesados	Mustafa, H. & Hayder, G., Ain Shams Engineering Journal. 2021
<i>Cyperus alternifolius</i> [20]	Atrazina, flúor	Siahouei, R. et al., Caspian Journal of Environmental Sciences. 2020.
Iridaceae: <i>Iris versicolor</i> [7]	Nitrógeno y sedimentos	McAndrew, B. et al., J. Nitrogen and Sediment 2016.
Juncaceae: <i>Juncus effusus</i> [7]	Nitrógeno y sedimentos	McAndrew, B. et al., J. Nitrogen and Sediment 2016.
Poaceae: <i>Brachiaria mutica</i> [28]	Aguas residuales	Ijaz, A. et al., Ecological Engineering. 2015.
<i>Bambusa vulgaris</i> [20]	Fitodesalinización	Siahouei, R. et al., Caspian Journal of Environmental Sciences. 2020.
<i>Phragmites australis</i> [25], [29]	Metales pesados	Huang, X., et al., BioMed Research International. 2017.
	Fenol	Saleem, H., et al., Saudi Journal of Biological Sciences. 2019
Pontederiaceae: <i>Eichhornia crassipes</i> [19]	Eutrofización	Auchterlonie, J. et al., South African Journal of Chemical Engineering. 2021.
Salviniaceae: <i>Salvinia molesta</i> [21]	Secundario: agua residual doméstica	Mustafa, H. & Hayder, G., Ain Shams Engineering Journal. 2021.

2.4 Eficiencia, rendimiento y monitoreo

La utilidad de los humedales artificiales, como es el caso de los humedales verticales y horizontales, es reconocida para el

tratamiento de aguas residuales domésticas con tratamiento o sin pretratamiento. Estas estructuras son eficientes para la reducción

de materia orgánica y nitratos (humedales de flujo horizontal); así como para la eliminación de amonio (humedales de flujo vertical).

Los HAF poseen ventajas y características que superan a los otros tipos de humedales para la *biorremediación* de aguas contaminadas. Entre éstas, sus bajos costos y alto rendimiento por área, que pueden ser contrastados contra el requerimiento de espacio de los humedales de tipo superficial y lo altos costos de construcción de los humedales de flujo horizontal y vertical. Otras ventajas de los HAF son: funcionan con luz solar, son fáciles de operar, requieren poco mantenimiento, son efectivos para remover coliformes fecales y tienen un gran potencial para la reutilización del agua y los nutrientes en sistemas lacustres.

Los sistemas de HAF se caracterizan por el desarrollo de plantas con largas raíces y rizomas que atraviesan la columna de agua. Esto brinda una mayor superficie para la colonización por bacterias (formación de biopelículas), microalgas, zooplancton y pequeños invertebrados [30]. Como resultado, el rendimiento por unidad de área es mayor comparado a otros sistemas de tratamiento.

La eficiencia de los HAF depende de características de diseño como tiempo de retención hidráulica, tiempo de carga, pH y temperatura; también depende de factores ambientales (clima, carga de contaminantes, *biodisponibilidad* de nutrientes, presencia de microorganismos, etc.) y factores propios de cada planta (edad, consumo de nutrientes, tasa de crecimiento, tasa de fotosíntesis, tipo de raíces, etc.).

Algunos estudios han demostrado que los HAF son capaces de reducir los sólidos totales un 81%, el nitrógeno total hasta un 34% y el fósforo total hasta un 19%; las tasas de remoción son altas en los rangos de temperaturas medias (22°C) a altas (35°C) [6]. Es por ello por lo que, considerando el clima de ciudad Panamá esta puede ser una alternativa interesante para remediar la calidad de un río urbano.

De igual forma, es posible aumentar el rendimiento en la remoción o transformación de contaminantes de un cuerpo de agua reforzando el sistema con tecnologías sencillas como la recirculación del efluente, aireación artificial, manejo de mareas, integración de lombrices de tierra, y otros organismos vivos [31]. Estos son métodos de bajo costo que pueden incluso combinarse con paneles solares para hacerlos autosostenibles.

En la tabla 2 se compara los costos y beneficios de los humedales artificiales y otros dos métodos de tratamientos de agua [32]. Los resultados demuestran que, aunque similares en efectividad, la mejor alternativa es el humedal, debido a que la superficie requerida y los costos generales de equipo, construcción, operación y mantenimiento son menores. Al obtener rendimientos similares o superiores con menor uso de recursos y energía, resulta más rentable que otros métodos de purificación; por lo que, también es altamente recomendado para países con limitaciones económicas o con problemas de adquisición de terrenos cercanos a la población, donde no resulta apta la construcción de otros tipos de estructuras [30].

Tabla 2. Comparación del rendimiento de humedales y otros métodos. Fuente: [32]

Características		Lodos activados	Laguna facultativa	Humedal
Superficie (m ² /hab.)		4-7	12-14	2.5-9
Costo de equipos		M	MP	MP
Salario del personal		M	P	P
Costo de construcción		M	P	MP
Costo de mantenimiento		M	P	P
Remoción (%)	DQO	50-85	50-85	55-80
	DBO	60-96	60-96	60-98
	SST	50-90	50-90	60-98
	N total	60-70	60-70	30-70
	P total	10-40	10-40	20-60
	Coliformes fecales	99-99.9	99-99.9	99-99.9
M=Mucho, P=Poco, MP=Muy Poco				

El seguimiento de los parámetros físicos y químicos del agua es importante para determinar la efectividad y rendimiento del sistema de HAF. Las líneas base existentes pueden servir como indicativo para medir la mejora de la calidad de agua post adaptación de los cultivos flotantes. Medir el consumo de nutrientes y contaminantes es esencial para determinar la eficiencia del humedal, así como el comportamiento de los cultivos (adaptación, crecimiento, toxicidad del medio, etc.). Se requiere el compromiso de las instituciones gubernamentales ambientales para la vigilancia y monitoreo tanto del HAF como de los cuerpos de agua. Es por ello por lo que se recomienda el seguimiento consecutivo de este índice en aquellos ríos en los que sean ubicados los sistemas de HAF. La mejora de la calidad puede ser calculada mediante la comparación de mediciones aguas arriba y aguas abajo del humedal flotante.

El marco legal de referencia para los parámetros que es necesario contemplar en Panamá y que describen el grado de calidad de las aguas superficiales, lo brinda el Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008 "Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo" [33].

En cuanto a la metodología de análisis de los parámetros contaminantes, se utiliza generalmente la metodología para el cálculo del ICA como descrita en el Informe de Monitoreo de la Calidad de Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá [4]. Los análisis de laboratorio requieren de los métodos estandarizados compilados en el libro "Standard Methods for

Examination of Water and Wastewater” una guía utilizada para armonizar las pruebas de laboratorio a nivel mundial.

3. Conclusión

El saneamiento de los ríos es indispensable para minimizar los riesgos a la salud y mejorar la calidad de vida urbana. En la ciudad, la totalidad de los cuerpos de agua se encuentra contaminada, esta condición afecta ecosistemas, salud y paisajes y el valor económico del servicio ecosistémico que pudiera brindarse a la población en general, de ser recuperados estos ambientes y paisajes.

Panamá se caracteriza por ser un país con gran riqueza hídrica. Sin embargo, a excepción de la construcción de plantas de tratamiento y el uso generalizado de lagunas de estabilización, no se cuenta con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales ni con propuestas alternativas dirigidas a la recuperación de los recursos hídricos.

El rápido desarrollo del país y el crecimiento demográfico justifica la implementación de programas tecnológicos que protejan los recursos y la biodiversidad. Los HAF constituyen una alternativa ecológica, sostenible y eficaz para, puntualmente, iniciar un programa de recuperación de ríos urbanos y lagos.

A pesar de tratarse de sistemas desconocidos para Panamá, no representan un reto económico, político, social o legal para su implementación. El humedal flotante no requiere construcciones complejas, su fabricación es barata y rápida, de poco mantenimiento, con un funcionamiento sencillo. El sistema es compatible con los cuerpos de agua (ríos urbanos, quebradas, lagos) de la ciudad de Panamá. Los humedales tienen buena aceptación pública ya que son estéticos y reverdecen el entorno en que se instalen convirtiéndose en pequeños ecosistemas para la vida silvestre.

Se desconocen impactos negativos que se generen de la implementación de HAF. Los HAF pueden ser diseñados por profesionales de las ingenierías, jardineros y arquitectos paisajistas para embellecer los cuerpos de agua. Panamá posee, además, la ventaja de contar con las condiciones climáticas apropiadas y con una amplia variedad de flora disponible para su implementación.

Finalmente, se puede afirmar que la aplicación potencial de los sistemas HAF constituye una alternativa conveniente y una alternativa no aprovechada aún para un tratamiento de los cuerpos hídricos de la ciudad de Panamá. La selección de las especies purificadoras y sus combinaciones es muy flexible y se adapta de acuerdo con los parámetros de contaminación del agua a tratar. Las plantas especialistas con características fisiológicas específicas que pueden aprovecharse para una remediación son especies autóctonas y de fácil manejo.

4. Recomendaciones

Una vez expuestas las ventajas de los humedales artificiales flotantes, recomendamos que se consideren como alternativas a los tratamientos más costosos de aguas superficiales contaminadas como ríos, lagos y quebradas afluentes de ríos. Los humedales flotantes pueden ser combinados y adicionados a los métodos convencionales de tratamiento de aguas contaminadas,

mejorando su rendimiento al mismo tiempo que reducen la tasa de evaporación del espejo del agua.

Es necesario conducir estudios piloto con especies de las familias mencionadas en la Tabla 1 en algún río urbano contaminado y de bajo caudal como el río Matasnillo, para comprobar la eficacia de la medida. De igual manera, establecer puntos dentro de la ciudad donde su implementación ayude significativamente a mejorar el paisaje.

Consideramos importante promover el estudio más profundo de las propiedades depurativas de la flora panameña en cuanto a la *fitorremediación* a través de proyectos piloto en secciones escogidas de los ríos urbanos que pueden ser llevados desde la academia como apoyo a la labor del Ministerio de Ambiente. A partir de estas experiencias, se pueden elaborar guías con las especies típicas de nuestra flora y establecer programas de capacitación para el tratamiento de varios contaminantes presentes en el agua, incluidos los metales pesados.

Es importante divulgar y poner a consideración de las autoridades municipales y alcaldías las bondades de la instalación de humedales flotantes y la creación de puestos de trabajo para el personal que construya, establezca y mantenga el HAF. Eventualmente, se puede considerar incrementar su popularidad como alternativa verde a través de incentivos fiscales; ya que, además de mejorar la calidad de las aguas y la creación de ecosistemas en miniatura beneficiara la fauna y redundará en beneficios para el valor económico y paisajístico de sitios donde se apliquen.

Referencias

- [1] E. D. y K. B. José Fábrega, Elsa Flores, Manuel Zárate, Miroslava Morán, Denise Delvalle, Argentina Ying, Marilyn Diéguez, “Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades,” in *IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias*, no. February, 2019, pp. 501–532.
- [2] A. website, “AQUASTAT - FAO’s Information System on Water and Agriculture,” *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. 2016.
- [3] UNESCO, *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. 2017.
- [4] Autoridad Nacional del Ambiente, “Informe de Monitoreo de la Calidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá: Compendio de Resultados Años 2002-2008.” p. 636, 2009.
- [5] U. Molina, “http://impresa.prensa.com/panorama/Verificaran-calidad-rios-quebradas_0_4723777597.html,” *La Prensa online*, Panama, 2017.
- [6] N. Skoulikidis, Th. N. Pavlineri, and V. A. Tsihrintzis, “Constructed Floating Wetlands: state-of-the-art and potential application in a Greek fluvial ecosystem,” *Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας*, pp. 2010–2013, 2015.
- [7] B. McAndrew, C. Ahn, and J. Spooner, “Nitrogen and sediment capture of a floating treatment wetland on an urban stormwater retention pond-The case of the rain project,” *Sustain.*, vol. 8, no. 10, 2016.
- [8] S. Salimi and M. Scholz, “Impact of future climate scenarios on peatland and constructed wetland water quality: A mesocosm experiment within climate chambers,” *J. Environ. Manage.*, vol. 289, p. 112459, Jul. 2021.
- [9] M. Licata, M. Cristina Gennaro, T. I. Tuttolomondo, C. Leto, and S. La Bella, “Research focusing on plant performance in constructed wetlands and agronomic application of treated wastewater – A set of experimental studies in Sicily (Italy),” 2019.
- [10] T. Saeed, B. Paul, R. Afrin, A. Al-Muyeed, and G. Sun, “Floating constructed wetland for the treatment of polluted river water: A pilot

- scale study on seasonal variation and shock load," *Chem. Eng. J.*, vol. 287, pp. 62–73, 2016.
- [11] L. Zhu, Z. Li, and T. Ketola, "Biomass accumulations and nutrient uptake of plants cultivated on artificial floating beds in chinas rural area," *Ecol. Eng.*, vol. 37, no. 10, pp. 1460–1466, 2011.
- [12] D. Q. Zhang, K. B. S. N. Jinadasa, R. M. Gersberg, Y. Liu, W. J. Ng, and S. K. Tan, "Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries - A review of recent developments (2000-2013)," *Journal of Environmental Management*, vol. 141. Academic Press, pp. 116–131, Aug-2014.
- [13] M. Wang, D. Q. Zhang, J. W. Dong, and S. K. Tan, "Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review," *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 57. Chinese Academy of Sciences, pp. 293–311, Jul-2017.
- [14] ETESA, "Pronóstico de Precipitación para el mes de noviembre Monitoreo de los Fenómenos de Variabilidad Climática." Panamá, p. 12, 2018.
- [15] Programa Saneamiento de Panamá, "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá." [Online]. Available: <https://saneamientodepanama.gob.pa/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-ciudad-de-panama/>.
- [16] M. M. M. José R. Fábrega D. and y P. L. Argentina Ying, Casilda Saavedra, Berta Olmedo, *Aguas Urbanas. Panamá*. 2015.
- [17] Ministerio de Ambiente, *Informe de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de Panama. 2009-2012*. 2019.
- [18] D. MacDonald, C. Walker, T. Lucke, R. Flipp, K. Covey, and P. Shadforth, "Floating wetland treatment systems in residential development: assessing the benefits for residents, local authorities, and developers," *Strat. Sociol. économiques/Economic Sociol. Asp.*, pp. 1–4, 2016.
- [19] J. Auchterlonie, C. L. Eden, and C. Sheridan, "The phytoremediation potential of water hyacinth: A case study from Hartbeespoort Dam, South Africa," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 37, pp. 31–36, Jul. 2021.
- [20] R. A. Siahouei, M. Zaeimdar, R. Moogouei, and S. A. Jozi, "Potential of cyperus alternifolius, amaranthus retroflexus, closia cristata and bambusa vulgaris to phytoremediate emerging contaminants and phytodesalination; insight to floating beds technology," *Casp. J. Environ. Sci.*, vol. 18, no. 4, pp. 309–317, 2020.
- [21] H. M. Mustafa and G. Hayder, "Cultivation of *S. molesta* plants for phytoremediation of secondary treated domestic wastewater," *Ain Shams Eng. J.*, Apr. 2021.
- [22] V. Kumar, J. Singh, A. Saini, and P. Kumar, "Phytoremediation of copper, iron and mercury from aqueous solution by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.)," *Environ. Sustain.*, vol. 2, no. 1, pp. 55–65, 2019.
- [23] F. V. de Campos, J. A. de Oliveira, A. A. da Silva, C. Ribeiro, and F. dos Santos Famese, "Phytoremediation of arsenite-contaminated environments: is *Pistia stratiotes* L. a useful tool?," *Ecol. Indic.*, vol. 104, no. May, pp. 794–801, 2019.
- [24] H. M. Mustafa and G. Hayder, "Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1. Ain Shams University, pp. 355–365, 01-Mar-2021.
- [25] X. Huang, F. Zhao, G. Yu, C. Song, Z. Geng, and P. Zhuang, "Removal of Cu, Zn, Pb, and Cr from Yangtze Estuary Using the *Phragmites australis* Artificial Floating Wetlands," *Biomed Res. Int.*, vol. 2017, pp. 1–10, 2017.
- [26] R. Osama, H. M. Awad, S. Zha, F. Meng, and A. Tawfik, "Greenhouse gases emissions from duckweed pond system treating polyester resin wastewater containing 1,4-dioxane and heavy metals," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 207, p. 111253, Jan. 2021.
- [27] P. Schwammberger, C. Walker, and T. Lucke, "Using floating wetland treatment systems to reduce stormwater pollution from urban developments," *Int. J. GEOMATE*, vol. 12, no. 31, pp. 45–50, 2017.
- [28] A. Ijaz, G. Shabir, Q. M. Khan, and M. Afzal, "Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands," *Ecol. Eng.*, vol. 84, no. August, pp. 58–66, 2015.
- [29] H. Saleem, M. Arslan, K. Rehman, R. Tahseen, and M. Afzal, "Phragmites australis — a helophytic grass — can establish successful partnership with phenol-degrading bacteria in a floating treatment wetland," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 26, no. 6, pp. 1179–1186, Sep. 2019.
- [30] K. Rehman, A. Ijaz, M. Arslan, and M. Afzal, "Floating treatment wetlands as biological buoyant filters for wastewater reclamation," *Int. J. Phytoremediation*, vol. 21, no. 13, pp. 1273–1289, 2019.
- [31] H. Wu *et al.*, "A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation," *Bioresour. Technol.*, vol. 175, pp. 594–601, 2015.
- [32] M. E. Haro González and N. O. Aponte Hernández, "Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular," Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- [33] Gaceta Oficial Asamblea Legislativa, *Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008*. Panamá: Gaceta Oficial de la Republica de Panama, 2008, p. <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26078/116>.

Acción del microambiente sobre el concreto reforzado

Alda Cedeño de Sánchez ^{a,b} , Cecilio Hernández ¹ , Fidedigna Ortiz de Vergara ¹ , Jesús Alberto Villar ¹ 

¹Universidad Tecnológica de Panamá

¹{alda.cedeno, cecilio.hernandez, fidedigna.vergara, jesus.villar}@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v13.1.2545



Resumen: *En las construcciones de concreto reforzado es importante realizar estudios a fin de que el concreto y el acero trabajen en conjunto ofreciendo durabilidad a la edificación. La presente investigación se centra en el estudio de la corrosión del refuerzo en losas de concreto expuestas a la agresión atmosférica y ambiental de 3 sitios característicos en Panamá. Se utilizaron métodos de evaluación fisicoquímicos, medición de potencial de corrosión de media celda y análisis de imágenes ópticas con estero microscopio. El experimento tuvo una duración de 1.5 años. Los resultados se presentan en tablas e imágenes estero microscópicas que evidencian los daños del ambiente local sobre los especímenes de muestra.*

Palabras clave: *capa pasiva, corrosión, Estero microscopio, impurezas en el concreto.*

Title: Action of the microenvironment on reinforced concrete.

Abstract: In reinforced concrete constructions it is important to carry out studies so that concrete and steel work together offering durability to the building. This research focuses on the study of reinforcement corrosion on concrete slabs exposed to atmospheric aggression and environmental from 3 characteristic sites in Panama. Physicochemical evaluation methods, measurement of medium-cell corrosion potential and analysis of optical images with stereo microscope were used. The experiment lasted 1.5 years. The results are presented in microscopic tables and stereo images that show local environmental damage to sample specimens.

Key words: passive layer, corrosion, stereo microscope, impurities in concrete.

Tipo de artículo: investigación.

Fecha de recepción: 9 de mayo de 2020.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

Los materiales de construcción son importantes en el desarrollo de un país en lo que a infraestructura se refiere. El acero de refuerzo hace que ambos materiales trabajen en conjunto. Si la edificación se ubica en un ambiente urbano y/o marino la corrosión de la armadura puede ocurrir ocasionando un problema muy complejo a solucionar para asegurar la integridad de los usuarios y disminuir los costos en reparación y mantenimiento [1]. Si la calidad del concreto es buena y posee el recubrimiento adecuado los efectos del ambiente sobre la armadura deben ser despreciables [2], aun así, las edificaciones presentan deterioro, en particular en climas tropicales. En base al problema expuesto, el objetivo es proponer ensayos básicos cuya información pudiese ser suficiente en la determinación de las causales de daños originados por el ambiente a temprana edad en la edificación, probablemente sugieran que se requieran otros de mayor nivel técnico. Se plantea en la presente investigación el uso de técnicas de caracterización fisicoquímica, en particular el pH, los niveles de cloruros, la medición de potencial de media celda y análisis de la morfología de la superficie del concreto por microscopía óptica. Todos permiten la obtención de la información de manera rápida y técnicamente muy simplificado.

2. Antecedentes

El estado del acero de refuerzo es un factor que contribuye a la durabilidad de edificaciones de concreto armado.

Uno de los medios promotores de corrosión son los gases atmosféricos que involucran la combustión de carbón o petróleo y gases industriales. Este proceso puede ocurrir en ambiente seco como húmedo con humedad relativa del ambiente igual o mayor que 70% [3]. Los daños por corrosión del acero embebido dependerán de varios factores como: las condiciones climáticas, contaminantes, calidad y recubrimiento del hormigón, y relación agua/cemento [4]. La corrosión electroquímica es la más común en los metales. Consiste en la pérdida de electrones de los átomos para convertirse en iones, frecuentemente, tiene lugar en un medio acuoso: en agua, tierra o aire húmedo creando un circuito eléctrico denominado celda electroquímica compuesta por un ánodo, cátodo, medio de contacto y un electrolito. La ionización de los átomos del metal o ánodo ocurren por la reacción de oxidación en éste. La tendencia de un metal a ceder sus electrones se determina midiendo la diferencia de potencial entre el metal y un electrodo estándar de media celda cuando se abre el circuito. Si el potencial es negativo, el metal tiene una tendencia a ceder electrones o se comporta como ánodo, si es positivo el metal se comporta como cátodo. Cuánto más negativo es el resultado, el metal es electropositivo o tiene alta tendencia a la reacción de oxidación [5].

Durante el proceso de hidratación la pasta de cemento del concreto induce una capa protectora en la superficie del acero llamada capa pasiva provocada por las especies alcalinas KOH , NaOH y $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Esta capa es reforzada por el pH alcalino que se alcanza después del proceso de hidratación que lo protege químicamente. Pero, el contacto de las estructuras con el entorno afecta la capa protectora del acero permitiendo el ataque por agentes agresivos, principalmente el cloruro proveniente de medios marinos y la carbonatación que procede de zonas industriales [6]. La corrosión por iones de cloruro se manifiesta por el óxido formado por la disminución de la sección del acero de refuerzo ejerciendo presión al concreto creando fisuras que desaparecen la adherencia del conjunto concreto-acero. La norma ASTM C- 876 presenta un procedimiento para evaluar la corrosión potencial del acero de refuerzo del concreto, a través del potencial de media celda, y en donde se establece que para niveles de potencial mayores a -120 mV hay sólo un 10% de probabilidad que ocurra corrosión en el acero, mientras que para valores menores a -270 mV, la probabilidad aumenta a 90%. En el rango de -120 mV a -270 mV se concibe una región de incertidumbre [7].

Por otro lado, la reacción agregado-álcali es un fenómeno que contribuye en el proceso de la corrosión del acero de refuerzo. Esta reacción ocurre en presencia de tres factores: los compuestos químicos dióxido de sodio (Na_2O) y dióxido de potasio (K_2O), los cuales pueden proceder del agua de diseño, del cemento, de los agregados, de aditivos o del entorno de exposición del concreto, y aunado a una humedad relativa entre 80–85% y altas temperaturas, intensifica su acción. Para determinar la reacción agregado-álcali en su etapa inicial, se puede hacer uso de la norma ASTM C 856 efectuando un examen petrográfico del concreto, con la ayuda de un estereomicroscopio [8].

3. Materiales y métodos:

La investigación es experimental, sin manipulación de las condiciones de muestreo. Se manufacturaron 12 losas de concreto reforzada en ambas direcciones. Por sus dimensiones, distancia y tiempo entre los sitios de monitoreo y mano de obra el tipo de muestra es no probabilística [9].

El concreto se dosificó por el método de volumen absoluto según ACI 211, como sigue: Concreto expuesto a humedad en ambiente con presencia de cloruros y sulfatos. La resistencia a la compresión especificada es de 280 kg/cm^2 (4000 lb/pulg^2). El revenimiento entre 25mm y 75mm. Se utilizó un agregado grueso de 25mm, bien graduado, con masa específica relativa seca de 2.68, absorción de 0.5%. El cemento utilizado fue un tipo HE (alta resistencia inicial), con masa específica relativa de 3.0. Se efectuó la mezcla sin aditivos y sin aire incluido. El Agregado fino: arena presenta una masa específica relativa de 2.64%, absorción de 0.7% y módulo de finura de 2.8. Se utilizó agua potable y una relación agua-cemento igual a 0.4. Las dimensiones de las losas eran de: 0.6 m X 0.6 m X 0.15 m.

El curado de las muestras duró 31 días y el monitoreo fue desde tres sitios de la República de Panamá por presentar diferentes características atmosféricas que podrían suministrar los elementos necesarios para una celda electroquímica y promover la corrosión naturalmente. El primer sitio escogido fue Tocumen, Provincia de Panamá, por la cantidad de vehículos (automóviles y aviones), industrias y su cercanía al Océano

Pacífico. El segundo sitio fue Sherman, en la Provincia de Colón en el que la circulación de vehículos es menor que en la estación anterior, pero existe el paso de los buques que transitan por el Canal de Panamá y está próximo al mar Caribe. La particularidad de la estación Sherman es su altísima concentración de cloruro atmosférico, lo cual es ocasionado por el choque de las olas en el rompeolas localizado en dicho sitio La tercera estación fue Coclé porque presenta el crecimiento de edificios de mediana altura, vientos fuertes, cercanía al Océano Pacífico, tránsito constante de vehículos y la presencia de algunas industrias.

Las muestras consistieron en losas reforzadas en ambas direcciones con acero 1/2, 5/8, 3/4, y 7/8 de pulgadas de diámetro, grado 40 y recubrimiento de 7cm. Para propiciar el proceso de oxidación se dejaron los extremos de las barras expuestas. Los excedentes de acero fueron pintados con antioxidante antes de colocarlos en los sitios de monitoreo y cada losa fue colocada separada 6 pulgadas del suelo. En la figura 1 se presenta una imagen de la losa obtenida luego de su proceso de fabricación, con la disposición del acero de refuerzo para estudio.



Figura 1. Ubicación de losas en sitios de monitoreo

Los ensayos de potencial de corrosión de media celda se presentan a 1.5 años de exposición. En la figura 2 se da un ejemplo de la ejecución del método sobre la losa de concreto. La medición se hace sobre diferentes áreas de los especímenes, determinando la diferencia de potencial eléctrico entre el acero expuesto de la armadura y el electrodo de referencia colocado en la superficie de cada losa de hormigón. Para garantizar el buen contacto se humedece la superficie, el polo positivo se conecta a las armaduras y el negativo o de referencia sobre la superficie del concreto.



Figura 2. Medición del potencial de corrosión sobre las losas

Las muestras se prepararon a partir de núcleos de concreto de dos pulgadas de diámetro para el desarrollo de los ensayos químicos y petrográfico. A estos se le hicieron cuatro cortes o capas, de unos centímetros, desde la superficie hacia el interior resultando 48 especímenes preparados y 16 evaluados, que representan a los testigos en cuatro estaciones con entornos ambientales diferentes afectados por 1.5 años.

Para el análisis de cloruros, se utilizó la norma ASTM C1218 y por titulación, el pH se determinó con la ayuda de un medidor multiparámetros. Para evaluar el potencial de media celda se utilizó un medidor de potencial marca Humbolt, modelo H-2872. En la petrografía se utilizó un estereomicroscopio Accu-Scope.

4. Resultado y discusión

Los resultados de la determinación de cloruros (%Cl) y pH de los constituyentes de concreto, se presentan en la tabla 1. Los ensayos se efectuaron de acuerdo con la norma ASTM C 1218. Todos los valores son relativamente bajos y en el mismo orden de magnitud.

Tabla 1. Cloruros y pH de los componentes del concreto.

	Agua	Arena	Agregado	Cemento
pH	7.0	7.0	7.0	11.0
%Cl	0.0071	0.0071	0.0035	0.0035

En vista que se trata de un diseño propio, se conoce los niveles de contenido de cemento en el concreto y podemos ponderar de manera aproximada las contribuciones de cloruros de todos los constituyentes, lo cual un valor de 0.005% respecto a la masa de cemento del diseño, el cual es bajo respecto a los niveles cloruros permitido de 0,15% respecto a la masa del cemento (rmc) del concreto reforzado, es de 0.020%, de acuerdo con la norma ACI 318.

El contenido de cloruros, a 1.5 años de exposición, en las 3 estaciones, se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. %Cl y pH de las losas expuestas 1.5 años en ambiente natural.

Muestra	%Cl	pH
Control 1	0.008	12,12
Control 2	0.006	12,52
Control 3	0.006	12,59
Control 4	0.004	12,57
Coclé 1	0.007	11,57
Coclé 2	0.008	12,54
Coclé 3	0.006	12,54
Coclé 4	0.005	12,26
Tocumen 1	0.012	11,43
Tocumen 2	0.009	12,57
Tocumen 3	0.006	12,56
Tocumen 4	0.008	12,55
Sherman 1	0.044	11,93
Sherman 2	0.053	12,50
Sherman 3	0.019	12,61
Sherman 4	0.028	12,58

Los especímenes de Control, Tocumen y Coclé presentan niveles de cloruros en el mismo orden de magnitud, próximo a 0.16% (rmc), lo cual sigue siendo bajo de acuerdo con la ACI 318 (0.15%). Mientras que para Sherman los valores son muy elevados 0.2% (rmc)

En Sherman las capas más externas y expuestas (1,2) presentan mayores niveles de cloruros (aproximadamente 0.16% (rmc), respecto a las capas más internas (capa 3 y 4), con aproximadamente 0,08% (rmc). Esto refleja el complejo proceso de movilidad de las especies solubles, como los cloruros en una estructura porosa y altamente afectada por el medioambiente, como el concreto. Dicho comportamiento es característico al perfil de afectación por cloruros en el hormigón [10]. Parte del cloruro que penetra al hormigón reacciona con los componentes de hidratación del cemento, el resto queda libre, y penetra hasta zonas más profundas, pudiendo ocasionar corrosión en el acero de refuerzo.

En la tabla 1, se presenta, además, los resultados de pH hasta 1.5 años. En todos los tipos de ambientes, incluyendo el control, se observa la misma conducta: la muestra más expuesta, la más externa presenta menor pH, respecto a las capas más profundas en el mismo periodo. Sin embargo, se observa diferencias leves: En Coclé y Tocumen el pH de la capa externa disminuye casi una unidad de pH respecto a las capas más profundas, mientras en el Control sólo es 0.4 unidades de pH. En Sherman la disminución es de 0.6 unidades de pH. Esto refleja un mayor efecto del CO₂ sobre las capas externas del concreto de Tocumen y Coclé, que cuentan con alta actividad vehicular respecto de Sherman, y por ende están afectados por el efecto de la carbonatación [11]. Todo indica que la protección natural contra la corrosión suministrada por la disminución del pH a través del tiempo puede perderse.

En la tabla 3 se presenta los resultados de potencial de corrosión, según la norma ASTM C- 876, obtenidos de los especímenes con 1.5 años de exposición en las 3 estaciones estudiadas.

Tabla 3. Medición de potencial, 1.5 años de exposición en ambiente natural.

No.	Control	Coclé	Tocumen	Sherman
1	-16.0	-78.8	-89.7	-188.6
2	-30.5	-70.3	-60.6	-165.8
3	32.9	-75.3	-65.9	-167.8
4	-50.9	-54.7	-95.7	-201.7
5	-40.3	-72.3	-95.4	-159.9
6	-51.7	-75.9	-97.2	-147.7
7	-58.8	-72.0	-65.7	-185.2
8	-57.8	-64.5	-67.1	-182.3
9	-41.1	-76.0	-87.1	-156.3
10	-56.7	-77.5	-87.4	-144.6
11	-46.5	-76.7	-93.3	-152.4
12	-55.3	-83.6	-95.5	-177.3

Se observa que las losas de Control, Coclé, y Tocumen (sector Pacífico), presentaron valores de potencial de corrosión mayores a -120 mV, lo cual indica que existe un 10% de probabilidad que ocurra corrosión, es decir son sitios con menor agresividad relativa. Mientras que la losa de Sherman (sector Atlántico), exhibió valores de potencial de corrosión en el rango de -165 mV a -188.6 mV, o se encuentran en la zona de -120 mV a -270 mV, dicho de otra manera, están en el rango de incertidumbre, en otras palabras, dependiendo de otros factores puede incrementarse o limitarse la corrosión del acero de refuerzo. Sin embargo, los niveles de potencial de Sherman a 1.5 años de exposición, son aproximadamente 10 veces superiores a los de Tocumen y Coclé, lo cual ya se trata de un hecho significativo y se correlacionan de manera directa a los alto niveles de cloruros del medio ambiente de Sherman y por ende en los niveles de cloruros presentes en la estructura de concreto en todas las capas evaluadas, esto es un indicio de que el acero de refuerzo ya debe estar en un proceso de corrosión activa, y por la calidad de la unión hormigón-acero pueden estar comprometida porque el potencial electroquímico del acero de refuerzo está relacionado con la cantidad de oxígeno que alcanza la superficie del acero y promover la corrosión [10].

Los resultados de los ensayos petrográficos con la ayuda del estereomicroscopio y en base a ASTM C856, para un 1 año de exposición se presenta desde la figura 4 hasta la 7:



Figura 4. Hallazgos de daños, muestra control, un año de exposición ambiental.

La figura 4 corresponde al Control, donde son evidentes los siguientes defectos: (1) inicio de la reacción agregado-álcalis, (2) poros irregulares de gran tamaño, (3) poros en el agregado, (4) impurezas o inicio de reacción agregado álcali, (5) interfase concreto agregado irregular, (6) presencia de pasta sobre los poros del agregado, (7) vidrio volcánico sobre el agregado.

En la figura 5 se presenta el espécimen de Coclé, la cual exhibe: (1) poros grandes regulares y limpios, (2) poros regulares pequeños limpios, (3) inicio de la reacción agregado álcalis o impurezas, (4) fisuras sobre el agregado e inicio de la reacción agregado álcalis, (5) impurezas.

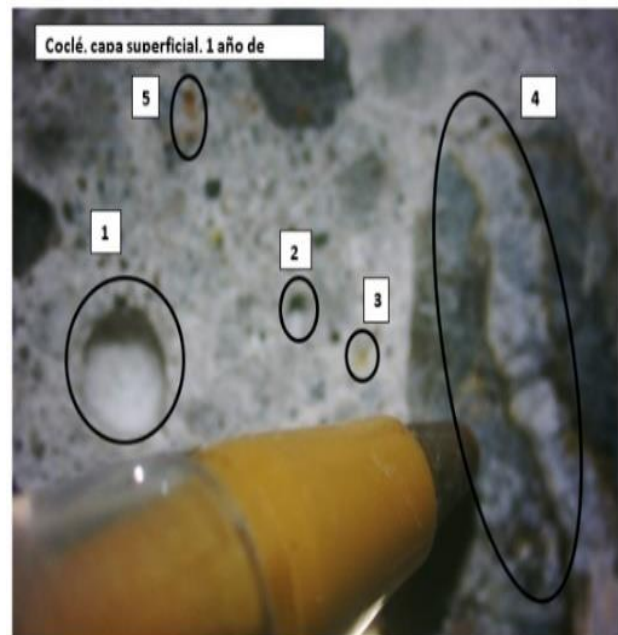


Figura 5. Hallazgos de daños, muestra Coclé, un año de exposición ambiental.

La muestra Tocumen aparece en la figura 6, y se observa lo siguiente: (1) pasta sobre los poros del agregado, (2) poros pequeños limpios, (3) inicio de la reacción agregado álcali, (4) vidrio volcánico sobre el agregado, (5) poros sobre el agregado. En la periferia de la muestra puede observarse la degradación de la superficie respecto a la pasta en su interior.

Por otro lado, la figura 7 se refiere a la estación Sherman: (1) porosidad por pérdida de material en la superficie, (2) una superficie con textura degradada y clara presencia de impurezas, (3) fisuras, (4) inicio de reacción agregado álcalis.

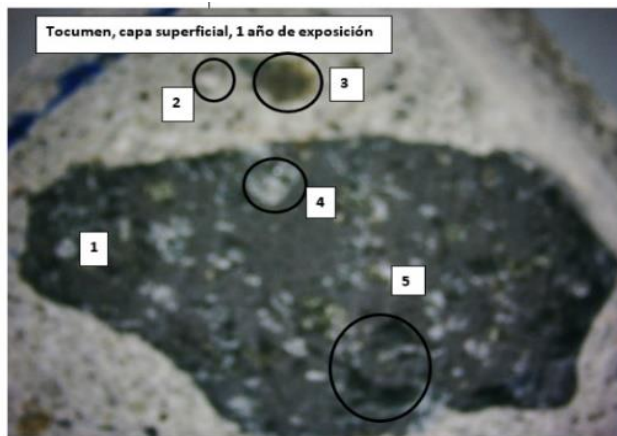


Figura 6. Hallazgos de daños, muestra Tocumen, un año de exposición ambiental.

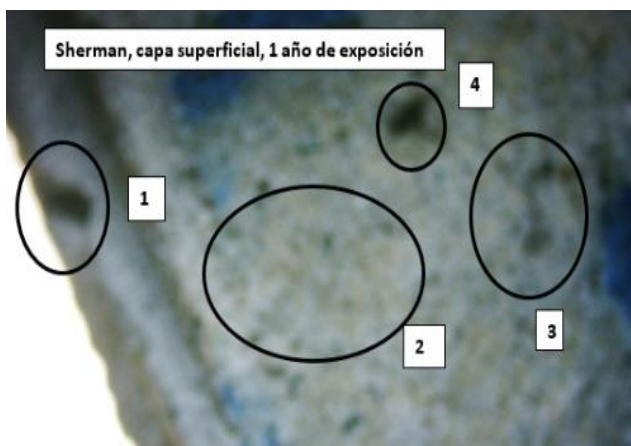


Figura 7. Hallazgos de daños, muestra Sherman, un año de exposición ambiental.

Los resultados de los ensayos petrográficos a 1.5 años de exposición se presentan desde la figura 8 a la 11:

En la figura 8 se presenta el Control, en la cual es evidente una superficie con fisuras (1), (2) y (3) e impurezas en su superficie.

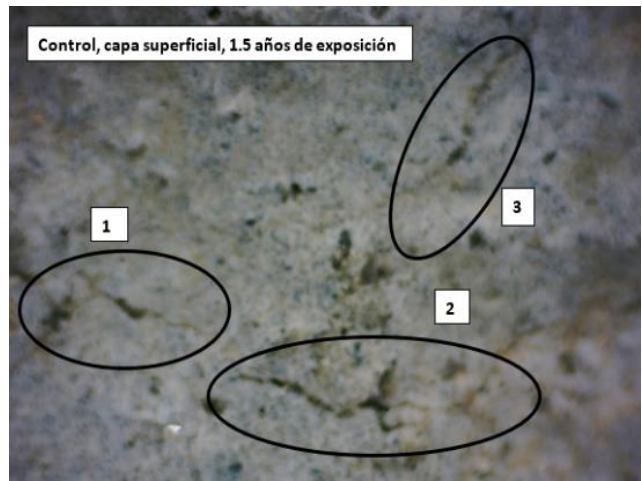


Figura 8. Hallazgos de daños, muestra control, 1.5 años de exposición ambiental.

El espécimen de Coclé presenta en la figura 9, en donde son evidentes ciertos cambios, tales como: (1) inicio de reacción agregado álcalis, (2) y (3) cambio de color y consistencia del agregado o avance de la reacción agregado álcali, (4) interfase agregado concreto irregular, pero intacta o sin afectación.

Como se observa en la figura 10, Tocumen presenta los siguientes defectos: (1) inicio de reacción agregado álcali, (2) impurezas o agregado reactivo, (3) fisura, (4) poros pequeños por pérdida de material, (4) poros grandes limpios, (6) fisuras.

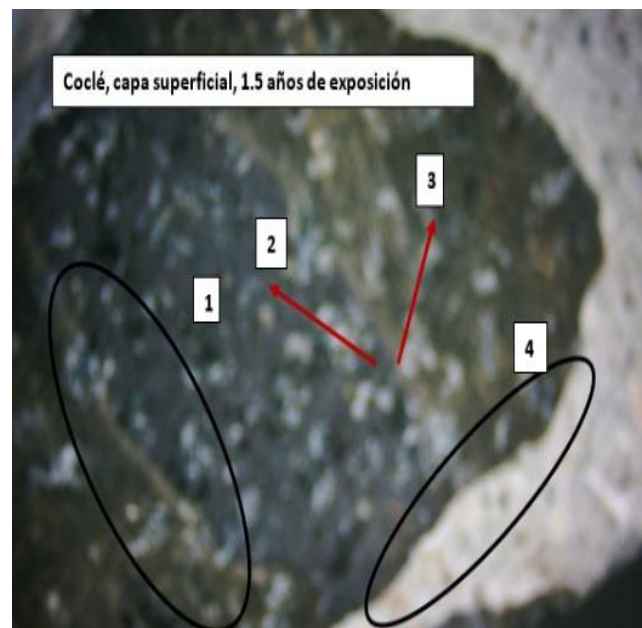


Figura 9. Hallazgos de daños, muestra Coclé, 1.5 años de exposición ambiental.

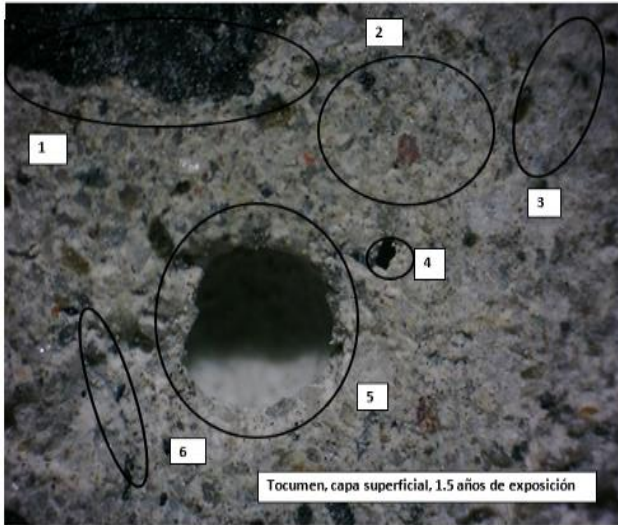


Figura 10. Hallazgo de daños, muestra Tocumen, 1.5 años después de exposición ambiental.

La figura 11 se observa el espécimen de Sherman, con evidencias de deterioro, tales como: (1) superficie invadida de impurezas, (2) poros por pérdida de material, evidencia de la reacción agregado álcalis, (3) poros pequeños limpios.

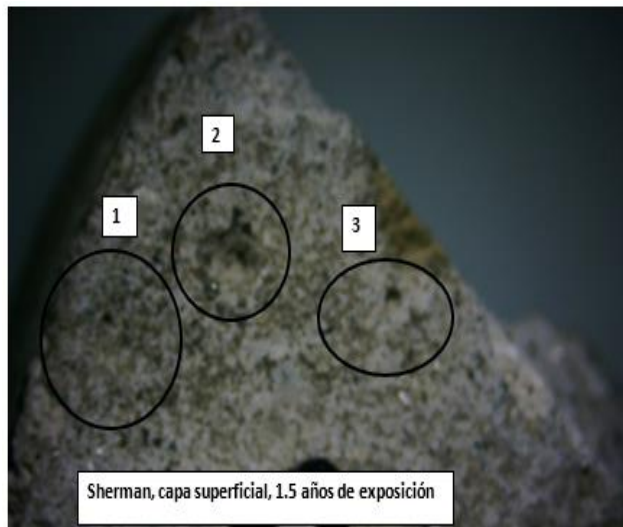


Figura 11. Hallazgos de daños, muestra Sherman, 1.5 años de exposición ambiental.

En general, en el interior o capas 2, 3 y 4 de cada losa se observa una matriz en buen estado indicativo de una buena relación agua cemento. La relación de microporos grandes a pequeños observada en las 48 muestras es de 1 a 3, lo cual es un indicio de la permeabilidad del conjunto por la interconexión de microporos. Los agregados gruesos presentaron poros, pero se ha reportado que los que aportan más a la permeabilidad son los poros de la pasta. Recordando que los agregados representan $\frac{3}{4}$ partes del volumen del concreto, es muy posible esperar que contribuirán a la permeabilidad del concreto y por

ende a bajar la resistencia de este. Esta técnica nos permite ver el avance de meteorización en el agregado, las fracturas en él, el contacto con la pasta de cemento y si existe indicios de geles hidratados [12], [13].

Conclusión

Los ensayos practicados permitieron evaluar preliminarmente la susceptibilidad del concreto reforzado frente los contaminantes del ambiente.

Los poros de los agregados y la pasta de cemento son pequeños, pero pueden albergar partículas de gel de silicio que hacen daño al concreto.

Los cloruros han podido penetrar a la matriz de concreto y movilizarse gracias a los poros existente en el concreto hasta la capa 2 en donde se han presentado cambios en el pH y en la concentración de cloruros. Sin embargo, la relación agua-cemento utilizada de 0.4, el tipo de cemento HE, el recubrimiento y el tiempo de curado han protegido a las losas de concreto como lo demuestran los resultados de cloruro y pH en las capas interiores en 1.5 años de exposición en ambientes agresivos. Todo indica que la protección natural contra la corrosión suministrada por la disminución del pH a través del tiempo puede perderse.

Indicios de la reacción agregado álcali pueden ser investigados en forma rápida y sencilla monitoreando la estructura o haciendo un ensayo técnico de petrografía con estereomicroscopio desde 1.5 años de construcción. Esta técnica nos permite ver el avance de meteorización en el agregado, las fracturas en él, el contacto con la pasta de cemento y si existe indicios de geles hidratados.

Se recomienda estudios complejos posteriores sobre el mismo tema iniciando con las muestras de Sherman o sector Atlántico por presentar la más alta afectación, seguidos por las muestras de Tocumen o las del área del Pacífico y por último las de la región central del país o Coclé.

Agradecimiento

Agradecemos a los siguientes colaboradores de LABAICA: Lic. Mario Altamirano y Técnico José M. Pérez, así como al Ing. Josué Pazmiño, del Laboratorio de Ensayos de Materiales, del Centro Experimental de Ingeniería (CEI) de la Universidad Tecnológica de Panamá, por su apoyo en el desarrollo de los ensayos y preparación de las muestras del trabajo.

De la misma forma, reconocemos a la Universidad Tecnológica de Panamá el apoyo suministrado en poner a disposición el equipamiento, capacidad técnica y experiencia, para ser utilizado en la presente investigación.

Referencias

- [1] A. Castañeda, M. Rodríguez, "Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado", Revista CENIC, Vol. 45, pp. 52-59, 2014.
- [2] M. Ramón, T. Pérez, F. Corvo, A. Torres, O. Tronconis, "Estudio del deterioro de Especímenes de concreto armado expuestos a 300 m de la costa Campeche, México", Revista CENIC, vol. 46, pp. 81-89, 2015
- [3] R. Marrero, A. Zelaya, "Evaluation of Corrosion Problems on Pipelines of a Hydroelectric Power Station", REDALYC, vol. XXXIV, PP. 5-12, Abril 2014.

- [4] D. Fernández, A. Castañeda, "Estudio de la corrosión atmosférica en el Puerto de Mariel de Cuba", Rev. CENIC, vol.46, pp.47-59, 2015.
- [5] D. Askeland, P. Fulay, and W. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, sexta edición, CENGAGE Learning, México, Traducido y publicado, 2013.
- [6] J. Guerrero, H. Montoya, M. De La Cruz, "Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a ambiente ácido", Rev. Ciencia Cierta, No.46, jun. 2016.
- [7] W. Aperador, J. Bautista, A. Delgado, "Monitoreo de la corrosión de aceros embebidos en concretos obtenidos a partir de subproductos industriales", Scielo, vol. 24, pp. 55-66, 2013.
- [8] C. Bedoya, J. Tobón, J. Monsalve, C. Palacios, "Evaluación de patologías en el concreto usando microscopía óptica", Research Gate, vol. 80, no.2, diciembre 2016. <http://doi:10.23850/22565035.491>
- [9] A. Porras V., "Tipos de muestreo", Centro de Investigación en Geografía y Geomática (CONACYT), México, p 2-6, 2017.
- [10] A. M. Aguirre, R. Mejía de Gutiérrez, "Durability of Reinforced Concrete Exposed to Aggressive Conditions", *Materiales de Construcción*, Vol. 63, pp. 7-38, enero-marzo 2013.
- [11] J. Carrillo, J. Cárdenas, W. Aperador, "Effect of Chloride ion on the compressive mechanical properties of RC-65/35-BN steel fiber reinforced concrete", *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 33, no 2, 2145-9371 (online), 2015. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.33.2.7075>
- [12] J. Giraldo, R. Pérez, "Concreto Bajo El Microscopio, Petrografía: Ciencia Aplicada al Estudio Del Concreto y sus materias primas", Asociación Colombiana de Productos de Concreto, Available: <https://docplayer.es/64753055-Petrografia-concreto-ba-jo-el-microscopio-ciencia-aplicada-al-estudio-del-concreto-y-sus-materias-primas.html>
- [13] L. M. Vélez, "Permeabilidad y Porosidad en Concreto", Rev. Tecnológicas No. 25, pp. 169-187, diciembre de 2010.

Importancia de la implementación de geoparques en Panamá: Proyecto Geoparque Puente de las Américas

Tisla de Destro^{a1} , Rita Rodríguez¹ , Ernesto Martínez^{b1} , Hillary Sandoval¹ , Judith Sánchez¹ 

¹Universidad Tecnológica de Panamá

¹Grupo de investigación: Propuesta de Geoparque Puente de las Américas,

¹(tisla.destro, rita.rodriguez1, ernesto.martinez, hillary.sandoval; Judith.

Sánchez;.)@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v13.1.2993



Resumen: *El Programa Internacional de Geociencias y Geoparques, de la UNESCO, reconoce el valor excepcional que tiene el conocimiento de la ciencia geológica en el uso de los recursos de la tierra para el mantenimiento de nuestra sociedad, prevención de desastres naturales, cambio climático, riesgos geológicos y el interés que éste despierta en los turistas. Considera oportuno unir el conocimiento geológico a otros valores naturales, ecológicos y culturales para potenciar un desarrollo económico sostenible en el plano local, en base a todos los subproductos que genera el turismo: empleos y nuevas actividades económicas vinculadas. En este contexto, Panamá es un país con una geología muy particular que despierta el interés de la comunidad internacional, considerando su surgimiento como uno de los principales acontecimientos geológicos de los últimos 60 millones de años. El presente trabajo compila información relevante referente a los geoparques, con el objetivo de identificar, analizar y divulgar los conocimientos geológicos generados por las investigaciones científicas para que el valor de los sitios de las regiones dentro del área de estudio se reconozca, concluyendo que el potencial para el desarrollo sostenible de este territorio cuenta con suficiente evidencias para el estudio del surgimiento del istmo de Panamá y comprobando que se requiere impulsar el desarrollo sostenible de las comunidades que conforman el mismo, siendo un geoparque una herramienta para lograr estos objetivos.*

Palabras clave: desarrollo sostenible, geositio, geoturismo.

Title: Importance of the implementation of geoparks in Panama: Bridge of the Americas Geopark Project

Abstract: UNESCO's International Geosciences and Geoparks Program recognizes the exceptional value that knowledge of

geological science has in the use of earth resources for the maintenance of our society, prevention of natural disasters, climate change, geological risks. and the interest it arouses in tourists. It considers it appropriate to unite geological knowledge with other natural, ecological and cultural values to promote sustainable economic development at the local level, based on all the by-products generated by tourism: jobs and new related economic activities. In this context, Panama is a country with a very particular geology that arouses the interest of the international community, considering its emergence as one of the main geological events of the last 60 million years. This work compiles relevant information regarding geoparks, with the aim of identifying, analyzing and disseminating the geological knowledge generated by scientific research so that the value of the sites of the regions within the study area is recognized, concluding that the potential For the sustainable development of this, this territory has enough evidence to study the emergence of the Isthmus of Panama and proving that it is necessary to promote the sustainable development of the communities that make up it, being a geopark a tool to achieve these objectives.

Key words: *sustainable development, geosite, geotourism.*

Tipo de artículo: revisión.

Fecha de recepción: 4 de marzo de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) define los geoparques como territorios con límites bien definidos y una superficie apropiada para permitir un verdadero desarrollo socioeconómico. Debe abarcar un determinado número de sitios geológicos de importancia científica, rareza y belleza, que sean representativos de una región y de su historia geológica. El atractivo geológico de estos sitios se complementa con los intereses ecológicos, arqueológicos, históricos, culturales o paisajísticos [1].

Estos territorios estimulan un desarrollo socioeconómico de manera sostenible, principalmente en las regiones rurales, dándole importancia a todos los patrimonios que poseen y promoviendo un concepto holístico de educación, protección, respeto y educación del medio ambiente.

Al interno de las comunidades se estimula la creación de empresas locales innovadoras, de nuevos trabajos y cursos de formación de alta calidad, a medida que se generan nuevas fuentes de ingresos a través del geoturismo, protegiendo al mismo tiempo los recursos geológicos del área. [2]

En 1999, dentro de la UNESCO, nace el Programa de Geoparques según el documento Unesco 156 EX/11. En el año 2000, surge la Red Europea de los Geoparques y en noviembre de 2010 se proclaman los principios básicos para la conformación de la Red de Geoparques Mundiales de la UNESCO para América Latina y El Caribe.

Actualmente, tienen el reconocimiento de la UNESCO 169 geoparques repartidos en 44 países de todo el mundo. En nuestra región, América latina, contamos con 8 geoparques: Areripe

(Brasil), Grutas del Palacio (Uruguay), Mixteca Alta (México), Comarca Minera (México), Imbabura (Ecuador), Colca y Volcanes de Andagüa (Perú), Kutralcura (Chile). Rio Coco (Nicaragua) [3].

Muchos países están observando los beneficios que éste nuevo producto genera. Son las universidades las instituciones que en mayor medida se han interesado de desarrollar este concepto.

El Proyecto Geoparque Puente de las Américas trata de inculcar la importancia que tiene el conocimiento de la ciencia geológica en el uso de los recursos de la tierra reconociendo así, que Panamá es un país con una geología sobresaliente.

2. Aspectos importantes sobre los geoparques

Al realizar estudios para el desarrollo de un proyecto de geoparques se deben rescatar aspectos a considerar dentro del área geográfica. Los impulsores de esta iniciativa deben tener claros: los lineamientos, los propósitos de este tipo de territorios, las actividades a desarrollar e impulsar dentro del área y los beneficios al territorio.

2.1 Propósito de los geoparques

Durante la 38ª reunión de la Conferencia General de la UNESCO, realizada en noviembre de 2015, los Estados aprobaron los estatutos del nuevo "Programa Internacional de Geociencias y Geoparques - IGGP". En este estatuto se indica que el Programa Internacional de Geoparques Mundiales de la UNESCO como laboratorios para el desarrollo sostenible que promueven el reconocimiento y la gestión del patrimonio de la Tierra y la sostenibilidad de las comunidades locales [4].

El propósito fundamental de los Geoparques Mundiales de la UNESCO es contar la historia de 4.600 millones de años del planeta Tierra y de los acontecimientos geológicos que le dieron forma, así como la evolución de la humanidad misma. No sólo muestran evidencia de los cambios climáticos y geomorfológicos del pasado, sino que también informan a las comunidades locales de los desafíos actuales y las ayudan a prepararse para riesgos tales como terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas [4].

Dentro de estas áreas se busca aumentar la conciencia de la geodiversidad y promover las mejores prácticas de protección, educación y turismo sostenible; para que, al sumarse con el Patrimonio Mundial y las Reservas de la Biosfera, contribuyan en la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Cabe señalar que dentro de los geoparques se promueve el desarrollo de ocho, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): fin de la pobreza, educación de calidad, igualdad de género, trabajo decente y crecimiento económico, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsable, acción por el clima, alianza para el logro de los objetivos. Por ello, sus actividades buscan el desarrollo sostenible de las comunidades rurales de la región, entendiendo con esto que los esfuerzos de crear los geoparques se deben ver reflejados en mejoras de las comunidades rurales involucradas; considerando un incremento en la visibilidad del territorio, rescate e incremento de trabajos de investigación de diversas áreas, y principalmente los aumentos representativos en el turismo y los ingresos de los habitantes de las regiones.

2.2 Actividades realizadas dentro de los geoparques

Dentro de las áreas reconocidas como geoparques, se pueden realizar diversas actividades para desarrollo económico del sitio, conservación, concientización, cuidado del ambiente, educación, entre otras que promueven un desarrollo sostenible.

Entre las actividades desarrolladas por territorios que ostentan este reconocimiento a nivel mundial se pueden resaltar los siguientes conceptos.

Geoturismo: dentro de los territorios que se promueven como geoparques, una de las principales actividades que se buscan desarrollar es el Geoturismo que corresponde a un concepto innovador que, según Toártelo, (2009), director del *National Geographic for Sustainable Destination*, se define como aquel que está basado en las características geográficas de un lugar. Es un turismo que sostiene o enriquece el carácter geográfico de un lugar y su ambiente, patrimonio, estética, cultura y el bienestar de sus habitantes. El geoturismo resalta la relación entre el turismo y el sentido del lugar [5], en este sentido busca atraer a un turista que esté interesado en experimentar un turismo vivencial donde aprenda y comparta la cultura del lugar, sus costumbres, tradiciones y actividades propias de una comunidad sin cambiar la esencia de sus habitantes. Es por ello, que se le debe dar mucha importancia a los patrimonios culturales inmateriales como los bailes congos que se muestran en la figura 1.



Figura 1. Cultura viva. los geoparques fomentan la importancia de la cultura del lugar.

Fuente: prensa.com

En este mismo sentido tenemos que para Hose (2000), este tipo de turismo ha ido tomando forma en los últimos años, y es entendido como viajar con el objeto de experimentar, aprender y disfrutar el patrimonio de la Tierra como se muestra en la figura 2, es decir, se le permite al visitante conocer y disfrutar el patrimonio geológico, así como fomentar y estimular actitudes favorables para su conservación [5].



Figura 2. Geoturismo. Actividades desarrolladas en el Proyecto Geoparque Puente de las Américas en el geosito La India Dormida.

Una muestra de este tipo de actividades son las giras que pueden realizarse a lugares como La India dormida en El Valle de Antón, donde la caminata, buena vista y clima agradable se puede complementar con la historia geológica y la importancia del sitio.

Cuando se indica que es un turismo sustentable hace referencia directa en un tipo de actividad que tiene como objetivo la conservación de los recursos naturales, en el caso del Geoturismo estos recursos son el patrimonio geológico, considerando su relación directa con el ambiente y la biodiversidad. Es por ello, que se fomentan actividades como senderismo, ciclismo, entre otras que son del disfrute de las personas, pero son de un bajo impacto a la naturaleza figura 3.



Figura 3. Ciclismo de montaña en La Yeguada, ejemplo de geoturismo.
Fuente: John Flores.

Promoción de la Geoeducación: al ser un sitio administrado por las personas de la comunidad y por su enfoque de abajo hacia arriba, dentro de los geoparques se incentiva y se apuesta por la Geoeducación (figura 4 y 5); considerando que todos los habitantes de la región son los responsables de describir y entender los fenómenos geológicos que se presentan en cada geosito. Esto, a su vez, brinda la reapropiación de su pasado geológico e impulsa el cuidado y preservación de los sitios de importancia geológica.



Figura 4. Actividades de geoeducación. Actividad del Proyecto Geoparque desarrollando habilidades de observación en Geosito de la Caldera del Valle de Antón.



Figura 5. Geoeducación. Conversatorio en el Valle de Antón: Usemos la Ciencia para el desarrollo del turismo sostenible (29 de marzo de 2019).

Investigación Científica: dentro de estos territorios se incentiva el uso de conocimientos científicos producidos mediante investigaciones científicas y el desarrollo permanente de nuevas investigaciones científicas de diversos tipos (geológicas, culturales, arqueológicas, ambientales, entre otras). Se busca el estudio del lugar para conocer su evolución a través del tiempo; y abarca temas como calentamiento global, cambio climático, peligros de deslizamientos o volcánicos para de esta forma crear conciencia y tener planes de contingencia. Inclusive, existen geositos solo dedicados a la investigación científica del área, dándole un espacio para el uso exclusivo de los investigadores como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Fomento de la investigación. Gira para exploración geoquímica de la zona de Remance, mayo 2019.

Subproductos del Geoturismo: además de potenciar el turismo y la ocupación hotelera en los diversos lugares, estos sitios buscan la comercialización de artesanías propias del lugar, venta de alimentos, frutas, cafés y otros productos naturales y/o artesanales. Entre estos productos resaltan los que son propios

de la región, ver figura 7, que mantienen tradiciones o se han pasado a través de las generaciones y han formado la identidad del territorio; en Panamá, si consideramos solo el patrimonio gastronómico encontramos productos como: la raspadura, manjar blanco, plantintá, suspiro, que forman parte de esa tradición e historia de cada región.



Figura 7. Turismo vivencial: como hacer raspadura (actividades que pueden fomentarse dentro del territorio). Subproducto venta de raspaduras en Coclé.

2.3 Beneficios al territorio

Todos los esfuerzos de crear estas zonas se deben ver reflejados en mejoras de las comunidades involucradas; considerando un incremento en la visibilidad del territorio, aumento de trabajos de investigación de diversas áreas, crecimiento del cuidado del medio ambiente y principalmente los aumentos representativos en el turismo y los ingresos de los habitantes de las regiones.

Desde el punto de vista del turismo, según algunas investigaciones realizadas por diversos autores, se ha verificado un aumento en este rubro al momento de la instalación de un geoparque. En nuestra región, se puede considerar los casos de Uruguay y Brasil. El turismo en estos países alrededor de los geoparques creció el primer año de funcionamiento un 1,6% y luego un 1% anual [6].

Un país referencia, por la cantidad de geoparques inscritos, es China, quien ostenta 41. En estudios realizados sobre este aspecto se puede observar que solo el desarrollo del Parque Yuntaishan permitió la creación de 30,000 empleos directos y 220,000 indirectos para finales de 2004 y la provincia de Jiazou, donde se localiza el Geoparque Yuntaishan, recibió a 8,5 millones de turistas (17 veces más que en 1999), lo que permitió incrementar el Producto Interno Bruto (PIB) de la municipalidad en 7% con respecto de 1999. Esto nos indica, que este tipo de desarrollos traen beneficios económicos a la región y es una forma de aumentar el turismo de manera sostenible con mucho respeto hacia la naturaleza [7].



Figura 8. Yuntaishan UNESCO Geoparque Global, China. Fuente: <http://www.unesco.org>.

Otro país muy activo en los temas de geoparques es España, el cual es uno de los miembros fundadores de la Red de Geoparques de Europa, según las noticias del Geoparque Sobrarbe Pirineos hasta el 2014. Tomando en consideración 6 años desde que se abrió este espacio, lo han visitado 64,223 turistas y en el último año (2014) el incremento en visitas eran un 2%, aumentando las visitas de los turistas extranjeros [8].

3. Metodología

En el siguiente apartado se detalla la metodología que se ha empleado para la evaluación de la delimitación del territorio y el análisis de los potenciales geositios; basado en la investigación científica disponible, la experiencia de otros territorios y los lineamientos establecidos por la Red Mundial de Geoparques.

3.1 Metodología para la definición del territorio del geoparque

Para la definición del territorio, se identificó el patrimonio geológico de valor internacional en el istmo de Panamá, basado en las investigaciones científicas y siguiendo las Directrices y criterios indicados por la Red Mundial de Geoparques (GGN); en temas del tamaño y el entorno:

- Ser un área con límites claramente definidos y un área lo suficientemente grande que pueda servir al desarrollo económico y cultural local [9].
- Presentar un conjunto de sitios de importancia geológica internacional, regional y/o nacional, la historia geológica de una región y los acontecimientos y procesos que la formaron. Los sitios pueden ser importantes desde el punto de vista científico, educativo, rareza y/o estética [9].
- Tener en cuenta todo el entorno geográfico de la región, y no sólo incluir los lugares de importancia geológica; considerar sitios de importancia ecológica, arqueológica, histórica y cultural [9].

3.2 Metodología para la evaluación de geositios

Para el análisis de los geositios se utiliza una metodología, basada en la propuesta del libro *Patrimônio Geológico y conservação* de José Brilha en el 2005 ver figura 9. Un macroproceso que se establece como una revisión cualitativa, una evaluación cuantitativa y finalmente la redacción de la caracterización del geositios.



Figura 9. Metodología para descripción de geositios.

La evaluación cualitativa se estableció siguiendo una revisión de manera subjetiva para cada geositio de sus valores intrínsecos (científico, didácticos, ecológico, cultural, económico, estético y su interés geológico), potencial de uso (accesibilidad, visibilidad, otros valores culturales o naturales, uso actual de la zona y obstáculos para su aprovechamiento) y protección (vulnerabilidad, deterioro, protección) siguiendo lo establecido por Brilha y el trabajo de tesis: Diseño de un modelo para crear un Geoparque en el Valle de Antón.

Tabla 1. Evaluación cualitativa.

Inventario y Evaluación Cualitativa de los Geositios				
DATOS GENERALES				
NOMBRE		EVALUADOR		
UBICACIÓN				
REGION	PROVINCIA	CORREGIMIENTOS	LUGARES POBLADOS PROXIMOS	
COORDENADAS		ALTITUD		
DIMENSIÓN				
VALORIZACIÓN				
VALOR INTRÍNSECO				
Científico		Cultural		
Didáctico		Económico		
Ecológico		Estético		
Interés Geológico				
Volcánico	Geomorfológico	Tectónico	Geoquímico	*
Fluvial	Hidrogeológico	Mineralógico	Geocultural	
Lacustre	Estratigráfico	Petroológico	Otros*	
POTENCIAL DE USO				
ACCESIBILIDAD		TIPO DE CALLE		
DISTANCIA DEL LUGAR PROPUESTO AL PUNTO MAS PRÓXIMO DE ACCESO SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO		CONDICIÓN		
		BUS		metros
		TAXI		metros
		VEHICULO		metros
		TODO TERRENO		metros
OTROS VALORES CULTURALES/ NATURALES DE LA ZONA*				
LA ZONA SE UTILIZA ACTUALMENTE				
OBSTÁCULOS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL SITIO				
VISIBILIDAD				
PROTECCIÓN				
VULNERABILIDAD				
DETERIORO				
PROTECCIÓN		TIPO		
SITUACIÓN ADMINISTRATIVA ACTUAL				
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES				
DESCRIPCIÓN				
PUNTOS DE INTERÉS				
FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA				

Con este análisis se busca determinar si el geositio posee suficiente potencial para desarrollar basado en su valor intrínseco y así continuar con la siguiente etapa. La ponderación mínima ha sido establecida en ocho puntos, este valor fue el resultado de los análisis y consideraciones de las investigaciones previas sobre las metodologías de evaluación.

La evaluación cuantitativa se realiza de manera sistemática para lograr una comparación y selección final de cuáles serán los geositios en el Geoparque, en base a la información científica y potencial de cada geositio y determinar además si posee un valor internacional, regional o local. De esta manera, se obtiene el ranking de geositios que serán utilizado para crear rutas y planes de geoturismo y geoconservación para la implantación final del geoparque. Para llegar a este ranking, el valor final de cada geositio puede resultar de una media simple de los tres conjuntos de criterios o de una media ponderada, privilegiando cierto conjunto de criterios. Refiérase a "(1)" y "(2)".

Los cuadros de criterios de evaluación utilizados para la evaluación cuantitativa fueron adaptados a partir de los indicados por Brilha en el 2005, considerando las condiciones geológicas, políticas, ambientales y sociales de Panamá y se dividen de la siguiente forma:

- Criterios intrínsecos del potencial geositios.
- Criterio relacionado a la potencialidad de uso del lugar seleccionado.
- Criterios relacionados a la necesidad de protección del potencial geositio.

Para que un geositio tenga un valor internacional, debe cumplir con los siguientes parámetros: A.1 ≥ 3; A.2 ≥ 4; A.3 ≥ 3; A.9 ≥ 3 y B.1 ≥ 3; B.2 ≥ 3. Una vez se cuente con la clasificación, se calcula el valor final (Q) de cada geositio y se obtiene una tabla organizada según grado de importancia [10].

Las fórmulas utilizadas para calcular el valor final (Q) según su grado de relevancia. Refiérase "(1)" y "(2)".

- Local o Regional: media aritmética simple de las tres clases de parámetros

$$Q = \frac{A+B+C}{3} \quad (1)$$

- Internacional: media ponderada colocándole más importancia a los criterios de los parámetros A y C.

$$Q = \frac{2A+B+1.5C}{3} \quad (2)$$

A partir de los geositios evaluados y que cuentan con suficiente valor se deben desarrollar las caracterizaciones, en la siguiente etapa de la investigación.

4. Resultados

A nivel global los geoparques apoyados en la geología brindan un desarrollo sostenible a las regiones donde se promueven, buscando principalmente dar un aporte para el futuro de la región, tanto económico como social, enfocados en las comunidades rurales. Existen países que han fomentado el

desarrollo de esta herramienta de gestión del patrimonio, ostentando varios geoparques certificados; como ejemplo de estos territorios se puede mencionar: China, España e Italia.

En nuestra región, América Latina y el Caribe, las iniciativas de geoparques iniciaron hace algunos años, logrando concretar el primer territorio declarado como oficial, el Geoparque Mundial Areripe en el año 2006 en Brasil; seguido por el Geoparque Mundial Grutas del Palacio en Uruguay en el año 2013; los geoparques de México reconocidos en el 2017: Geoparque Mundial Mixteca Alta y Geoparque Mundial Comarca Minera; en el 2019 la región recibió tres certificaciones: el Geoparque Mundial Imbabura (Ecuador), el Geoparque Mundial Colca y Volcanes de Andagua (Perú) y el Geoparque Mundial Kutralcura (Chile). Y en el año 2020 se une al listado de la UNESCO el Geoparque Mundial Río Coco en Nicaragua [3]. Otros países vienen desarrollando iniciativas orientadas a este mecanismo de gestión del territorio y proponiendo nuevos proyectos. La importancia de estos se refleja en la creación de la Red de Geoparques Mundiales de la UNESCO para América Latina y el Caribe (Red GeoLAC) en el año 2017, promoviendo el trabajo en redes y el apoyo en la región, enfocados principalmente en temas de desarrollo sostenible, educación, gestiones eficientes, entre otros.

A nivel de Panamá, para la evaluación del patrimonio geológico de valor internacional que podía poseer un territorio, se procedió a realizar una revisión literaria partiendo del enunciando: **“la formación del Istmo de Panamá es considerado como el acontecimiento geológico más importante de los últimos sesenta millones de años”** [11]. La historia geológica de Panamá es muy rica y variada, el impacto del surgimiento del istmo de Panamá para convertirse en el “Puente de las Américas”, desató una cadena de eventos de magnitud global, como lo fue el Gran Intercambio Americano; el cambio de la dirección de corrientes oceánicas, la alteración profunda del clima de Europa, la clausura de los periodos glaciales, entre otros [12], [13], [14]. Estos eventos hacen que este istmo sea geológicamente privilegiado con una gran biodiversidad natural y por su posición global estratégica en un país con amplio valor cultural e histórico [13], [15]. Este argumento y otras “curiosidades geológicas” descubiertas mediante investigaciones geológicas precedentes, son evidencias que sustentan que el Patrimonio Geológico del istmo de Panamá es importante en el contexto científico mundial. Ver figura 10.



Figura 10. Ubicación de la Propuesta de Geoparque Puente de las Américas.

En este contexto geológico y como parte del Arco Circumpacífico, este istmo registra en su memoria geológica los efectos dejados por la dinámica de formación del arco isla, característica en las zonas de convergencia tectónica [13], [14], [16]. Además, algunas de las importantes formaciones de origen sedimentario poseen un alto potencial paleontológico cuyos fósiles corresponden a invertebrados, vertebrados y plantas que sustentan las diferentes fases de evolución biológica como consecuencia de cambios a los que estuvo sometido este istmo a través de la historia geológica. Gran cantidad de investigaciones científicas relacionadas especialmente con la paleontología son base para la sustentación de las teorías sobre el origen y los cambios a los que fue sometido este istmo [17], [18], [19]. Según el estudio realizado basado en el Mapa geológico de Panamá este territorio posee formaciones geológicas con edades de cuatro periodos: Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

El polígono que se ha analizado posee las características para conformar el “Proyecto Geoparque Puente de las Américas”, incluye 1210600 hectáreas (12,106 km²) comprendidas por la zona del Complejo Volcánico de El Valle, Complejo Volcánico Chitra Calobre y la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, ver figura 11, donde se evidencian parte de la historia geológica del istmo con límites definido, ya sea por límites políticos de los corregimientos o áreas protegidas. El sitio propuesto para este proyecto se ubica al interno de este polígono y está compuesto por parte de las provincias de Veraguas, Coclé, Panamá Oeste, Panamá y Colón, con 18 distritos.

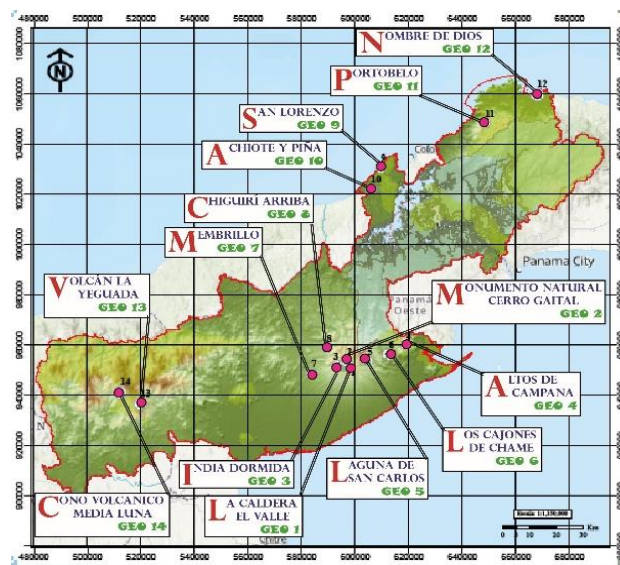


Figura 11. Polígono de la Propuesta de Geoparque Puente de las Américas y geositos estudiados.

En esta área se ha realizado el estudio de 14 geositos, ver figura 11, que cuentan con suficiente potencial para el geoturismo, programas de geoducción, desarrollo de investigación científica en diferentes disciplinas, generación de geoproductos y con importancia dentro de la historia geológica que involucra el surgimiento del istmo que unió a Las Américas, ver tabla 2.

Tabla 2 Relación entre los geositios con actividades identificadas y el interés geológico

Geositios propuesto	Interés Geológico	Actividades relacionadas
La caldera El Valle	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, lacustre, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, geocultural, estratigráfico	Geoturismo Geoeducación Investigación científica Geoproductos
Monumento Natural Cerro Gaital	Volcánico, tectónico, fluvial, lacustre, petrológico, geomorfológico, hidrogeológico, estratigráfico	Geoturismo Geoeducación. Investigación científica.
La India Dormida	Volcánico, tectónico, fluvial, petrológico, geomorfológico, hidrogeológico, estratigráfico	
Campana y Trinidad	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, geocultural, estratigráfico	
Laguna de San Carlos y Cerro El Picacho	Volcánico, tectónico, lacustre, petrológico, geomorfológico, hidrogeológico, estratigráfico	
Los Cajones de Chame	Volcánico, tectónico, fluvial, petrológico, geomorfológico, geoquímico, estratigráfico	
Piedra Jabón	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, geocultural, estratigráfico	Geoturismo Geoeducación Investigación científica Geoproductos
Chiguirí Arriba	Volcánico, tectónico, fluvial, petrológico, geomorfológico, hidrogeológico, geocultural,	Geoturismo Geoeducación Investigación científica
San Lorenzo	Fluvial, petrológico, geomorfológico, hidrogeológico, geocultural, estratigráfico	
Achiote y Piña	Fluvial, petrológico, hidrogeológico, estratigráfico	
Portobelo	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geocultural, estratigráfico	
Nombre De Dios	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, estratigráfico	
Volcán La Yeguada	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, geocultural, estratigráfico	Geoturismo Geoeducación Investigación científica Geoproductos
Cono Volcánico Media Luna	Volcánico, tectónico, fluvial, mineralógico, petrológico, geomorfológico, geoquímico, hidrogeológico, estratigráfico	

Estos 14 geositios son el resultado de la evaluación cualitativa cuyo estudio indica que posee un valor intrínseco mayor a ocho de acuerdo con los requisitos establecido, ver tabla 3.

Para definir la valorización de cada geositios se realizó mediante la evaluación cuantitativa determinando que siete geositios poseen un valor internacional y los otros siete poseen

valor local o regional, estos resultados de la evaluación cualitativa y cuantitativa se muestran en la tabla 3.

El análisis del área ha incluido la identificación de aspectos importantes para complementar el valor geológico que posee el territorio como la identificación de los siguientes sitios de interés:

- 14 áreas protegidas: parques naturales, monumentos naturales, entre otros; con diferentes niveles de protección (estatales, municipales).
- Dos patrimonios culturales inmateriales de la UNESCO: Expresiones rituales y festivas de la cultura Congo y Procedimientos y técnicas artesanales de obtención de fibras vegetales para talcos, pintas y crinejas del sombrero pintao.

- Un sitio Patrimonio de la Humanidad: Fortificación de la Costa Caribe de Panamá: San Lorenzo y Portobelo. En análisis sobre complementariedad y sujeta a obtención de la autorización de los órganos competentes nacionales de dichas iniciativas antes de presentar la solicitud de aplicación según estatutos de los Geoparques Mundiales [9].
- 643 centros educativos de diversos niveles escolares, donde se podrían impartir programas de Geoeducación.
- 6 fincas agroturísticas certificadas ATP- MIDA.
- 14 museos y centros de visitantes.

Tabla 3. Resultados de evaluación cualitativa y cuantitativa de los geositios que cumplen con las especificaciones

Id	Geositios propuesto	Distrito de ubicación	Evaluación cualitativa													Evaluación cuantitativa				
			Científico	Ecológico	Cultural	Estético/paisajístico	Valor intrínseco	Accesibilidad	Visibilidad	Otros valores	Potencial de uso	Deterioro	Vulnerabilidad	Necesidad de protección	Puntaje total	Criterio (A)	Criterio (B)	Criterio (C)	Relevancia*	Valor final (Q)
1	La caldera El Valle	Antón	4	4	4	4	16	4	4	1	9	1	1	2	27	54	48	21	I	62.50
2	Monumento Natural Cerro Gaital	Antón	4	4	1	4	13	2	4	1	7	1	1	2	22	51	43	19	I	57.83
3	La India Dormida	Antón	3	4	4	4	15	2	4	1	7	1	1	2	24	53	45	21	I	60.83
4	Campana y Trinidad	Capira	4	4	1	4	13	4	4	1	9	1	1	2	24	52	37	18	I	56.00
5	Laguna de San Carlos y Cerro El Picacho	San Carlos	2	3	0	4	9	4	4	1	9	1	1	2	20	42	39	19	Lo R	33.33
6	Los Cajones de Chame	Chame	3	3	1	4	11	2	3	1	6	1	2	3	20	45	35	17	Lo R	32.33
7	Piedra Jabón	Penonomé	4	4	3	3	14	2	4	1	7	1	2	3	24	48	40	21	Lo R	36.33
8	Chiguirí Arriba	Penonomé	3	3	3	4	13	3	2	1	6	1	1	2	21	48	43	21	Lo R	37.33
9	San Lorenzo	Colón	4	4	4	4	16	2	4	1	7	1	1	2	25	51	47	21	I	60.17
10	Achiote y Piña	Chagres	4	4	2	2	12	3	4	1	8	2	1	3	23	50	42	15	I	54.83
11	Portobelo	Portobelo	3	4	4	4	15	2	3	1	6	1	2	3	24	48	41	18	Lo R	35.67
12	Nombre De Dios	Santa Isabel	3	3	3	4	13	0	4	1	5	1	2	3	21	53	31	12	Lo R	32.00
13	Volcán La Yeguada	Calobre	4	3	3	4	14	3	4	1	8	1	2	3	25	46	38	19	I	52.83
14	Cono Volcánico Media Luna	Calobre	4	3	1	3	11	2	4	1	7	1	2	3	21	43	34	21	Lo R	32.67

Relevancia: "I"= internacional "L o R"= local o regional

Basado en la extensión del territorio, se busca contribuir a la agenda 2030, y aumentar la conciencia de la geodiversidad, mediante la promoción de investigaciones científicas y su divulgación, de esta forma exaltar mejores prácticas de conservación, geoturismo y desarrollo sostenible; siendo un complemento a las otras áreas protegidas y Patrimonios de la Humanidad presentes en el territorio y que no limita el desarrollo de las actividades económicas que se puedan desarrollar, siempre cumplan con la legislación vigente. Por tanto, se realizó un análisis basado en el último censo de Contraloría de 2010 para obtener datos importantes sobre la población dentro del área propuesta, y se determinó que existe una población de 726.186 habitantes, Ver tabla 4.

Tabla 4 Análisis de la población en el territorio

Provincia	Distrito	Viviendas	Hombres	Mujeres	Analfabetas	Total, de población
Coclé	5	44074	95623	90213	7388	185836
Panamá Oeste	5	41858	83222	77775	4091	160997
Veraguas	3	8592	18393	15270	5069	33663
Colón	5	47732	95703	92112	3482	187815
Panamá	1	40668	80835	77040	2762	157875
Total	19	182924	373776	352410	22792	726186

La información acerca de la población se ha utilizado para el análisis cuantitativo de los geositos estudiados. Para el criterio B (Condiciones socioeconómicas); al realizar los estudios de niveles de alfabetización considerando la media país que según censo 2010 se encuentra en 95.41, se identificó que seis de los mismos se encuentran por debajo de la media país; información que se puede ver reflejada en los niveles de alfabetización de los distritos que conforman el territorio. Sumado a un análisis del ingreso per cápita por región según los datos de contraloría para 2015, hemos detectado que en 13 de los 14 geositos estudiados las zonas se encuentran por debajo de la media de su provincia.

Conclusión

Se evidencia a partir de los resultados de las evaluaciones de los patrimonios geológicos, ambientales y culturales, los listados de sitios de interés y la revisión de los estudios científicos previos que el territorio propuesto posee las características esenciales para convertirse en un Geoparque Mundial de la UNESCO.

Fundamentado en que el geoturismo es una actividad que sustenta y mejora la identidad de un territorio considerando sus patrimonios geológicos, ambientales y culturales, estudios realizados indican que es necesario que en Panamá se creen nuevos productos turísticos, con el objetivo de evitar el declive del Istmo como destino turístico. Se concluye que resulta necesario que se promueva una mejor distribución de la riqueza promoviendo oportunidades para que las comunidades rurales, como dueños de esos patrimonios, reciban también los beneficios del turismo, a través de capacitaciones e intercambios entre universidades, empresas públicas y privadas.

Como siguiente etapa, se debe buscar la integración de cada uno de los actores que participan en el territorio: Sociedad, Estado, Academia. Además, la verificación del interés a formar parte del proyecto de los 18 distritos identificados con potencial. Y la generación de legislaciones y planes para el desarrollo sostenible del territorio.

Según las experiencias de otros territorios se espera que las comunidades que se beneficiarán directamente son las poblaciones donde se desarrollen geositos e indirectamente el resto de las poblaciones, incentivado así, nuevas investigaciones para impulsar el desarrollo de nuevos geositos dentro del área.

Es necesario para lograr el desarrollo de este proyecto, seguir en la siguiente etapa con la evaluación de las condiciones de los lugares para albergar a los turistas en las diferentes localidades, divulgación en las comunidades involucradas y la verificación del interés de las autoridades locales y regionales.

Referencias

- [1] R. E. MARDONES PARADA, «Repositorio académico de la Universidad de Chile,» julio 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112119>. [Último acceso: 12 julio 2019].
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, «Geoparques Mundiales de la UNESCO – Celebrando el Patrimonio de la Tierra, sosteniendo las comunidades locales,» 2017. [En línea]. Available: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243650S.pdf>.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), «UNESCO Global Geoparks (UGGp),» UNESCO, 2021. [En línea]. Available: <https://en.unesco.org/global-geoparks/list>. [Último acceso: 8 octubre 2021].
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, «Programa Internacional de Geociencias y Geoparques,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/natural-sciences/international-programme-for-geosciences-and-geoparks/>. [Último acceso: julio 15 2019].
- [5] J. A. T. Castro, «Ecoturismo y Geoturismo: alternativas estratégicas para la promoción del turismo ambiental sustentable venezolano,» *Revista de Investigación*, vol. 40, n° 88, pp. 202-228, Agosto 2016.
- [6] R. S. G. OLIVARES, «ESTUDIO DE POTENCIALES PRODUCTOS O ACTIVIDADES TURISTICAS A DESARROLLAR EN LA COMUNA DE TOMÉ ENFOCADOS CON LAS DIRECTRICES DEL PROYECTO GEOPARQUE MINERO LITORAL DEL BIOBÍO,» abril 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/381835100/Tesis-Geoparque-Tome>. [Último acceso: 16 julio 2019].
- [7] J. L. P. Prieto, «Geositos, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México,» *Investigaciones Geográficas*, n° 82, pp. 24-37, 2013.
- [8] Oficina Comarcal de Turismo, «Visitas recibidas durante 2014 en la Oficina Comarcal de Turismo de Sobrarbe y en el Espacio del Geoparque de Sobrarbe,» 2014. [En línea]. Available: https://www.sobrarbe.com/servicios.php?niv=2&cla=_1D000UK4T&cla2=_1FL11SA0E&cla3=_49K0KKTNN&tip=3. [Último acceso: 17 julio 2019].
- [9] UNESCO, «Estatutos y directrices operativas de los geoparques mundiales de la UNESCO,» [En línea]. Available: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/IGGP_U GG_Statutes_Guidelines_EN.pdf. [Último acceso: 6 octubre 2020].
- [10] J. Brilha, «Patrimonio Geológico y conservación,» agosto 2005. [En línea]. Available: <http://www.palimage.pt/>. [Último acceso: 29 julio 2019].
- [11] Autoridad Nacional del Ambiente, Atlas Ambiental de la República de Panamá, Panamá: Editora Novo Art, S.A., 2010.
- [12] E. Martínez y R. Rodríguez, «DISEÑO DE UN MODELO PARA CREAR UN GEOPARQUE EN EL VALLE DE ANTÓN,» Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2017.
- [13] F. A. Rodríguez Mejía y A. O'Dea, Historia Natural del Istmo de Panamá, Hong Kong: TOPPAN LEEFUNG PRINTING LIMITED, 2015.
- [14] T. Destro, «EL PLUTÓN DE CERRO AZUL Y SU RELACIÓN CON LOS ORIGENES DEL ISTMO DE PANAMÁ,» *I+D Tecnológico*, vol. 3, n° 1, pp. 33-40, 2016.
- [15] Ministerio de Ambiente, «BIODIVERSIDAD, EL GRAN TESORO DE PANAMÁ,» 22 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.miambiente.gob.pa/panama-una-joya-de-la-biodiversidad-global/>. [Último acceso: 8 octubre 2021].
- [16] D. Buchs, «Late Cretaceous to Eocene geology of the South Central American forearc area (southern Costa Rica and western Panama): Initiation and evolution of an intra-oceanic convergent margin,» 12 septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://serval.unil.ch>. [Último acceso: 30 julio 2019].
- [17] A. O'Dea, F. Rodríguez, C. De Gracia y A. Coates, «La Paleontología Marina En El Istmo De Panamá,» Febrero 2007. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/220009730_La_Paleontologia_Marina_En_El_Istmo_De_Panama. [Último acceso: 25 06 2019].
- [18] J. L. Pino, «Primer Simposio de Paleontología de vertebrados de Panamá Avances en el conocimiento de la paleontología de vertebrados en Panamá: Intercambios y conexiones Neotropicales,» *Puente Biológico*, pp. 87-96, 2013.
- [19] MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE LOS ANGELES, «PALEONTOLOGÍA INVERTEBRADA,» MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE LOS ANGELES, [En línea]. Available: <https://research.nhm.org/ip/>. [Último acceso: 15 julio 2019].

- [20] GEOPARQUE VILLUERCAS IBORES JARA, «¿QUÉ ES EL GEOTURISMO?», 2 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.geoparquevilluercas.es/que-es-el-geoturismo/>. [Último acceso: 16 Julio 2019].
- [21] UNESCO, «DECLARACIÓN DE AREQUIPA,» UNESCO, 17 JUNIO 2015. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/GEO-DeclaracionArequipa-2015.pdf>. [Último acceso: 26 mayo 2016].
- [22] J. L. Palacio, «Geositios, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México,» *Boletín del Instituto de Geografía*, n° 82, pp. 24-37, 2013.
- [23] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), «Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN),» UNESCO, abril 2010. [En línea]. Available: http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/GGN2010.pdf. [Último acceso: 15 julio 2019].
- [24] J. P. Serra, «Revisión y propuesta de mejora de modelo de gestión de la geodiversidad de los geoparques Mundiales de la UNESCO,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/668094/jps1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [25] D. Partarrieu Bravo, *Inventario de geositios en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía*, 2013.

Análisis de la influencia de la masa térmica en climas tropicales mediante simulación con Energy 2D

Miguel Chen Austin^{1,*} 

¹ Grupo de Investigación en Energética y Confort en Edificaciones Bioclimáticas (ECEB), Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica miguel.chen@utp.ac.pa
DOI: 10.33412/pri.v13.1.3262



Resumen: Existe una intrínseca relación entre la masa térmica y las propiedades del material de construcción, en relación a la capacidad que posee un material para almacenar calor. La importancia de la selección de tecnología adecuadas para edificaciones en clima tropical, junto con una alta masa térmica, radica en permitir una adecuada sensación de confort para los habitantes, manteniendo a la vez, un bajo consumo de energía. Así, este trabajo tiene como objetivo investigar sobre los efectos de la masa térmica en materiales comunes en edificios ubicados en países con climas tropicales, mediante la utilización del simulador Energy 2D. Estas simulaciones fueron realizadas con fines comparativos, para apreciar las diferencias y similitudes en el uso de determinados materiales de construcción en contraste con los mecanismos de transferencia de calor, como lo son conducción, convección y radiación, observando los efectos ocasionados por éstos. Según los resultados obtenidos, la madera resultó, en efecto, la mejor opción de material en la transferencia de calor por conducción, gracias a su baja conductividad, ya que en estos climas precisamente lo que se busca es conducir menos calor del exterior hacia el interior de las edificaciones. Sin embargo, en términos de radiación el hormigón reforzado es más favorable. En convección, el hormigón reforzado resultó también la mejor opción de material.

Palabras claves: edificaciones, envolvente, masa térmica, transferencia de calor, simulación.

Title: Analysis of the influence of thermal mass in tropical climates by simulation with Energy 2D

Abstract: There is an intrinsic relationship between thermal mass and the properties of the building material concerning the capacity to store heat. The importance of selecting the appropriate technology for buildings in a tropical climate, together with a high thermal mass, lies in propitiating adequate comfort sensation for the inhabitants while maintaining a low energy consumption. Thus, this work aims to investigate thermal mass effects on common materials in buildings located in countries with

tropical climates, using the Energy 2D simulator. These simulations were carried out for comparative purposes, to appreciate the differences and similarities in the use of certain construction materials in contrast to the heat transfer mechanisms, such as conduction, convection, and radiation, observing the effects caused by them. According to the results obtained, wood was, in fact, the best choice of material for heat transfer by conduction, thanks to its low conductivity, since in these climates, precisely what is sought is to conduct less heat from the exterior to the interior of the buildings. However, in terms of radiation, reinforced concrete is more favorable. In terms of convection, reinforced concrete was also the best choice of material.

Key words: buildings, building envelope, thermal mass, heat transfer, simulation.

Tipo de artículo: análisis.

Fecha de recepción: 29 de agosto de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

A través de los años el consumo total de energía eléctrica en edificios ha ido en aumento, debido a la demanda anual de calor en climas tropicales cuya temperatura media mensual es de 24 °C, requiriendo enfriamiento durante aproximadamente el 50% del año, lo que ha ocasionado una gran preocupación y ha obligado a la necesidad de emprender acciones para mejorar la eficiencia del uso de la energía.

Con el rápido crecimiento urbano se considera evidente que se requiere una reducción de la energía para calentar y enfriar las edificaciones, por ello se han incorporado medidas de eficiencia energética en las etapas de construcción o renovación de las edificaciones. Esta tendencia se está incorporando en los códigos y regulaciones de diseños en la mayoría de los países desarrollados; sin embargo, muchos códigos y diseñadores se centran principalmente o completamente en la resistencia térmica, excluyendo los efectos de la masa térmica [1].

La masa térmica de una edificación determina la capacidad que tiene para almacenar y absorber energía térmica, ya sea calor latente o sensible, y luego cuando las condiciones son propicias liberarla gradualmente. Esto a su vez puede tener efectos beneficiosos en las condiciones interiores durante los cambios de clima. En la estación lluviosa, "el calor almacenado durante la tarde puede ser liberado en la noche cuando las temperaturas exteriores son más bajas" esto lleva a reducir el uso del equipo de calefacción. En la estación seca, la masa térmica del edificio almacena calor, y al pasar las horas el calor almacenado empieza a liberarse tanto en el interior como el exterior, volviendo este fenómeno útil para evitar el sobrecalentamiento de la edificación a su vez evitar la sensación desagradable en los periodos más calientes [2].

Entre los factores importantes para crear confort térmico en el edificio tenemos: el movimiento del aire, la velocidad del aire, la temperatura y la humedad. El flujo de calor al edificio implica tres formas de transferencia de calor, conducción, convección y

radiación. Un aire ambiental atrae desde la chimenea hacia el techo y también fluye hacia las aberturas, ventanas y puertas de un edificio, esto provoca un movimiento de aire y beneficia la ventilación natural [3]. En los climas cálidos las edificaciones tradicionales con elevada masa térmica suelen tener efectos positivos reducidos, e incluso llegar a ser negativos. Esto se debe a que los interiores de los cerramientos tienden a mantener una temperatura cercana al promedio de las temperaturas exteriores, y dar como resultado una disconformidad a sus habitantes. Esta es una de las razones por las que, en los climas tropicales las edificaciones solían ser de materiales con una reducida masa térmica [4]. El envolvente del edificio, el sistema de enfriamiento y los electrodomésticos deben considerarse cuidadosamente en su diseño, particularmente en climas tropicales. El clima tiene un efecto importante en la selección de una tecnología adecuada para la construcción, como un sistema de refrigeración y electrodomésticos de alta eficiencia. Finalmente, el confort térmico debe lograrse con un bajo consumo de energía del edificio donde se basa la ventilación natural [5].

En los países de clima tropical, el consumo de energía en una construcción puede ser influenciado por distintos parámetros; como el diseño del edificio, la proporción de muro en blanco y las ventanas de vidrio que se encuentren ya que pueden hacer que se perciba una tasa muy alta de transferencia de calor con respecto al ambiente exterior y en comparación con una pared en blanco; por lo que se recomienda que el vidrio a utilizar en estos climas cuente con un valor bajo de transferencia térmica para disminuir el calor dentro del edificio y con un valor alto de transferencia de luz para que permita contar con más luz natural [6]. La ganancia de calor que se da a través de los edificios es ocasionada por diferentes factores, como la radiación solar durante el día en donde este calor es transferido a través de las paredes por conducción; la masa térmica de la pared, resistencia térmica, el coeficiente de emisión térmica, la absorción solar y el coeficiente de calor por convección también influyen en la transferencia de calor.

Uno de los países con este tipo de clima es Tailandia, en donde muchos de sus lugares cuentan con una ventilación natural no efectiva y con muy poca velocidad del viento [7], lo que implica que en la mayoría de los meses del año el interior de los edificios no cuenta con una buena comodidad al tener que utilizar los sistemas de acondicionamiento de aire ocasionando un gran aumento de costos. Los veranos en este país tienen una alta cantidad de lluvia, mientras que los inviernos cuentan con menor cantidad; la temperatura promedio de la ciudad de Bangkok capital de Tailandia, es de aproximadamente 28.1 °C [8].

Indonesia también se encuentra en la lista de países con climas tropicales, en donde la temperatura exterior es de aproximadamente 26 °C y la máxima de 37 °C, su velocidad del viento varía entre 0.3 y 8.6 m/s. La carta bioclimática de Givoni-Milne es aplicada en este país ya que ofrece alternativas en cuanto al diseño de sus edificios para permitir el confort térmico, enfriamiento por evaporación, ventilación natural, masa térmica, aire acondicionado convencional, deshumidificación, calentamiento pasivo; esta herramienta también es utilizada para analizar diferentes tipos de clima del mundo [9].

En los últimos años, se ha incrementado la construcción de edificios en todo el mundo, pero en su mayoría han utilizado acristalamientos mal adaptados según sus condiciones climáticas ocasionando una alta penetración de la radiación solar. Muchos de estos edificios han tenido diferentes deficiencias, en cuanto a evaluaciones críticas de características, análisis detallado del diseño y la selección térmica con respecto a dispositivos de sombreado, envolvente, orientación, masa térmica, relación de acristalamiento, selección de materiales, entre otros.

En este artículo científico se implementa la siguiente estructura: Se comienza por una revisión bibliográfica sobre la interacción entre los elementos internos con respecto al ambiente exterior con base en datos publicados en revistas de investigación, la cual nos lleva a sentar el objetivo de esta investigación, se define la influencia de la masa térmica en los edificios, donde luego se realiza un análisis sobre la metodología a utilizar y en las dos últimas partes están evidenciados los resultados obtenidos y las conclusiones en base a los objetivos plasmados.

2. Estado del arte

Los estudios de la masa térmica en edificios y demás construcciones han permitido desarrollar fórmulas, tablas, gráficos; que han ayudado a estimar aproximaciones sobre las posibles condiciones térmicas de un lugar, tomando en cuenta los factores y parámetros ambientales que influyen de manera directa a los porcentajes de transferencia de calor. Entre estos podemos mencionar los realizados en los siguientes países:

ARGENTINA

Se definió una muestra de viviendas masivamente construidas mediante operativas oficiales en los principales centros urbanos del Nordeste Argentino (NEA) y se realizaron simulaciones de su desempeño y su consumo de energía anual para climatización electromecánica, mediante el software Energy Plus. En este estudio se definió una muestra de cinco tipologías o casos de viviendas de producción estatal ampliamente difundidas en los principales centros urbanos del NEA (Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa), representativas de las situaciones de diseño arquitectónico y urbano más habituales. En cuanto a su materialidad constructiva, dichas viviendas resultaron una situación intermedia respecto a la masa térmica de sus envolventes: techos livianos en general (chapas galvanizadas con entretechos y cielorrasos independientes), y muros exteriores más pesados (ladrillos cerámicos macizos comunes o ladrillos cerámicos huecos).

Bajo las condiciones locales de uso y gestión, las envolventes livianas arrojaron mejores resultados respecto a las másicas. Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas respecto al modo "mixto" de uso y gestión de las viviendas (abiertas en determinados horarios; y cerradas y con acondicionamiento artificial en otros horarios), y respecto a las reducidas amplitudes térmicas estivales, así como respecto a lo obtenido mediante las simulaciones dinámicas, se propone una evaluación de la inercia térmica de las envolventes de las viviendas que tenga en cuenta, en síntesis, lo siguiente: Que el factor esencial a identificar es el

modo de uso y gestión predominante de la vivienda en cuanto a su apertura al exterior (según predomine su uso abierta sin climatización, o cerrada con climatización) y su utilización o no de climatización electromecánica (figura 1) [10].

Alternativas de materialidad	Componente constructivo	^{"K"} Transmittancia térmica (W/ m ² K)	Retraso (horas)	Peso superficial (kg/m ²)	Peso específico (kg/m ³)	Amortiguam. (°C dif. temp. máx. exterior y máx. interior)
Caso másico	Muro ladr. común macizo (e=27 cm) revocado ambas caras	1,92	6,01	477	1590	0,19
	Losa cerámica de viguetas (e=19,5 cm.)	2,61	3,11	266	1373	0,43
Caso liviano	Panel sándwich madera c/ lana vidrio 1" (e=3")	0,91	1,73	19	249	0,60
	Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera c/ lana vidrio 1"	0,96	1,49	17	444	0,63
Casos reales habituales (situaciones intermedias entre másica y liviana)	Muro ladr. cerámico hueco (e=18 cm) revocado ambas caras	1,67	3,08	170	809	0,43
	Muro ladr. común macizo (e=18 cm) revocado ambas caras	2,44	3,55	333	1586	0,38
	Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera c/ lana vidrio 2"	0,60	2,40	17,5	446	0,51
	Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera (sin aislante)	2,4	0,54	16,7	442	0,75

Figura 1. Características y parámetros termo físicos de componentes constructivos de techos y muros para casos térmicamente ligeros [10].

Este artículo propuso el estudio de Fachadas Verdes y techos verdes en un clima tropical para un día frío crítico, mostrando resultados experimentales de cuatro células de prueba en las cuales se midió la temperatura interna de la superficie y el aire interno para hacer posteriormente un estudio comparativo entre esas celdas de prueba con y sin celda de prueba de vegetación. Con los resultados finales, se verificó el potencial de vegetación con respecto a las pérdidas internas de calor.

En períodos en que las temperaturas exteriores más altas del aire se registran, la celda de prueba está equipada con fachadas verdes y el techo muestra la amplitud térmica más baja, es decir, tiene menos dificultad para transferir calor al exterior. El aire más alto interno de las temperaturas del aire se presentan en la celda construida según convenciones y más bajo en la celda con fachadas verdes y techo verde, con una diferencia entre ellos de 1 °C.

Con los resultados obtenidos los investigadores concluyeron que el uso de vegetación en obras de construcción durante el invierno tropical, protege las cubiertas (techos y fachadas) de posibles pérdidas de calor, que, es decir, la vegetación actúa como aislamiento al mejorar las condiciones de confort interno. Y mediante el análisis se pudo observar que las células provistas de planta mantienen su aire interno temperatura casi 2 °C por encima de las otras células en el más frío períodos [11].

DOULA - CAMERÚN

Muchos estudios han demostrado que el uso de la inercia térmica puede modificar útilmente la firma termo física de los edificios. Sin embargo, sus influencias bajo un clima cálido y húmedo con materiales de construcción locales en África no se

han investigado en detalle. Esta investigación se basó en la experimentación y simulación de la inercia térmica de edificios tradicionales con paredes de madera y edificios modernos con paredes de bloques de hormigón sagrado en clima cálido y húmedo. El análisis del estudio experimental muestra: un retraso de tiempo cero y una depreciación de la temperatura de 0.5 °C entre las paredes externas e internas de los edificios de madera; un lapso de tiempo de 04h15min y una depreciación de la temperatura de 1.5 °C entre las paredes externas e internas de los edificios de bloques de hormigón sagrados. El estudio revela que la inercia térmica de los materiales de construcción tiene un impacto real en la temperatura de la superficie de la pared interna del edificio. Muestra que el edificio construido con material tan ligero como la madera es el más adecuado para hogares en climas cálidos y húmedos, ya que con una baja inercia térmica, este tipo de edificio proporciona mayor confort térmico durante horas de ocupación máxima de 6.00 p.m. a 6.00 a.m.; de lo contrario, aquellos con alta inercia térmica, como el bloque de hormigón sagrado, almacenan calor durante el día para descargarlo en la noche en el edificio durante los períodos de ocupación máxima, y por lo tanto crean incomodidad térmica por el mal uso del aire acondicionado en estos tipos de edificios para corregir las molestias térmicas. Los materiales de construcción con alta inercia térmica, como los bloques de hormigón salados, serían más útiles en la construcción de oficinas cuya explotación estará limitada durante el día en climas cálidos y húmedos [12].

GHANA

La mayoría de los edificios de oficinas en los países subsaharianos cálidos y húmedos experimentan una alta carga de enfriamiento debido al uso predominante de bloques de arena que son de baja masa térmica en la construcción y el uso extensivo de acristalamiento. Relativamente, las temperaturas de bajo horario no se aprovechan en los edificios de refrigeración porque las aberturas de las oficinas permanecen cerradas después de las horas de trabajo. Se realizó una optimización a través de una simulación basada en análisis de sensibilidad, utilizando el software de simulación Energy Plus para evaluar los efectos de la masa térmica, el tamaño de la ventana y la ventilación nocturna en la temperatura máxima del aire interior (PIAT).

En este estudio se pudo concluir que los efectos combinados de la masa térmica, el tamaño de la ventana y la ventilación nocturna pueden reducir sinérgicamente la temperatura máxima del aire interior en climas cálidos y húmedos y mejorar el confort térmico. Con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad ambiental del diseño de edificios, el estudio es valioso para el diseño de edificios energéticamente eficientes en Ghana. Estos hallazgos podrían guiar a los diseñadores de edificios, posibles constructores y gerentes de instalaciones en la selección del material de envoltura del edificio que mejorará el rendimiento térmico y alcanzará el confort térmico [13].

SALTA - ARGENTINA

Este estudio térmico fue realizado para un día tipo de invierno y uno de verano de un edificio de oficinas de ocho plantas (cinco pisos y tres subsuelos) actualmente en construcción en el microcentro de la ciudad de Salta. El diseño del edificio incluye

doble fachada vidriada en su cara oeste y doble vidriado hermético en su cara este, lo cual hizo presuponer que, para las condiciones climáticas de Salta, se podría producir un excesivo sobrecalentamiento en los meses estivales. Se realizó la simulación térmica mediante el software Energy Plus, encontrándose que se producirá un importante sobrecalentamiento en verano. En invierno se requerirá de calefacción auxiliar sólo en días con baja radiación y bajas temperaturas exteriores. Como soluciones para verano se proponen: una fachada verde en el lado Este, ventilación natural y el uso del aire proveniente de los subsuelos para enfriamiento de la masa térmica del edificio.

El estudio constituyó un gran avance respecto de la interacción entre profesionales privados de la construcción e investigadores para transferir resultados académicos hacia el sector edilicio, particularmente a edificios cuyos consumos energéticos son considerables. En un trabajo futuro se prevé estudiar en mayor profundidad el modelo a utilizar para simular fachadas ventiladas, además de analizar la influencia del follaje de una fachada vegetal en la temperatura del aire cercana al edificio [3].

Se dice que la masa térmica funciona como moderador del clima, ya que las envolventes de edificios masivos pueden atenuar la fluctuación de la temperatura y reducir la temperatura pico interior.

NINGBO - CHINA

Esta investigación estaba vinculada contextualmente a un edificio en Ningbo, China, las inferencias hechas serían útiles para establecer el rendimiento general de la masa térmica en un clima subtropical húmedo que ayudaría a los diseñadores de edificios a diseñar en este clima en cualquier parte del mundo. Sin embargo, como el diseño y el microclima de cada edificio juegan un papel muy importante en su desempeño, existen límites para la generalización de los resultados. Por esta razón, no será aconsejable preparar pautas de diseño basadas en el análisis de un solo edificio. Basado en una metodología similar a la seguida en esta investigación, la investigación adicional puede abarcar el análisis de rendimiento térmico de más edificios institucionales en esta zona climática. Debido a la alta humedad relativa asociada con el clima subtropical húmedo, existe el riesgo de que se produzca condensación debido al contacto del aire húmedo con superficies internas frías en los edificios. Como extensión de este estudio, la investigación adicional puede probar el riesgo de condensación asociado con la construcción ligera y pesada en la zona climática subtropical húmeda [14].

Por lo anterior, el objetivo de este proyecto es investigar sobre los efectos de la masa térmica en edificios ubicados en países con climas tropicales, mediante la utilización del simulador Energy 2D. El distrito de Guntur ubicado en el estado de Andhra Pradesh, en el sur de India, fue el sitio seleccionado para el análisis del efecto de la masa térmica en sus edificaciones, ya que es un lugar que cuenta con un clima tropical de sabana o clima tropical húmedo-seco con variaciones térmicas a lo largo del año.

3. Conceptos fundamentales

Esta sección presenta brevemente definiciones teóricas fundamentales para el análisis de la influencia de la masa térmica.

3.1 Masa térmica

La masa térmica es definida como “la capacidad de los materiales de acumular y liberar calor progresivamente, es decir, la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno” [15].

3.2 Masa térmica en edificaciones

“Desde el punto de vista de la termodinámica, un edificio generalmente se considera como un conjunto de subsistemas o zonas térmicas” que se encuentran compuestas por elementos con conductancia específica e inercia térmica [16]. “En cuanto a la inercia térmica esta se refiere a la propiedad que adquiere el edificio para amortiguar la influencia de la temperatura exterior sobre las condiciones térmicas interiores” (figura 2) [15].

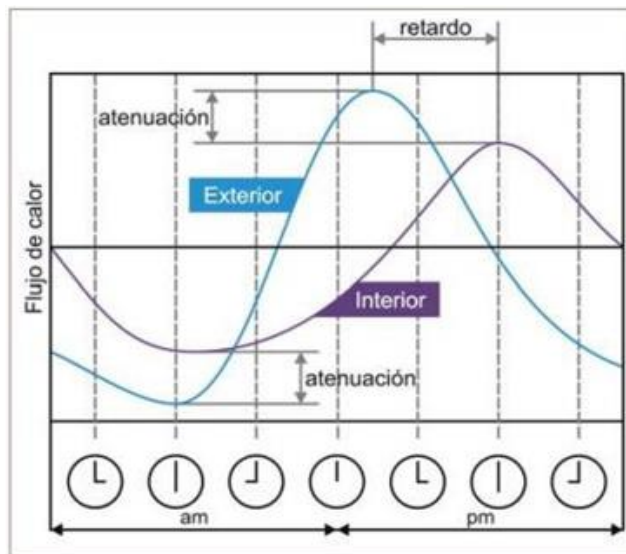


Figura 2. La influencia de la masa térmica sobre el confort. Para que se active, es necesario que exista un gradiente térmico entre el día y la noche [15].

3.3 Elementos

Estos elementos de inercia térmica se pueden clasificar en tres categorías: envoltura de zona térmica, volumen de aire interior y masa térmica interior.

La envoltura de la zona térmica está conformada por las piezas de construcción como paredes externas, pisos, techos o paredes divisorias y poseen, por lo general, una inercia térmica significativa. “La masa térmica externa de la envoltura del edificio está expuesta al ambiente exterior e interior. No es isotérmico y su energía interna varía lentamente.

El volumen de aire interior es aquel que se encuentra contenido dentro de una zona térmica y que generalmente se considera como un solo nodo con temperatura homogénea. “La temperatura del aire interior puede variar rápidamente debido a su limitada inercia térmica”.

En el caso de la masa térmica interior, esta se compone de todo el mobiliario y artículos que estén dentro de la edificación y que generen y/o absorban calor. Exceptuando “el cuerpo de seres vivos, objetos móviles, que entran y salen de la zona varias veces al día, terminales de HVAC (radiadores, unidades de tratamiento de aire) y todos los equipos que emiten energía térmica (computadora, ventilador, motores, iluminación, lámparas)”.

Para el estudio y análisis de la masa térmica exterior, se considerarán únicamente los modelos numéricos actuales que tengan en cuenta la inercia térmica de la envoltura, los pisos, techos y las paredes. La zona térmica interior compuesta por el mobiliario y la masa adicional presente en un edificio ocupado real no se incluyen en este caso. “Esta suposición es razonable para el diseño clásico y el análisis de energía de edificios basados en cálculos estables o simplificados a largo plazo” [16].

3.4 Materiales

Para obtener edificios energéticamente eficientes se debe seleccionar materiales que poseen inercia térmica, ya que esta propiedad reduce las variaciones extremas de temperatura que puedan ocurrir durante el día. Con ella también se puede almacenar calor y limitar el sobrecalentamiento en verano. Lo que significa que, “la masa térmica incorporada en un edificio proporciona una temperatura interior más estable y permite ahorrar energía cuando se suministra calefacción o refrigeración”.

En los edificios, el calor y la frialdad se almacenan tradicionalmente mediante calor sensible. Estas propiedades están actualmente restringidas, al menos como primer paso en los procedimientos de selección de materiales habituales, a su capacidad de almacenamiento y su densidad (figura 3).

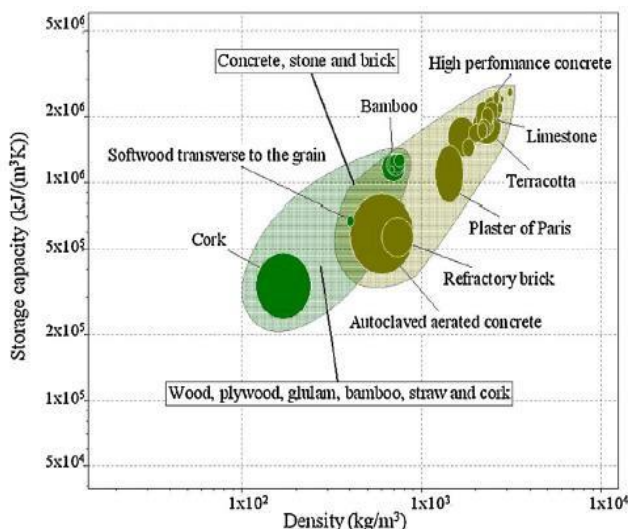


Figura 3. Capacidad de almacenamiento en función de la densidad para materiales de construcción convencionales [17].

“La capacidad de almacenamiento se define como la capacidad de un material para almacenar calor o frío por unidad de masa y variación de temperatura. La densidad está relacionada con la masa que podría colocarse en un volumen unitario y, por lo tanto, con la compacidad del material. La más alta podría ser la capacidad de almacenamiento y / o la densidad; la más pequeña sería la cantidad de material necesaria para almacenar una cantidad específica de energía” [17].

4. Metodología

Para cumplir con los objetivos anteriormente plasmados en este estudio científico, se desarrolló la siguiente metodología con la finalidad de obtener los datos necesarios para posterior simulación en el software Energy 2D.

4.1 Selección del sitio según zona climática

El distrito de Guntur ubicado en el estado de Andhra Pradesh, en el sur de India, fue el sitio seleccionado para el análisis del efecto de la masa térmica en sus edificaciones, ya que es un lugar que cuenta con un clima tropical de sabana o clima tropical húmedo-seco con variaciones térmicas a lo largo del año [18]. En la India, la mayor parte de sus edificaciones residenciales y comerciales representan aproximadamente el 30% de su electricidad, donde si bien es cierto, no es posible eliminar en su totalidad la utilización del aire acondicionado y de la calefacción en este país, dada la ubicación en el cinturón tropical y subtropical, pero si es posible reducir el consumo a través del diseño adecuado de estos edificios al disminuir la transferencia de calor entre el interior y el exterior; esto se puede lograr aumentando el aislamiento o aumentando la masa térmica en sus paredes [19]. Su temperatura media anual es de 28.5 °C, el mes más caliente del año es mayo con aproximadamente 33.6°C y el más frío cuenta con una temperatura de 24°C [18].

4.2 Tipos de materiales

Las propiedades básicas que indican el comportamiento térmico de los materiales son: densidad (ρ), calor específico (cp) y la conductividad (k). A continuación, los materiales que se utilizarán para la simulación del modelo se muestran en la Tabla 1 [20]. Con la finalidad de observar el impacto que tiene el material sobre la climatización.

4.3 Parámetros físicos y térmicos

Estos parámetros ayudan a un mejor análisis del clima y a evaluar las estaciones o períodos durante los cuales una persona puede experimentar condiciones relacionadas al confort térmico. Las variables mencionadas se resumen en la Tabla 2 [21]; éstas influirán eventualmente en el rendimiento térmico exterior e interior.

4.4 Ecuaciones

Es importante estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas que conforman el edificio, ya que esto permitirá analizar los sistemas de climatización de refrigeración, calefacción, evolución de temperaturas; por la influencia de la masa térmica [22]. Para caracterizar estos niveles se deben tomar

en cuenta parámetros propios que involucren almacenamiento de calor y que proporcionen la inercia necesaria para fluctuaciones provocadas por la temperatura. Entre estos tenemos:

Conducción-Transmitancia térmica: Corresponde a condiciones en las que las temperaturas interiores y exteriores son estables en el tiempo, o cuando existe una diferencia promedio durante un largo plazo. La ecuación de la conducción se resuelve para cada elemento constituyente (externo) de la edificación, es decir cada pared, techo, piso. Donde los resultados se resumen a que el flujo de calor a través de la envoltura del edificio por conducción es la suma del área y los productos de valor U de todos los elementos del edificio multiplicados por la diferencia de temperatura.

Inercia térmica: “Expresa la magnitud del efecto para amortiguar y retardar la temperatura máxima en el interior de un espacio en relación con la temperatura exterior” permite reducir el uso de sistemas mecánicos de calefacción por la capacidad de los elementos para almacenar calor.

Convección-Flujo de calor por ventilación: Debido a las infiltraciones de aire en puertas, ventanas, las cuales representan de un 10 a 50% de las pérdidas de calor totales.

Radiación-Temperatura sol-aire: Esta “combina los efectos de la temperatura caliente del aire y la radiación solar incidente, se utiliza para el cálculo de flujo de calor cuando se refiere a superficies que reciben algún tipo de radiación solar.

Factor de ganancia solar Q/L: “Es la cantidad de radiación solar transmitida a través de la envolvente de la construcción., influye en la temperatura interior de los elementos y en el calentamiento del aire y otras superficies interiores [23].

Tabla 1. Descripción de las propiedades térmicas de los materiales [20].

Material	Densidad kg/m^3	Conductividad W/mK	Calor específico J/KgK
Ladrillo quemado	1820	0.811	880
Mortero Cemento	1648	0.719	920
Hormigón reforzado	2410	1.1	840
Plywood	640	0.174	1760
Madera	480	0.072	1680
Yeso de cemento	1762	0.721	840

Tabla 2. Descripción de los parámetros utilizados en la simulación [21].

Parámetros	Valor
Temperatura	28.5°C
Velocidad del viento	9.4 -18.2 km/h
Ángulo de los rayos del Sol	135°
humedad	36-52%
Orientación	Este

5. Análisis de resultados

A continuación, se presenta el análisis de resultados para las situaciones estudiada.

5.1 Evaluación con una fuente de calor por conducción

Los materiales que se muestran en la tabla 1 fueron los seleccionados para realizar la simulación; a cada material se le determinó el tiempo en alcanzar la temperatura de 32°C (T1). El material a estudiar se aisló junto con la fuente para lograr un mayor resultado, se estableció el clima tropical inicial de 28.5°C y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tiempo de materiales

Material	Tiempo (s)
Ladrillo	183000
Mortero	176500
Hormigón	178500
Plywood	531500
Madera	882500
Yeso	187000

En la figura 4, se comparó el material con mayor contenido de masa térmica a través del tiempo, en donde predominó la madera con un 41%.

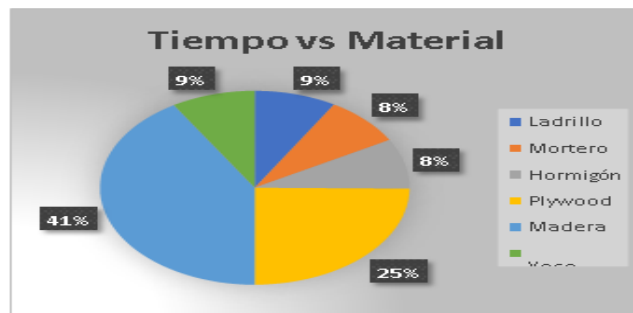


Figura 4. Resultados de la conducción de materiales

Se evaluó la temperatura de la fuente de 60°C y la temperatura del material T2 a través de un determinado tiempo.

En la figura 5 (izquierda), se observa el comportamiento entre las temperaturas y en la figura 5 (derecha), se presenta la simulación en la fase final, donde el segmento rosado representa el aislante, el segmento blanco representa la fuente de calor (temperatura, línea en color naranja) y el azul el material (temperatura, línea en color azul), se estableció suspender el tiempo una vez material llegara a una temperatura aproximada de 32°C.

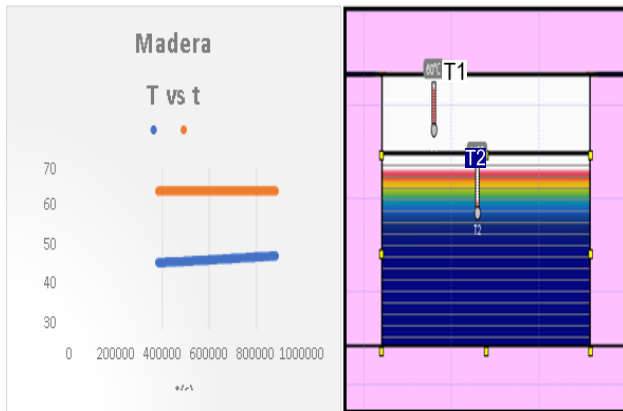


Figura 5. Componentes del material a diferentes temperaturas durante el tiempo (izquierda) y simulación de conducción en Energy 2D (derecha).

5.2 Evaluación con una fuente de calor por radiación

Se determinó el tiempo en alcanzar una temperatura de 29°C (T1) en el interior de la casa, donde la fuente de calor proviene de los rayos del Sol. Se simularon los materiales presentados en la tabla 1 y también se estableció el clima tropical inicial de 28.5°C.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4. En la figura 6, se presenta una comparación del tiempo, con el método de la simulación de la masa térmica del material, el cual fue colocado en las paredes y el techo, en donde se pudo observar que el material predominante fue el hormigón con un 30%.

Tabla 4. Tiempo de materiales.

Material	Tiempo (s)
Ladrillo	610
Mortero	610
Hormigón	670
Plywood	510
Madera	490
Yeso	600

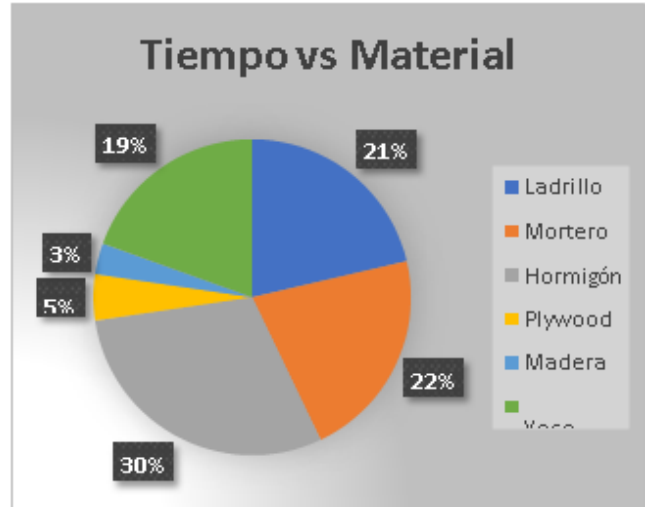


Figura 6. Resultado de la radiación en los materiales.

En la figura 7, se observa que, al ejecutar la simulación, la temperatura del medio se mantiene constante, ya que se contempló una temperatura exterior constante.

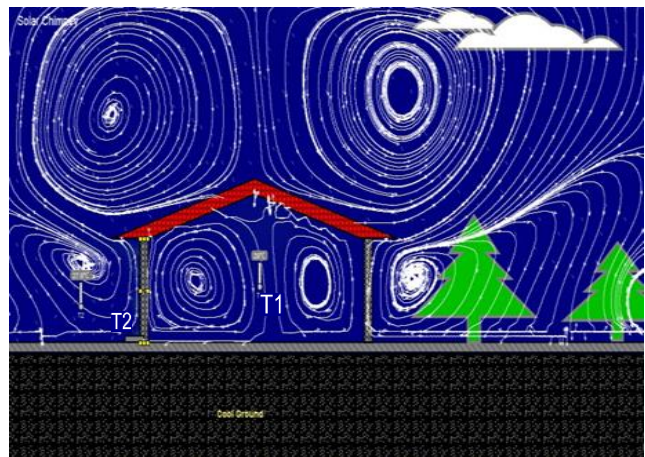


Figura 7. Ejemplo de simulación en Energy 2D usado para convección y radiación como fuente de calor.

5.3 Evaluación con una fuente de calor convectiva

Se determinó el tiempo del material en alcanzar la temperatura promedio de 29°C (T2) mediante un medio convectivo, donde la fuente tiene una temperatura constante de 60°C (T1). El material a estudiar se colocó como pared interna de 0.1 cm de espesor. También se simularon los materiales descritos en la tabla 1 y se estableció el clima tropical inicial de 28.5°C. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

En la figura 8, se compara el material con mayor contenido de masa térmica a través del tiempo, en donde predominó el hormigón con un 19%.

Tabla 5. Tiempo de materiales

Material	tiempo (s)
Ladrillo	4050
Mortero	4100
Hormigón	5650
Plywood	900
Madera	600
Yeso	3700

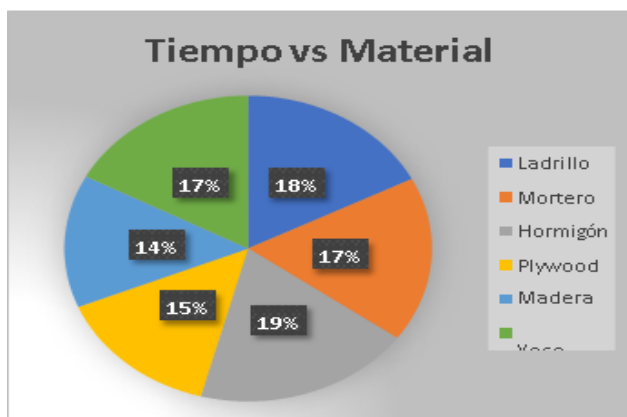


Figura 8. Resultados de la convección de materiales.

6. Discusión

Como se puede observar en la figura 5, donde se aplica conducción mediante la simulación con Energy 2D, se obtiene como resultado que el mejor material a utilizar en este caso con un clima tropical es la madera. La razón radica en sus propiedades, ya que posee una conductividad térmica de 0.072 W/mK que es menor a la de los demás materiales presentados, lo que significa que posee una menor capacidad para conducir calor del exterior al interior de la edificación. Además, su calor específico es elevado (1680 J/kgK), lo que indica que posee una mayor capacidad para almacenar energía térmica.

Al comparar este resultado obtenido con el simulador Energy 2D y los resultados del estudio realizado en la ciudad de Douala en Camerún, la cual presenta condiciones climáticas similares a las del distrito de Guntur en la India y al clima de algunas regiones de Panamá, se pudo comprobar que la madera tiene un impacto real en la temperatura y resulta ser el más adecuado para hogares en climas cálidos y húmedos, ya que al poseer una baja inercia térmica, este tipo de edificio proporciona mayor confort térmico durante horas de ocupación máxima [12]. En la Ciudad de Panamá se pueden observar viviendas en base de madera, cerca del área del Canal de Panamá que fueron edificadas en conjunto con estrategias bioclimáticas. Estas viviendas presentaron mejor desempeño cuando fueron comparadas con las estrategias de construcción usadas actualmente [24].

En cuanto al mecanismo de radiación, donde la fuente de calor provenía principalmente de los rayos del Sol, el material que

tardó más tiempo en calentar el interior fue el hormigón reforzado. Esto ocurre debido a que posee una mayor densidad en comparación con los otros materiales y esto impidió que el calor producto de los rayos solares traspasara el material fácilmente.

Conclusión

Se realizó la revisión literaria, sobre la variación del comportamiento de la masa térmica en edificaciones ubicadas en regiones con clima tropical húmedo, en relación a los mecanismos de transferencia de calor de conducción, convección y radiación, utilizando el software “Energy 2D”, tomando como base comparativa diferentes materiales de construcción, en relación a las propiedades térmicas de estos. Esto demostró que la masa térmica es un factor importante y beneficioso al momento de buscar ahorro y eficiencia energética en climas tropicales.

En zonas con climas tropicales húmedos, se busca construir los edificios utilizando materiales que ayuden a mantener el confort de los huéspedes en cuestión, para esto se deben tomar en cuenta las temperaturas del interior y exterior de la edificación, como también conocer si existen áreas en el edificio que sean más propensas a las incidencias solares debido a la ubicación. Se recomienda realizar un estudio similar en Panamá, específicamente en las zonas de la península de Azuero, ya que presenta también condiciones climáticas de tropicales de sabana, y posteriormente realizar una comparación con los resultados aquí presentados.

Según los resultados obtenidos con el software Energy 2D, la madera resultó, en efecto, la mejor opción de material en la transferencia de calor por conducción, gracias a su baja conductividad, ya que en estos climas precisamente lo que se busca es conducir menos calor del exterior hacia el interior de las edificaciones. Sin embargo, en términos de radiación el hormigón reforzado es más favorable, debido a que, gracias a su alta densidad, los rayos solares, no penetran con tanta facilidad al material; el resultado fue similar en la convección donde al estar involucrado el fluido caliente que rodea el área superficial a la que se le transfiere calor, el hormigón reforzado resultó también la mejor opción de material, según las simulaciones realizadas.

Referencias

- [1] Reilly y O. Kinnane, «The impact of thermal mass on building energy consumption», Appl. Energy, vol. 198, pp. 108-121, jul. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.04.024.
- [2] M. C. Mendoza Cardenas, «Evaluación del impacto del uso de estrategias de climatización pasiva en el consumo de energía eléctrica de dispositivos de acondicionamiento de aire en viviendas en Monterrey», Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 2016.
- [3] S. F. Larsen, L. Rengifo, y L. G. Paz, «SIMULACION TERMICA DE UN EDIFICIO DE OFICINAS CON DOBLE FACHADA VIDRIADA EN LA CIUDAD DE SALTA», p. 8.
- [4] «Nivel de masa térmica en los edificios». <https://www.seiscubos.com/conocimiento/nivel-de-masa-termica> (accedido jun. 12, 2020).
- [5] [W. Rattanongphisat y W. Rordprapat, «Strategy for Energy Efficient Buildings in Tropical Climate», Energy Procedia, vol. 52, pp. 10-17, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.049.
- [6] B. Kasatsuk, «Research and Development in the field of energy conservation and renewable energy in thailand». [En línea]. Disponible en: <http://weben.dede.go.th/webmax/sites/default/files/artall-eng%203.pdf>.

- [7] S. Chiraratananon y V. D. Hien, «Thermal performance and cost effectiveness of massive walls under thai climate», *Energy Build.*, vol. 43, n.o 7, pp. 1655-1662, jul. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.010.
- [8] «Clima Bangkok: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Bangkok - Climate-Data.org». <https://es.climate-data.org/asia/tailandia/bangkok/bangkok-6313/> (accedido jun. 16, 2020).
- [9] «Buildings | Free Full-Text | Bioclimatic Analysis in Pre- Design Stage of Passive House in Indonesia | HTML». <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/1/24/html> (accedido jun. 16, 2020).
- [10] H. M. Alias y G. J. Jacobo, «La masa térmica frente al clima muy cálido y húmedo y el uso mixto en viviendas», p. 6.
- [11] N. P. Gallardo, A. Rogério, G. F. Neves, F. A. Vecchia, y V. F. Roriz, «Thermal Response to cold in buildings with Green covers for tropical climate. Green facades and green roofs Reacción frente al frío de edificaciones con envoltantes vegetales para climas tropicales. Fachadas verdes y cubiertas ajardinadas», vol. 33, p. 14, 2018.
- [12] A. Kemajou, «REAL IMPACT OF THE THERMAL INERTIA ON THE INTERNAL AMBIENT TEMPERATURE OF THE BUILDING IN THE HOT HUMID CLIMATE: SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY IN THE CITY OF DOUALA IN CAMEROON», p. 10, 2012.
- [13] S. Amos-Abanyie, F. O. Akuffo, y V. Kutin-Sanwu, «Effects of Thermal Mass, Window Size, and Night-Time Ventilation on Peak Indoor Air Temperature in the Warm- Humid Climate of Ghana», *Sci. World J.*, vol. 2013, pp. 1-9, 2013, doi: 10.1155/2013/621095.
- [14] N. Baderia, «The Role of Thermal Mass in Humid Subtropical Climate: Thermal Performance and Energy Demand of CSET Building, Ningbo», p. 8, 2014.
- [15] A. L. Vidal, «Una característica no aprovechada en los elementos prefabricados de hormigón: la masa térmica», p. 6, 2015.
- [16] H. Johra y P. Heiselberg, «Influence of internal thermal mass on the indoor thermal dynamics and integration of phase change materials in furniture for building energy storage: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, pp. 19-32, mar. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.145.
- [17] A. Jeanjean, R. Olives, y X. Py, «Selection criteria of thermal mass materials for low- energy building construction applied to conventional and alternative materials», *Energy Build.*, vol. 63, pp. 36-48, ago. 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.03.047.
- [18] «Clima Andhra Pradesh: Climograma, Temperatura y Tabla climática para Andhra Pradesh - Climate-Data.org». <https://es.climate-data.org/asia/india/andhra-pradesh-760/>(accedido jul. 16, 2020).
- [19] «De-coding Thermal Mass and R-Value for Optimizing Building Efficiency | sustainabilityoutlook.in». <http://www.sustainabilityoutlook.in/content/de-coding-thermal-mass-and-r-value-optimizing-building-efficiency-560331> (accedido jul. 16, 2020).
- [20] J. K. Nayak y J. A. Prajapati, «HANDBOOK ON ENERGY CONSCIOUS BUILDINGS», p. 397.
- [21] «Clima promedio en Guntur, India, durante todo el año - Weather Spark». <https://es.weatherspark.com/y/110155/Clima-promedio-en-Guntur-India-durante-todo-el-a%C3%B1o> (accedido jul. 16, 2020).
- [22] Asociación Técnica Española de Climatización, «Procedimiento y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas de edificios». 2008, [En línea]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_13_Guia_tecnica_Procedimientos_y_a_spectos_de_la_simulacion_termicas_en_edificios_72a7f4d6.pdf.
- [23] C. Valdiviezo, «Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, D. F. Grupo de investigación Espacios habitables y medioambiente», p. 12, 2010.
- [24] M. Chen Austin, M. Castillo, A. de Mendes Da Silva, y D. Mora, «Numerical Assessment of Bioclimatic Architecture Strategies for Buildings Design in Tropical Climates: A Case of Study in Panama», 75th National ATI Congress, Roma Italia, E3S Web of Conferences 197, 02006 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702006>

Análisis del nivel de aceptación de los millennials sobre el fenómeno del internet de las cosas y su efecto en las decisiones de compra

Nabexi Chong¹ , Jeanette Luo¹ , Nicole Barriá¹ 

¹Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá
¹nabexi@gmail.com, jeanetteluoluk@gmail.com, nicole.barria@utp.ac.pa
 DOI: 10.33412/pri.v13.1.3113



Resumen: El internet de las cosas (IoT) es la interconexión inalámbrica de múltiples objetos con internet. Éste ofrece información de valor que permite a los expertos interpretar, los datos de los usuarios para la toma de decisiones y mejorar la experiencia de compra de los consumidores. Con este nuevo potenciador en el mercado, las empresas deberán adaptarse para mantener a sus clientes actuales y cautivar a los potenciales a través de productos, servicios y experiencias positivas con acceso a tiempo real a la información que necesitan. En consecuencia, este estudio tiene como objetivo determinar el nivel de aceptación de los consumidores millennials sobre el fenómeno del IoT en la compra inteligente, utilizando la tecnología Beacon en tiendas minoristas de Panamá. Los modelos utilizados para la investigación fueron el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), el cual evalúa cómo los atributos de la tecnología afectan la percepción de un individuo y el Índice de Disposición Tecnológica (TRI) que analiza la propensión de los individuos a utilizar nuevas tecnologías. Basado en los resultados obtenidos del modelo propuesto, el optimismo y la norma subjetiva predicen un 45% de la variable percepción de utilidad. La explicación se debe a la actitud positiva hacia la tecnología y a la confianza sobre la opinión de alguien cercano o el hecho de tener algo en común influyen en la utilidad percibida de la tecnología y creen que la misma puede hacer que su compra sea más eficiente.

Palabras Claves: Beacon, Internet de las Cosas, Índice de Disposición Tecnológica, millennials, Modelo de Aceptación Tecnológica, tiendas minoristas, caso de estudio.

Title: Analysis of millennials acceptance level on the internet of things phenomenon and its effects on purchasing decisions.

Abstract: The Internet of things is the wireless interconnection of multiple devices using internet. It offers valuable information that allows experts to analyse data in order to improve the customer's shopping experience. Due to this new enhancer on the market, many companies will have to adapt and identify new strategies to conserve their current costumers and captivate potential customers through their products, services and a positive experience with real-time access to the needed information. Consequently, the main objective of this study is to determine millennial customer's acceptance level about the IoT phenomenon in smart shopping using Beacon technology in Panama's retail stores. The models used for the research were the Technology Acceptance Model (TAM), which evaluates how technology attributes affect to the individual's perception and Technology Readiness Index (TRI), which is used to determine individual's eagerness to use new technologies. Based on the results, the variable optimism and the subjective norm predict 45% of the perceived usefulness. Conclusion: The explanation is due to a positive attitude towards technology and confidence in the opinion of someone close to you or the fact that they have something in common may influence in the perceived usefulness of technology and make their purchase more efficient.

Keywords: Beacon, Internet of Things, Millennials, retail, Technology Acceptance Model, Technology Readiness Index, case study.

Tipo de artículo: caso de estudio.

Fecha de recepción: 26 de julio de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

El Internet de las cosas (conocido por sus siglas en inglés como IoT) es la nueva era de comunicación entre los objetos, sensores, actuadores y ensamblajes para generar y transmitir datos e interactuar a través de una red. Cada uno de los objetos se identifica de manera única, tienen la capacidad y disposición para transmitir información acerca de sí mismo o de su entorno; facilita la toma de decisiones [1].

Este radica en la existencia misma del Internet, por lo tanto, hay que tener en cuenta el gran impacto que puede tener sobre la educación, la comunicación, las empresas, el gobierno y la humanidad [2].

Actualmente, las empresas están más conscientes del valor significativo que posee el IoT. Según explica Jessica Epley (2017), especialista en Desarrollo de Contenido de CommScope, esta situación se debe a que las grandes empresas ya no están conformes con satisfacer las necesidades de los consumidores, sino que desean superar sus expectativas ofreciendo productos, servicios y experiencias positivas con acceso en tiempo real a la información que necesitan. Sin embargo, las tiendas minoristas de Panamá no poseen ninguna tecnología atractiva como los Beacons, para atraer, retener o brindar un valor agregado a los

consumidores que, hoy día, demandan una experiencia de compra fácil y positiva.

Para un mejor entendimiento del consumidor y su aceptación de una nueva tecnología, en los últimos años, se han desarrollado diversos modelos con el fin de explicar la aceptación de los consumidores de una nueva tecnología. Dentro del estudio, se pudo medir el efecto del TRI (optimismo, innovación, incomodidad e inseguridad) en el TAM 2 (utilidad percibida y norma subjetiva) para desarrollar un marco integrado que incorpore las influencias de las variables, antes mencionadas, en la aceptación por parte del consumidor de las tecnologías Beacons.

Por lo antes expuesto, el estudio tiene el interés de medir a través de la aceptación de los millennials con respecto al fenómeno del Internet de las Cosas en la compra inteligente, usando la tecnología Beacon en tiendas minoristas de Panamá.

2. Método

Ante la introducción de los sistemas de información y la adopción por parte de los usuarios, la aceptación por los usuarios recibió mucha atención desde la comunidad científica. Debido a esta tendencia, muchos investigadores han llevado estudios para determinar cuáles son los factores que influyen en las costumbres, creencias y actitudes de los usuarios a la hora de tomar una decisión positiva, y de la misma forma, qué factores provocan la resistencia de los usuarios. Como resultado de este estudio, Davis desarrolló el modelo de aceptación de tecnología o también conocido por sus siglas en inglés TAM (Technology Acceptance Model). El modelo surge de la Teoría de Acción Razonada (TRA), la cual asume la explicación de la conducta del individuo basándose en factores como las creencias y las intenciones. (Davis, Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, 1989).

La primera evolución de TAM fue denominada TAM 2, concepto empleado por Venkatesh y Davis en el 2000. Esta extensión busca explicar la utilidad percibida y la intención hacia el uso, en términos de la influencia social y procesos cognitivos.

Para este proyecto se seleccionó, principalmente, el TAM 2 debido a que éste explica la utilidad percibida y la intención hacia el uso, en términos de la influencia social y procesos cognitivos. La variable "Percepción de Utilidad (PU)" fue elegida del TAM, pues ha sido comprobada como el mayor factor que incide en la adopción de la tecnología en los supermercados [9]. Algunos estudios demuestran que la importancia de la utilidad percibida es mayor que la de la facilidad de uso, ya que las personas adoptan nuevas tecnologías basándose en sus funcionalidades más que en su facilidad de uso [10].

Adicionalmente, se utilizó el modelo del TRI para medir cómo las personas adoptan nuevas tecnologías para realizar ciertas tareas de la vida cotidiana; siendo uno de los que más se adapta a los rasgos que son atribuidos a los millennials; por ejemplo, la innovación y el optimismo [11].

La mezcla de ambos modelos, TAM 2 (Venkatesh et al) y TRI (Parasuraman y Colby), se utilizó con el objetivo de lograr una

mejor confiabilidad de los resultados, abarcando las variables más influyentes en la vida de los millennials. Además, los mismos fueron escogidos por su relevancia en la literatura [11].

Además, los mismos fueron escogidos por su relevancia en la literatura. El modelo TAM 2 tiene 15,657 citas en Google Scholar en su primera versión en el año 2000 y el índice de disposición tecnológica con 2,118 citas.

Es importante indicar que no se utilizaron todas las variables presentes en el TAM 2 y tampoco se consideró la dimensión Facilidad de Uso Percibida, debido a que es difícil medir dicha variable por parte de los usuarios a causa de que esta tecnología no está implementada en ninguna de las tiendas minoristas o comercio de otro tipo en Panamá.

3. Hipótesis

La Figura 1, presentada a continuación, representa el modelo aplicado para medir el nivel de aceptación de los consumidores millennials sobre el fenómeno del Internet de las Cosas en la compra inteligente, utilizando la tecnología Beacon en las tiendas minoristas de Panamá. La misma enmarca las dimensiones de los modelos seleccionados.

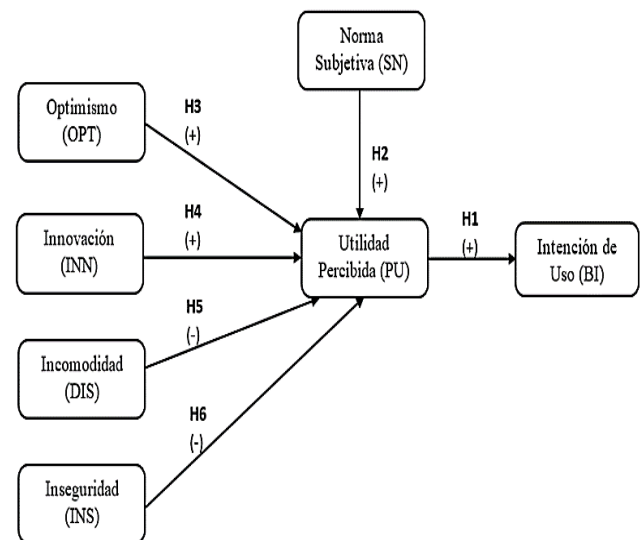


Figura 1. Modelo propuesto de aceptación de la tecnología Beacon

En base al modelo planteado anteriormente, se definieron y establecieron las hipótesis de investigación para cada dimensión seleccionada del TAM 2 y TRI.

3.1. Utilidad percibida

Los usuarios están dispuestos solamente a aceptar innovaciones si los mismos proveen una característica diferente; es decir, ventaja única en comparación a las soluciones existentes [3]. Fue definida por Davis (1989) como "el grado en que un trabajador considera que utilizar un sistema va a ayudar a mejorar su rendimiento profesional". Esta variable se relaciona a

la percepción del usuario que posee con respecto a la tecnología y si la aceptación de este servicio aumenta el desempeño de las compras, incrementaría la intención de uso. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H1: La utilidad percibida influye positivamente y de manera significativa en la intención de uso del consumidor sobre la tecnología Beacon.

3.2. Norma subjetiva

Las normas subjetivas (SN) "son el grado por el cual un individuo percibe que personas que son importantes para él piensan que debería o no usar el sistema o tecnología de la información". Aunque SN se eliminó del TAM original (1989), Venkatesh y Davis (2000) encontró que este tiene un impacto directo e indirecto en la PU [4]. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H2: La norma subjetiva influye positivamente y de manera significativa en la utilidad percibida de la tecnología Beacon.

3.3. Optimismo

El optimismo se define como la actitud positiva de la tecnología y la creencia de que ofrece a las personas un mayor control, flexibilidad y eficiencia en sus vidas. Las personas que son optimistas tienden a aceptar la tecnología ya que no se centran en los aspectos negativos [5]. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H3: El optimismo influye positivamente en la utilidad percibida de la tecnología Beacon.

3.4. Innovación

La innovación se define como una tendencia a ser pionero de la tecnología y líder de pensamiento [5]. Karahanna et al (1999) encontraron que los individuos innovadores tienen una creencia menos compleja sobre la nueva tecnología. Además, las personas con alta innovación tienen, en general, una impresión positiva sobre la utilidad de una nueva tecnología [6]. Por lo tanto, son más propensas a percibir la tecnología móvil (Beacon) en una tienda física como útil. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H4: La innovación influye positivamente en la utilidad percibida de la tecnología Beacon

3.5. Incomodidad

La incomodidad se define como: "Una percepción de falta de control sobre la tecnología y la sensación de estar abrumado por ella [5]." Las personas que se encuentran incómoda con la nueva tecnología tienden a tener sentimientos de ansiedad por usarla [5].

Hackbarth et al (2003) afirmaron que tener sentimientos de ansiedad sobre la adopción de nuevas tecnologías influye negativamente en la facilidad de uso percibida, lo que también se concluyó para la utilidad percibida [7]. Por lo tanto, es menos

probable que las personas con una gran incomodidad perciban la tecnología móvil (Beacon) en una tienda física como útil. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H5: La incomodidad influye negativamente en la utilidad percibida de la tecnología Beacon.

3.6 Inseguridad

La inseguridad se define como: "La desconfianza de la tecnología y el escepticismo acerca de su capacidad para trabajar adecuadamente." Las personas que tienen un alto grado de inseguridad sienten que podría existir riesgos al usar una nueva tecnología [5]. Los riesgos percibidos han demostrado afectar negativamente la facilidad de uso y la utilidad percibidas de la tecnología [8].

Chen et al. (2002) identificaron que las preocupaciones de seguridad y privacidad afectaron la adopción y el uso de la innovación de manera negativa. Por lo tanto, es menos probable que las personas con alta inseguridad perciban la tecnología móvil (Beacon) en una tienda física como útil. Esto conduce a la siguiente hipótesis:

H6: La inseguridad influye negativamente en la utilidad percibida de la tecnología Beacon.

4. Muestra

Dada la variedad de perfiles de consumidores, de conocimiento y necesidad diferentes, el estudio se ha centrado en un único segmento para analizar y establecer un modelo que explique tales percepciones, permitiendo un mejor alcance, de tal manera que la investigación se enfoca, únicamente, en los millennials.

Los millennials son una de las generaciones que más analizan y exigen todo el tiempo. Son los consumidores jóvenes, capaces de ver que la acumulación de datos e información ofrecen numerosas posibilidades para comprender, en su totalidad, el servicio o producto y así influir en sus decisiones de compra. Presentan unas características de consumo que lo hacen señalarse como primeros adoptadores de este tipo de tecnología [12]. Entre sus características se encuentran [13]:

- Demandan alta calidad de vida.
- Están siempre conectados.
- Adaptan rápidamente a los cambios.

Indicado esto, el modelo de investigación propuesto utiliza parte de las extensiones propuestas por el TAM 2 [4] y constructos¹ del TRI, con la intención de modelizar las variables que hay detrás de la aceptación del Beacon, aplicada a la generación Millennial.

4.1. Cálculo de la muestra

Este estudio está basado en las estimaciones y proyecciones de la población total de la provincia de Panamá 2010-2020,

realizado por el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo), específicamente del año 2019, ya que el último censo realizado fue en el 2010.

Como población se tiene la estimación de hombres y mujeres de la provincia de Panamá, entre 23 a 38 años; sin embargo, para el cálculo de la muestra, se seleccionó una parte representativa de este rango que corresponde a las edades entre 25 y 39 años, según los datos proporcionados por la Contraloría General de la República de Panamá. La población objeto de estudio es de 516,933 personas.

La ecuación (1) para obtener la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{N * p * q * Z_{\alpha}^2}{p * q * Z_{\alpha}^2 + (N - 1) * e^2} \quad (1)$$

Donde,

n = tamaño de la muestra

N = población

Z = nivel de confianza

p = probabilidad a favor

q = probabilidad en contra

5. Instrumento

Para comprobar las hipótesis de investigación y realizar un análisis efectivo del estudio, se desarrolló un cuestionario estructurado de la siguiente forma: datos generales del encuestado (edad, sexo y último título obtenido), una primera parte dedicada al conocimiento general del IoT y la segunda parte está compuesta por 25 ítems, que corresponden a las 7 dimensiones del modelo propuesto: utilidad percibida, intención de uso, norma subjetiva, optimismo, innovación, inseguridad e incomodidad.

Las mismas han sido medidas usando una escala de Likert de 7 graduaciones de la siguiente forma: Totalmente en desacuerdo = 1; En desacuerdo = 2; Parcialmente en desacuerdo = 3; Ni de acuerdo ni en desacuerdo = 4; Parcialmente de acuerdo = 5; De acuerdo = 6; y Totalmente de acuerdo = 7.

5.1. Prueba piloto

La prueba piloto consiste en verificar el grado de adecuación del instrumento para hacer los ajustes necesarios antes de su aplicación definitiva.

En la fase inicial, se realizó una prueba piloto a 10 personas que presentaban las mismas características de los sujetos bajo estudio.

5.2. Análisis de fiabilidad del instrumento

El coeficiente alfa de Cronbach, propuesto en 1951 por Lee J. Cronbach, es el indicador más utilizado que permite estimar la fiabilidad de un instrumento de medida, a través de un conjunto de ítems que se espera que midan al mismo constructo o

dimensión teórica, es decir, para evaluar la magnitud en que los ítems están correlacionados [14].

George y Mallery (2003) sugieren las siguientes recomendaciones para evaluar el coeficiente alfa de Cronbach, como se aprecia en la tabla 1:

Tabla 1. Nivel de confiabilidad del coeficiente alfa de Cronbach

Rango	Nivel
0.9 – 1.0	Excelente
0.8 – 0.9	Muy bueno
0.7 – 0.8	Aceptable
0.6 – 0.7	Cuestionable
0.5 – 0.6	Pobre
0.0 – 0.5	Inaceptable

Adicionalmente, se consideraron los siguientes criterios como se aprecia en la tabla 2 antes de proceder a eliminar los ítems de las dimensiones consideradas cuestionables e inaceptables en el análisis del alfa de Cronbach.

Tabla 2. Criterios de evaluación

Criterio	Indicador	Rango	Autor
Significación estadística (Validez)	Correlación ítem-total de cada elemento	>0.3	Invalid source specified.
Fiabilidad de la escala	Alfa de Cronbach	>0.7	Invalid source specified.

En la tabla 3 se resume los resultados de la prueba de confiabilidad por dimensión sin eliminar ningún ítem.

Tabla 3. Estadísticos de Fiabilidad por dimensión

Dimensión	Alfa de Cronbach	Número de Ítems
Utilidad Percibida	0.790	4
Intención de Uso	0.736	2
Norma Subjetiva	0.956	3
Optimismo	0.893	4
Innovación	0.903	4
Incomodidad	0.468	4
Inseguridad	0.609	4

Tal como se puede apreciar, el coeficiente alfa de Cronbach del constructo “Utilidad Percibida” fue de un 79%, bastante aceptable. Seguidamente, se obtuvo un índice de 73.6% en la dimensión “Intención de Uso” y un 95.6% corresponde al constructo “Norma Subjetiva”. Este último con una alta consistencia y muy cercano a 1.

Las dimensiones motivadoras del modelo TRI, “Optimismo” e “Innovación” arrojaron un índice de confiabilidad de 89.3% y 90.3%, respectivamente, los cuales se consideran muy bueno. Sin embargo, los constructos inhibidores de actitud al uso de tecnología, “Incomodidad” con un alfa de 46.8% e “Inseguridad” con un valor de Cronbach de 60.9% son respectivamente inferiores al mínimo recomendable de 70%.

5.2.1. Depuración de los ítems

En primer lugar, se realizaron los ajustes (primera y última iteración²) para cada una de las dimensiones del modelo TAM 2 y del TRI para determinar la correlación elemento-total que mide el grado de correlación de cada ítem con respecto a los demás ítems restantes y, el alfa de Cronbach.

A través del análisis de fiabilidad por dimensión y en base a los criterios, se eliminaron 2 ítems pertenecientes al modelo TRI:

- **DIS1.** Algunas veces me parece que los sistemas tecnológicos no están diseñados para el uso de todas las personas.
- **INS2.** No me siento confiado realizar transacciones comerciales con una organización que solo puede ser accedida por internet.

Finalmente, el modelo que en un principio estaba compuesto por 25 ítems muestra que, al eliminar dos ítems, el alfa de Cronbach total dio como resultado un valor de 86.4%, considerado muy bueno. El mismo no presenta diferencia significativa con respecto al valor de confiabilidad del instrumento sin depurar ningún ítem.

5.2.2. Ejecución de un instrumento fiable

Posterior a la validación del instrumento y depuración de los ítems, se desarrolló el instrumento definitivo que se utilizó para la obtención de los datos.

6. Resultados y Discusión

En este apartado, se proporcionan el análisis de datos y los resultados. En la primera sección, el perfil de los encuestados es presentado utilizando estadísticas descriptivas y en la última sección se utiliza el modelo estructural que permite validar o rechazar las hipótesis.

6.1. Composición de la muestra

En este estudio, el objetivo de la muestra fueron los millennials. La siguiente tabla 4 presenta los resultados de la muestra por grupos de segmentación:

Tabla 4. Composición de la muestra: perfil de los encuestados

Características demográficas		Frecuencia	Porcentaje (%)
Rango de edades	23-27	227	59.1
	28-32	67	17.4
	33-38	90	23.4
Sexo	Femenino	216	56.3
	Masculino	168	43.8
Último título obtenido	Bachiller	96	25.0
	Doctorado	3	0.8
	Licenciatura	210	54.7
	Maestría	40	10.4
	Técnico	35	9.1

Nota. El encuestado típico es una mujer de 23 a 27 años.

Del total de los 384 encuestados, un 56% de las mujeres han accedido a participar frente al 44% de los hombres. Por grupo de edad, la muestra se distribuye de la siguiente manera: 227

participantes entre los 23 y 27 años, 67 entre los 28 y 32 años y 90, entre los 33 y 38 años.

La distribución por títulos profesionales nos indica que: más de la mitad de los participantes obtuvieron la licenciatura; un 25%, el bachiller; un 10.4%, la maestría; un 9.1%, el técnico y, solo un 0.8% de los encuestados alcanzó el grado de doctorado.

6.1.1 Conocimiento general del IoT

En la presente dimensión, se le cuestionó al encuestado si conocía sobre el IoT. De los 384 encuestados, 193 respondieron que el IoT es el Internet de las Cosas (Internet of Things) y el resto desconocen este término.

Por último, 95% de los encuestados respondieron que la Nube es una tecnología del IoT. Una posible razón del conocimiento del término de “La Nube” es porque ha sido muy utilizada en los celulares inteligentes en los últimos años para el almacenamiento masivo de información.

Por otro lado, un 80% también ha valorado al ítem PU3 (Paso menos tiempo en la tienda si uso Beacon) desde parcialmente de acuerdo con totalmente de acuerdo y un 84% afirmaron con PU4 (Encontraría el uso del Beacon beneficioso en mis compras). Los ítems de dicha dimensión del modelo TAM obtuvieron promedios entre 5.49 y 5.81 puntos sobre un puntaje máximo de 7 puntos, en donde el PU1 (M=5.81; SD=1.27) y PU4 (M=5.61; SD=1.32) son las principales características que definen la utilidad percibida de la tecnología.

La dimensión de “Intención de Uso” ha sido calificada con poca diferencia entre los ítems, el cual la valoración promedio estuvo dentro del rango comprendido entre 5.21 y 5.27.

Referente a la dimensión “Norma Subjetiva”, la muestra indica que es poco probable que exista la influencia de otros sobre la utilidad percibida y, por ende, aceptación de dicha tecnología; debido a que las puntuaciones promedio estuvieron entre 3.92 y 4.08 puntos sobre una escala máxima de 7 puntos.

Los ítems OPT1 [Las nuevas tecnologías contribuyen a mejorar la calidad de vida (M=5.86; SD=1.33)] y OPT2 [La tecnología me brinda mayor flexibilidad (M=5.98; SD=1.18)] de la actitud “Optimismo” describen mejor al perfil de los encuestados. Por otro lado, se aprecia que la valoración promedio de la dimensión “Innovación” estuvo dentro del rango comprendido entre 4.13 y 5.10, en donde la muestra se inclina más hacia los ítems: INN3 [Me mantengo actualizado en el desarrollo tecnológico de mi área de interés (M=4.88; SD=1.50)] e INN4 [En general, aprendo a usar nuevos productos y servicios de alta tecnología sin la ayuda de otros (M=5.10; SD=1.51)].

La dimensión “Incomodidad” obtuvo un promedio comprendido entre 4.57 y 5.66, el cual 82% de la muestra está parcialmente de acuerdo, de acuerdo o totalmente de acuerdo con el ítem DIS4 [Algunas aplicaciones tecnológicas necesitan del uso del internet (M=5.66; SD=1.40)].

Por último, la actitud “Inseguridad” alcanzó una puntuación comparativamente alta con respecto a las dimensiones mencionadas anteriormente, estando dentro del rango comprendido entre 5.54 y 5.93. El ítem INS4 [Me preocupa que mis datos personales sean filtrados a través de un dispositivo

6.2. Estadística descriptiva

En esta dimensión, se realizó el análisis mediante la distribución de frecuencia, la media y la desviación estándar de cada ítem de las dimensiones del modelo.

El ítem PU1 (La tecnología Beacon me ayudaría a realizar las compras más rápido) de la dimensión “Utilidad Percibida” obtuvo una valoración del 84% participantes que están parcialmente de acuerdo, de acuerdo o totalmente de acuerdo con esta afirmación. En cuanto al PU2 (La tecnología Beacon aumentaría mi satisfacción de compra), el 79% de los millennials están desde parcialmente de acuerdo con totalmente de acuerdo y tan solo el 12% no se muestra de acuerdo ni en desacuerdo.

tecnológico (M=5.93; SD=1.25)] es la principal característica que define el perfil del encuestado.

6.3 Modelo estructural y validación de hipótesis

En esta sección se relacionan las diferentes variables potenciadoras o explicativas (norma subjetiva, optimismo, innovación, disconformidad e inseguridad) con la utilidad percibida para medir la aceptación de la tecnología Beacon y, por ende, la intención de uso. La siguiente tabla 5 resume la relación que existe entre las variables.

Tabla 5. Relación existente entre las variables

Variable independiente	Variable dependiente
SN	PU
OPT	PU
INN	PU
DIS	PU
INS	PU
PU	BI

6.3.1 Análisis de correlación

En primer lugar, se utilizó la correlación bivariada (coeficiente de correlación de Pearson, R) como técnica para determinar la relación entre dos variables: si este es débil, moderada o fuerte en sentido positivo o negativo como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Coefficiente	Interpretación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.80 < r < 1$	Muy alta
$0.60 < r < 0.80$	Alta
$0.40 < r < 0.60$	Moderada
$0.20 < r < 0.40$	Baja
$0 < r < 0.20$	Muy baja
$r = 0$	Nula

Se analizan las dimensiones propuestas del TRI y la norma subjetiva sobre la variable utilidad percibida del modelo TAM. Posteriormente, se determina la influencia de esta última en la intención de uso del consumidor Millennial.

6.3.2 Utilidad percibida de la tecnología Beacon

Existe una correlación significativa entre la utilidad percibida y las características potenciadoras. Los coeficientes alcanzados nos indican lo siguiente:

- En todos los casos se tiene una significancia de 0,000, menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existe una asociación lineal entre las características y la utilidad percibida.
- La correlación de Pearson es positiva y débil para las dimensiones norma subjetiva (0.37), innovación (0.36), incomodidad (0.36) e inseguridad (0.31); mientras que la relación es positiva y moderada en la actitud optimismo (0.64). Por otro lado, se puede interpretar que un 41% de la utilidad percibida es debido al optimismo, un 14% se le atribuye a la norma subjetiva, un 13% tanto para la innovación como para la incomodidad y el 10% de las diferencias encontradas se deben al efecto de la actitud inseguridad percibida.
- El hecho de que todas las correlaciones obtenidas son positivas nos señala que cuando una variable crece la otra también lo hace y, cuando una disminuye lo mismo la otra.

6.3.3 Intención de uso de la tecnología Beacon

La variable influyente, utilidad percibida, es significativo y está relacionado directamente con la dimensión intención de uso. La correlación es positiva y fuerte. En este caso el R^2 (0.79²) es de 0.62, lo que se traduce un 62% de la variabilidad en BI.

Finalmente, las hipótesis propuestas en la investigación fueron confirmadas a través del análisis de regresión múltiple lineal, como se aprecia en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Resumen de las hipótesis

	β	t-value	p-value	Resultado
H1	0.461	25.388	0.000	Aceptada
H2	0.182	4.441	0.000	Aceptada
H3	0.559	11.758	0.000	Aceptada
H4	0.011	0.269	0.788	Rechazada
H5	0.030	0.461	0.645	Rechazada
H6	0.137	2.315	0.021	Significativo, con efecto positivo

La percepción de utilidad influye significativamente en la intención de uso del consumidor acerca de la tecnología Beacon.

Es decir, si la aceptación de este servicio aumenta el desempeño de las compras, incrementaría la intención de uso.

Los minoristas deberían comunicar los beneficios de adoptar servicios de la tecnología Beacon en un entorno físico, tales como la proximidad o navegación interna, el ahorro de tiempo, la conectividad ubicua, información relevante en tiempo real, ofertas y descuentos y, entre otras posibilidades.

Por otra parte, las normas sociales influyeron positivamente en la explicación de la utilidad percibida de la tecnología Beacon. Al aumentar la percepción individual sobre lo que las personas importantes para un individuo piensan, aumenta la percepción de utilidad de dicha tecnología. Según un estudio realizado por Google sobre el uso de las aplicaciones (2015), el 52% de las personas instalan una aplicación por referencia social o familiar.

La posible explicación es debido a la confianza sobre la opinión de alguien cercano o el hecho de tener algo en común influye en la utilidad percibida de la tecnología.

El resultado de la investigación mostró que el optimismo tiene un efecto positivo y significativo sobre la utilidad percibida como lo establece en la H3. Dicha dimensión, del modelo TRI, se destaca del resto con una $\beta=0.559$, mayor en términos de explicación de PU. Se refiere a la actitud positiva hacia la tecnología, como la creencia que les ofrece a las personas un mayor control, conveniencia y eficiencia; por lo tanto, las personas que son optimistas encontrarán que la tecnología Beacon es más útil y creen la misma puede hacer que su compra sea más eficiente que los que no lo son. Este resultado coincide con otras investigaciones sobre la disposición y aceptación de la tecnología, por ejemplo, [15]; [16]; [17]; [18].

La relación establecida entre la variable innovación y la utilidad percibida de la tecnología Beacon no se comportó como se planteó en la hipótesis H4. El valor β fue de 0.011, casi cero contribuciones en términos para explicar la PU y, la p de 0.788 que es mucho mayor que el resto de los valores p.

Muchas investigaciones han indicado que el impacto de la innovación en la utilidad percibida es casi siempre negativo; es decir que, cuando una persona posee un alto nivel de innovación, su percepción de utilidad respecto a la tecnología en estudio disminuye. Los usuarios son más críticos frente a la tecnología ya que, al estar actualizados en los nuevos desarrollos tecnológicos, tienden a tener mayores expectativas y demandas. [19]

En contraste con la hipótesis H5, la incomodidad no es un predictor significativo de la utilidad percibida; es decir que, la falta de control sobre tecnología y la sensación de estar abrumado por ella no afecta significativamente a la PU. Esto explica que las personas con un alto grado de malestar todavía reconozcan el valor principal de una tecnología: la utilidad; pero aun cuando no influya sobre la anterior, probablemente, puede tener un efecto negativo y significativo sobre la intención de uso. Sin embargo, el modelo de dicha investigación solamente se basa en el efecto de la TRI sobre la utilidad percibida. En cuanto a la inseguridad, el efecto es significativo sobre la utilidad percibida; sin embargo, no de manera negativa como se estableció en la hipótesis H6. Es decir que, aun cuando las personas poseen un alto grado de inseguridad percibe a la tecnología Beacon útil ya que éste no necesita mucha interacción con el usuario, la información solo aparece en la pantalla. [15]

Los resultados revelaron que no todas las dimensiones del TRI influyen en la percepción de utilidad, siendo el optimismo el único motivador para la variable en cuestión. [18]

Finalmente, la norma subjetiva y el optimismo del modelo propuesto predicen un 45% de la variable percepción de utilidad; mientras que esta última explica el 62% de la varianza de la intención de uso.

Conclusión

El presente trabajo de investigación cumple con los objetivos establecidos de determinar el nivel de aceptación con respecto a la tecnología Beacon como herramienta para una compra inteligente, fácil y positiva en las tiendas minoristas de Panamá y, que, a su vez, permite concluir lo siguiente:

- Los minoristas deben tener en cuenta la relación entre la aceptación de una tecnología y las actitudes o personalidades de los consumidores antes de implementar cualquier tipo de tecnología en sus tiendas físicas. Como se indicó anteriormente, esta investigación mostró que el nivel de optimismo de los millennials es un factor determinante para la aceptación de la tecnología Beacon en un entorno físico minorista. Por lo tanto, los minoristas deben poner énfasis en explicar el control, la flexibilidad y la eficiencia que la tecnología puede ofrecerle al cliente.
- En cuanto a las normas subjetivas, éstas también influyeron positivamente en la explicación de la utilidad percibida. Al aumentar la percepción individual sobre lo que las personas importantes para un individuo piensan, aumenta la percepción de utilidad de dicha tecnología; por lo que se deben crear estrategias con enfoque en la utilidad de la aplicación ligada al Beacon. Según un estudio realizado por Google sobre el uso de las aplicaciones (2015), el 52% de las personas instalan una aplicación por referencia social o familiar [20]. La posible explicación es debido a la confianza sobre la opinión de alguien cercano o el hecho de tener algo en común.
- En base a los resultados, se mostró que todas las correlaciones obtenidas son positivas. Esto nos indica cuando una variable crece la otra también lo hace y, cuando una disminuye lo mismo la otra. Esto puede afectar significativamente la inserción de una nueva tecnología en el mercado. Esto podría deberse a que entre mayor es la demanda de una tecnología, los errores puedes aumentar.
- Muchos panameños mostraron inseguridad y resistencia hacia la aceptación de ciertas tecnologías que involucren datos personales por un posible miedo al hackeo de sus cuentas. En pocas palabras, los beacons son dispositivos que registran las direcciones donde está el cliente. Desde la perspectiva de un cliente esto no es algo favorable, pues nadie se sentiría cómodo que utilicen la tecnología como base para el

espionaje comercial. Es por ello por lo que, se debe manejar con mucha precaución los datos del cliente que se obtienen a través de las tecnologías beacons; pues el fallo de un solo cliente puede involucrar pérdidas masivas.

- En cuanto al comercio tradicional, es muy importante para los minoristas lograr que los clientes puedan encontrar fácilmente los productos y las promociones que son de su interés; es decir, ofrecer la mayor atención posible. Sin embargo, en la actualidad, las empresas tienen un nuevo medio de llegar a su audiencia mediante la tecnología posibilitando la interacción entre ambos. Los dispositivos inteligentes han logrado impulsar de manera clara el mercadeo de proximidad, haciéndoles llegar a los usuarios información de posible interés.
- Finalmente, los Beacons son una herramienta para lograr una aplicación de mercadeo de proximidad efectiva que les brinda satisfacción a los clientes y responda a sus necesidades e intereses, además permite comunicar un mensaje rápido y personalizado. Fue creada para impulsar y dar valor agregado al sector minorista.

Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación

Las limitaciones del estudio se concretan en: 1) el alto desconocimiento de la muestra sobre el IoT y sus tecnologías 2) la tecnología todavía no se ha implementado en ninguna de las tiendas minoristas de Panamá 3) la eliminación de determinados ítems que el análisis de fiabilidad ha sugerido y por tanto deberían ser reformulados en posteriores estudios, y 4) la falta de variables potenciadoras en términos de la intención de uso.

Futuras líneas de investigación deben centrarse en: 1) ampliar el tamaño de la muestra con consumidores de distintas edades o generaciones e 2) explorar e incorporar nuevas variables que expliquen aún mejor la intención de uso de la tecnología Beacon.

Referencias

- [1] G. Singh, L. Gaur and R. Ramakrishnan, "Internet of Things – Technology Adoption Model in India," *Pertanika Journal Science and Technology*, vol. 25, pp. 835-846, 1 Julio 2017.
- [2] D. Evans, "Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo," 2011.
- [3] E. M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, New York: The Free Press, 1995.
- [4] V. Venkatesh and F. Davis, *A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies*, Management Science, 2000.
- [5] A. Parasuraman and C. Colby, "An updated and streamlined technology readiness index: TRI 2.0," *Journal of Service Research*, pp. 59-74, 2015.
- [6] R. Walczuch, J. Lemmink and S. Streukens, "The effect of service employees' technology readiness on technology acceptance," *Information & Management*, vol. 44, pp. 206-215, 2007.
- [7] M. Igbaria, S. Schiffman and T. Wieckowski, "The respective roles of perceived usefulness and perceived fun in the acceptance of

- microcomputer technology," *Behaviour & Information Technology*, pp. 349-361, 1994.
- [8] H.-P. Lu, "An empirical study of the effect of perceived risk upon intention to use online applications," *Information Management & Computer Security*, pp. 106-120, 2005.
- [9] M. Kahlert, "Understanding Customer Acceptance of Internet of Things Services in Retailing: An Empirical Study About the Moderating Effect of Degree of Technological Autonomy and Shopping Motivations," pp. 1-40, 2016.
- [10] I. Rodríguez and A. Herrero, "Antecedentes de la utilidad percibida en la adopción del comercio electrónico entre particulares y empresas," *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, vol. 34, pp. 107-134, 2008.
- [11] P. Pires, B. Alves and J. Da Cunha, "Technology readiness index factors as differentiating elements between users and non users of internet banking, and as antecedents of the technology acceptance model," *Communications in Computer and Information Science*, vol. 220, pp. 215-229, 2011.
- [12] P. Alarcón Urbistondo and C. Molinillo Domínguez, "Factores Influyentes en la Aceptación de Internet of Things," 2017.
- [13] M. A. Rivera Mariscal and L. Gómez, "La Des-Humanización de la Generación Millennial por la Influencia de la Tecnología," *Jóvenes en la ciencia*, pp. 713-715, 2016.
- [14] M. Quero, "Confiabilidad y coeficiente de alfa de Cronbach," *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, vol. 12, no. 2, pp. 248-252, 2010.
- [15] J. Bank, "Integrating online and offline worlds through mobile technology in physical stores," Mayo 2018. [Online].
- [16] C. J. Bravo, P. E. Ramírez and J. Arenas, "Aceptación del Reconocimiento Facial Como Medida de Vigilancia y Seguridad: Un Estudio Empírico en Chile," *Información Tecnológica*, vol. 29, no. 2, pp. 1-8, 2018.
- [17] K. Koivisto, M. Makkonen, L. Frank and J. Riekkinen, "Extending the Technology Acceptance Model with Personal Innovativeness and Technology Readiness: A Comparison of Three Models," *Bled eConference*, pp. 2-17, 2016.
- [18] K. Kuang-Ming, L. Chung-Feng and M. Chen-Chung, "An investigation of the effect of nurses' technology readiness on the acceptance of mobile electronic medical record systems," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, pp. 1-14, 2013.
- [19] R. Walczuch, J. Lemmink and S. Streukens, "The effect of service employees' technology readiness on technology acceptance," *Information & Management*, pp. 1-10, 2007.
- [20] A. Herrera, "Be Smart IoT," [Online]. Available: <https://be-smart.io/blog/invertir-en-el-marketing-de-proximidad-con-beacons-ya-no-es-un-reto-es-una-realidad/>.

Aplicación e integración de tecnología solar fotovoltaica en edificio residencial de San Juan, Argentina

Alción de las Pléyades Alonso Frank , María Celina Michaux 

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan, Argentina
 afrank@faud.unsj.edu.ar; celinamichaux@faud.unsj.edu.ar
 DOI: 10.33412/pri.v13.1.2904



Resumen: *En un contexto de crisis socio-ambiental en el cual se tiene como meta mitigar el calentamiento global, a la vez de democratizar y alcanzar seguridad energética, la energía solar fotovoltaica genera grandes expectativas por sus posibilidades de adaptación en contextos urbanos, mediante la aplicación e integración en el sector edilicio. En este marco, el presente trabajo tiene por objeto realizar una propuesta de diseño sustentado en la introducción de la tecnología solar fotovoltaica en un edificio residencial de la ciudad de San Juan – Argentina, conforme a sus características morfológicas arquitectónica y urbana. Para ello se emplea el software SketchUp con el cual se diseña dicha propuesta y el System Advisor Model que determina su potencial de generación, producto del autoconsumo, el ahorro energético y económico resultante. Se concluye que es posible alcanzar una producción de energía equivalente al 44% del consumo anual actual.*

Palabras clave: energía renovable, BAPV, BIPV, simulación dinámica, generación distribuida, autoconsumo.

Title: Application and integration of solar photovoltaic technology in a residential building in San Juan, Argentina

Abstract: *In a context of socio-environmental crisis in which the goal is to mitigate global warming, while democratizing and achieving energy security, photovoltaic solar energy generates great expectations due to its possibilities of adaptation in urban contexts, through its application and integration in the building sector. Within this framework, the present work aims to make a design proposal based on the introduction of solar photovoltaic technology in a residential building in the city of San Juan - Argentina, according to its architectural and urban morphological characteristics. For this purpose, the SketchUp software is used to design the proposal and the System Advisor Model is used to determine its generation potential and, as a result of self-consumption, the resulting energy and economic savings. It is*

concluded that it is possible to achieve an energy generation equivalent to 44% of current annual consumption.

Keywords: *renewable energy, BAPV, BIPV, dynamic simulation, distributed generation, self-consumption.*

Tipo de artículo: caso de estudio.

Fecha de recepción: 1 de febrero de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

El grado de urbanización presente en las ciudades imposibilita la implementación de proyectos de generación de energías renovables (ER) a gran escala, motivo por el cual se hace propicio aproximar los centros de producción de energía al punto de consumo [1]. Dentro de las ER, la energía solar fotovoltaica (SFV) genera grandes expectativas por sus posibilidades de adaptación en sistemas conectados a la red de distribución (empleados en contextos urbanos y periurbanos) [2] [3]. En esta línea, hoy se cuenta con una diversidad de posibilidades de aplicación e integración de sistemas SFV en el ámbito de la construcción, suscitando un cambio de concepción de que los edificios consumen energía, pasando también a generarla, disminuyendo de esa manera el impacto nocivo que genera el ambiente construido [4] [5] [6] [7] [8]. La diferencia conceptual existente entre aplicación (BAPV, de sus siglas en inglés “Building Applied Photovoltaics”) e integración (BIPV, de sus siglas en inglés “Building Integrated Photovoltaics”) radica en que la primera refiere a la adaptación de las estructuras SFV a las condiciones específicas de la instalación, una vez finalizada su construcción, mientras que la segunda, a su integración en la envolvente del edificio como reemplazo de un elemento o material de construcción convencional [9] [10]. Puesto que en los BIPV se sustituyen los elementos de la envolvente por dicha tecnología, tienden a tener costos generales más bajos que los BAPV [11].

Lo expuesto refuerza la necesidad de generar un cambio en la concepción del diseño arquitectónico del sector edilicio, el cual debe partir de una mirada holística en donde los sistemas fotovoltaicos dejen de ser vistos con carácter restrictivo y comiencen a posibilitar la conformación de espacios únicos, promovidos por la integración entre el entorno construido y los flujos naturales de energía [12] [8]. De esta manera se constituyen proyectos ambientalmente conscientes, que incluyen el aprovechamiento energético para su posterior autonomía en la etapa de ocupación [13] [14] [15]. Para ello, se procede al análisis de la optimización de la generación SFV, esto es, radiación solar, latitud, entorno edilicio, vegetación, tipo de tecnología SFV, entre otros [16] [17].

Específicamente, basándose en la función, materiales empleados y características mecánicas y eléctricas, los productos BIPV se clasifican en cinco categorías principales acorde a [18]. Los mismos pueden ser laminares, tejas, modulares, acristalamientos de células solares, así como finalmente productos de BAPV. Bajo éstas, diversos tipos de aplicaciones de productos BIPV se integran en varias partes de los sistemas de

construcción [19]. Los elementos distintivos son la cubierta, acristalamientos, sistemas de sombreado y fachadas semitransparentes o muros exteriores [20].

En correspondencia con lo enunciado, es primordial partir del diseño integral sustentado en un marco político-institucional que implemente políticas públicas de generación de ER a escala edilicia [7]. En esta línea, se pone en valor al eficiente modelo de gestión de la demanda eléctrica basado en la penetración de generación distribuida de ER con destino al autoconsumo. Al respecto, la República Argentina sanciona en noviembre de 2017 la Ley N°27.424 “Régimen de fomento a la generación distribuida de ER integrada a la red eléctrica pública” [21], a la cual la Provincia de San Juan se ha adherido mediante Ley N°1.878-A [22]. En favor de ello, la provincia destaca por sus condiciones climáticas, geográficas, así como por la disponibilidad del recurso solar, de manera que el uso de la energía SFV puede explotarse masivamente [23].

En este contexto local favorable, el desafío radica en cómo aprovechar la gran cantidad de edificios existentes para la introducción de dichos sistemas, no habiendo estado ello previsto desde la fase de diseño. En función de lo enunciado, es objetivo realizar una propuesta de diseño holístico fundado en la aplicación e integración de la tecnología SFV en un edificio residencial tipo emplazado en el área central de la ciudad, acorde a su característica morfológica arquitectónica y urbana. Finalmente, a partir de dicha propuesta, se determina la cantidad de energía autoconsumida, la energía inyectada y consumida de la red de distribución, con sus correspondientes ahorros económicos, a efectos de visibilizar el impacto de la propuesta en el consumo edilicio actual.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se basa en un estudio de caso en el cual se procede a diseñar la propuesta con software libre SketchUp versión 2020, para posteriormente determinar y simular la instalación SFV a efectos de establecer el potencial de generación de energía eléctrica y, consecuentemente, el ahorro económico derivado de ello.

Para realizar el diseño, se parte del análisis de la tipología arquitectónica y de las particularidades del entorno urbano, en conjunto a los datos del consumo de energía eléctrica del edificio. Dichos datos se integran en una simulación dinámica permitiendo conocer el potencial de generación renovable por mes, en un rango de un año. Ello posibilita determinar la cantidad de energía que será generada in situ, así como la que se requerirá de la red eléctrica de distribución, cuando la generación SFV no alcance para abastecer la carga de éste [24]. La simulación dinámica se efectúa con software libre System Advisor Model (SAM) [25], el cual es una herramienta reconocida a nivel internacional que ha sido elaborada por el “Unit State Department of Energy” y que permite efectuar el cálculo de la instalación.

3. Descripción del caso de estudio

En el marco del área de estudio del Proyecto de Investigación [26], se analizan las manzanas que a nivel urbano generan las mayores cargas térmicas. Según estudios locales realizados por

[27], las mismas se encuentran en el área central (ver Figura 1), seleccionándose de esta manera un edificio emplazado en torno a la plaza “25 de Mayo” de la ciudad (ver figura 2).

El edificio en estudio, de 8062 m² cubiertos, se ejecuta en 1996 con construcción de tipo tradicional (muros de ladrillón, revoque, pintura y losas macizas), destacándose su carácter másico (ver figuras 3 y 4).

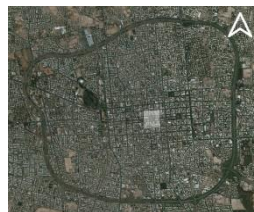


Figura 1: Delimitación intra-anillo de la ciudad de San Juan. En blanco se demarca el área central de análisis.

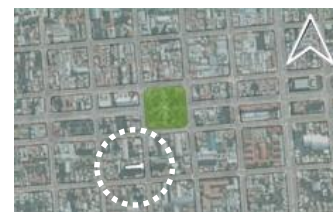


Figura 2: Zoom del área central de la ciudad de San Juan. En blanco se demarca el edificio en estudio.

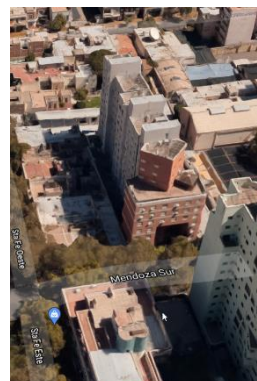


Figura 3: Imagen del edificio en estudio [28].

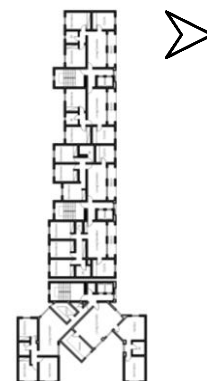


Figura 4: Planta tipo del edificio en estudio [29].

En relación al análisis de los consumos mensuales de energía eléctrica, los mismos son provistos por el ente provincial [30] y se exponen en figura 5. En consecuencia, el edificio posee un consumo anual de 17,65 kWh/m².año (incluidos espacios de uso común).

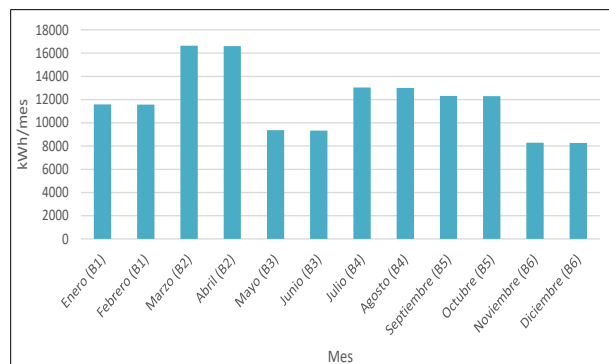


Figura 5: Consumo mensual por período de un año del edificio en estudio (Referencia: B=Bimestre) [30].

4. Propuesta de diseño

En primer lugar, se acentúan los niveles de radiación solar local (ver tabla 1), los cuales presentan excelentes posibilidades en el aprovechamiento de esta energía para transformación SFV y solar-térmica [31], de manera que el proyecto resulta técnicamente viable desde el punto de vista de dicho recurso.

Tabla 1: Promedios mensuales de la radiación solar global diaria incidente sobre el plano horizontal [31].

Mes	Radiación Solar media diaria (kWh/m ²)	Desvío estándar (kWh/m ²)
Enero	7,7	0,3
Febrero	7,2	0,3
Marzo	6,0	0,5
Abril	4,7	0,2
Mayo	3,8	0,1
Junio	2,9	0,5
Julio	2,9	0,4
Agosto	4,2	0,2
Septiembre	5,2	0,7
Octubre	7,0	0,3
Noviembre	7,9	0,2
Diciembre	8,2	0,3

Para el diseño de la propuesta se procede a seleccionar los paneles SFV, considerando aquellos disponibles en el mercado nacional que se adecúen a la morfología arquitectónica. En el edificio en estudio, los mismos son del tipo policristalino en el caso de la cubierta, con potencia nominal de 280 Wp (Modelo SOL-60P-280) y del tipo monocristalino en el caso de la fachada, con potencia nominal de 395 Wp (Modelo SOL-72M-395). Sus dimensiones son de 1560 x 991 x 35mm y 2008 x 1002 x 40mm, respectivamente, poseen vidrio templado y marco de aleación de aluminio anodizado. Según norma de fabricación, son de fácil montaje, tienen una estructura celular de alto rendimiento en entornos con poca luz e irradiación con mayor eficiencia de conversión (17,74 %), tolerancia de potencia positiva 0 ~ + 3%, inspección doble EL 100% que garantiza que los módulos estén libres de defectos. Así mismo, 12 años de garantía de rendimiento al 90% y 30 años de garantía de rendimiento al 80%, además de estar certificados por TUV, CE, UL.

Para el montaje del panel en el paramento superior se propone la estructura que se observa en figura 6, mientras que, para los paneles dispuestos en la fachada del edificio, la estructura que se presenta en figura 7. En ambos casos, las mismas deben ser calculadas para que soporten el peso propio, la acción del viento y del sismo. De [32] se tiene que la bajada del cableado desde los paneles hasta el tablero de control del sistema se realiza mediante electroductos de caño galvanizado para prevenir el deterioro de las vías de transmisión por efecto de los rayos ultravioletas.

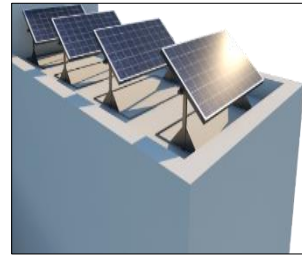


Figura 6: Estructura de montaje sobre la cubierta del edificio en estudio.

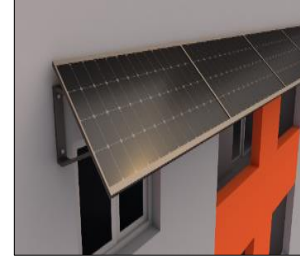
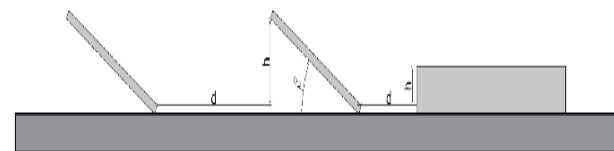


Figura 7: Estructura de montaje en fachada del edificio en estudio.

Para el diseño de la instalación se parte de considerar la óptima inclinación de los paneles SFV (β), esto es, el ángulo que se forma respecto de la horizontal. A efectos de alcanzar la máxima producción anual de energía, la misma se corresponde con la latitud geográfica, esto es, 31° (ver figura 8).



$$d = \frac{h}{\tan(\alpha_c)} \quad (1)$$

$$\alpha_c = 90 - \text{Latitud} - 23,5 - 7 \quad (2)$$

Donde:

d= Distancia entre colector y obstáculo

h= Altura proyectada por el colector

α_c = Valor de la altura solar

Figura 8: Determinación de la separación entre paneles de los volúmenes de tanque del edificio en estudio [33].

Acorde a lo expuesto, se modela el edificio residencial en estudio, al igual que su entorno inmediato y se georreferencia para visualizar la incidencia de las sombras del entorno sobre éste, las cuales se obtienen asimismo en la simulación.

Durante el proceso de diseño se sortean restricciones por orientaciones, límites espaciales y aspectos morfológicos preexistentes. Como resultado, se colocan 120 paneles. Del total, 90 se ubican en la fachada norte, cumpliendo la función de protección solar de ventanas y aberturas. Éstos se disponen de forma contigua, formando 5 bandas horizontales que fortalecen la estética del edificio y generan continuidad entre los dos volúmenes de departamentos. La separación vertical, entre bandas, se fundamenta por la sombra arrojada de los paneles superiores sobre los inferiores. Además, producto de la existencia de balcones entre bandas de paneles, resulta posible desplegar estructuras auxiliares, tipo escaleras marineras, que faciliten su limpieza y mantenimiento. Sobre las tres torres de tanques de agua y ascensores se disponen 30 paneles, esto es, 10 paneles por torre. Debido a su ubicación espacial, no se ven afectados por sombras de construcciones externas. Al ser volúmenes separados entre sí, su mantenimiento es de sencilla resolución.

Por otra parte, en la terraza del edificio no se colocan paneles SFV producto de la estructura existente de tenders (tipo jaulas) en toda su extensión, donde cada departamento cuenta con un lugar cerrado y seguro para colgar y secar ropa. De igual manera, dicho espacio se ve afectado casi en su totalidad por las sombras arrojadas por las torres de tanques de 6 metros de altura, así como del parapeto, lo cual imposibilitaría su aprovechamiento para generación energética. En esta línea se distingue que las particularidades propias del diseño arquitectónico inciden directamente en la definición de la instalación SFV por cuanto deben, en adelante, ser consideradas por los proyectistas en la fase de diseño como punto de partida. De esta manera se garantiza la conformación de espacios que promuevan la integración entre el objeto construido y los recursos energéticos renovables. Como resultado, el diseño se detalla en figura 9.

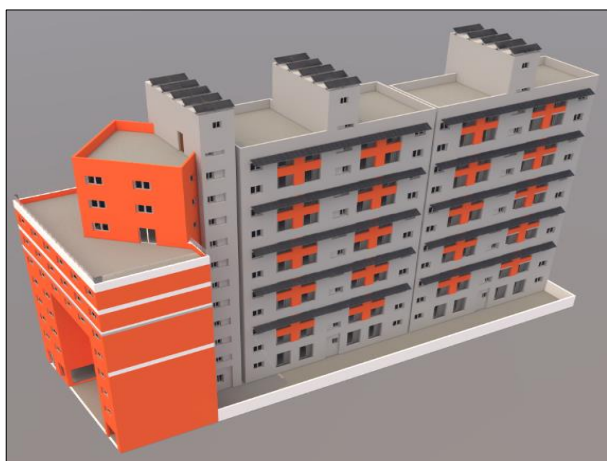


Figura 9: Propuesta de diseño de aplicación e integración de tecnología SFV en el edificio en estudio.

5. Simulación

La simulación dinámica realizada con software SAM permite conocer la presencia de sombras sobre los paneles, todos los días del año. Particularmente, en el caso de la cubierta, los paneles no generan sombra los unos a los otros producto de su separación, así como tampoco reciben sombras de edificaciones del entorno. De esta manera, se encuentran totalmente expuestos a la radiación, recibiendo 14 horas de asoleamiento absoluto en los meses de diciembre y enero; 13 horas en febrero, marzo y noviembre; 12 horas en abril, septiembre y octubre; y, entre 9 y 10 horas entre mayo y agosto. En figura 10 se visualizan, a modo de ejemplo, las situaciones de sombras en período de verano e invierno.

En contraposición, en los paneles de la fachada las sombras al mediodía solar varían durante todo el año, dadas las sombras que arrojan los paneles de las filas inmediatas superiores a las inferiores. Distintamente, el extremo Este de la construcción incide únicamente en los primeros paneles de las dos filas inferiores. En este sentido, diciembre y enero se presentan como los meses menos beneficiosos con un total de 4 horas de asoleamiento absoluto, seguidos de febrero y noviembre con 7 horas. Entre mayo y agosto se obtienen 10 horas, producto de

que los paneles no generan sombras entre sí al tener una separación de 6 metros de altura. Finalmente, en marzo, abril, septiembre y octubre se tienen 12 horas, siendo éstos los meses más favorables. En figura 11 se visualizan, en correspondencia, las situaciones de sombras en período de verano e invierno.

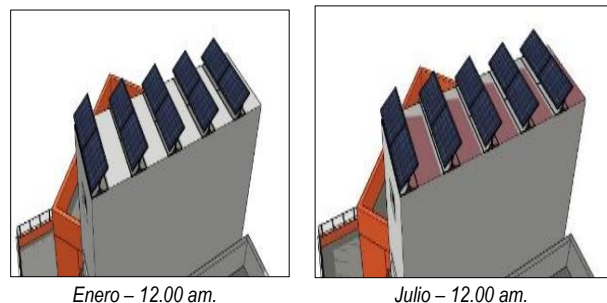


Figura 10: Sombras de la instalación SFV sobre la cubierta del edificio en estudio.

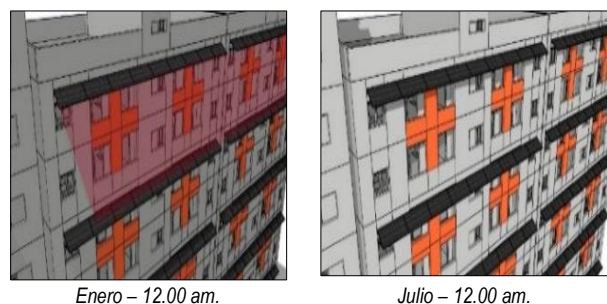


Figura 11: Sombras de la instalación SFV sobre la fachada del edificio en estudio.

Seguidamente, se procede a la simulación energética, la cual integra el suministro de energía fotovoltaica con el consumo de energía real del edificio. En el proceso de simulación se dimensiona y configura el sistema SFV (paneles e inversores, entre otros). Se señala que dicho proceso no es lineal, puesto que la cantidad de paneles por cadena determina la tensión de circuito abierto (Voc) y la tensión en el punto de potencia máxima (Vmp) de la cadena del subarreglo. Para el caso de estudio, el mismo se compone de cuatro subarreglos (subarray), con iguales longitudes en la cadena (strings), orientación y seguimiento. En la fachada Norte se colocan tres subarreglos, cada uno compuesto por tres cadenas conectadas en paralelo. A su vez, cada cadena está formada por 10 paneles conectados en serie. El cuarto subarreglo pertenece a los paneles ubicados sobre la cubierta y está integrado por tres cadenas conectadas entre sí en paralelo, con 10 paneles cada una conectadas entre sí en serie, resultando en un total de 30 paneles. La interconexión entre las paneles se ejecuta mediante cañería embutida dispuesta sobre fachada y cubierta de acuerdo con la normativa vigente en [34].

Por su parte, en el diseño de la instalación el inversor es un equipo clave puesto que inyecta energía en la red de distribución a partir de la generada por los paneles solares. A través del mismo se convierte la energía producida por el campo solar en corriente

continua (CC) a corriente alterna (CA), suministrando esta energía a los consumos del edificio e inyectando el excedente en la red de distribución [35]. En base a [36], para su selección se analiza la corriente máxima de entrada al inversor y el rango de tensiones en que éste puede trabajar, entre otros, por cuanto en el presente estudio se dispone un inversor para los tres subarreglos de la fachada y otro para el subarreglo de la cubierta. Debido a que el diseño propuesto cuenta con dos inversores, la instalación se ejecuta bajo el esquema B.1 de múltiples unidades de generación dispuesto en el anexo B en [37]. Determinada la instalación, SAM calcula la cantidad de energía generada por mes durante el período de un año. La figura 13 expone dichos valores y los compara con los consumos propios del edificio. En correspondencia, en figura 14 se observa la potencia de generación anual de la cubierta y fachada.

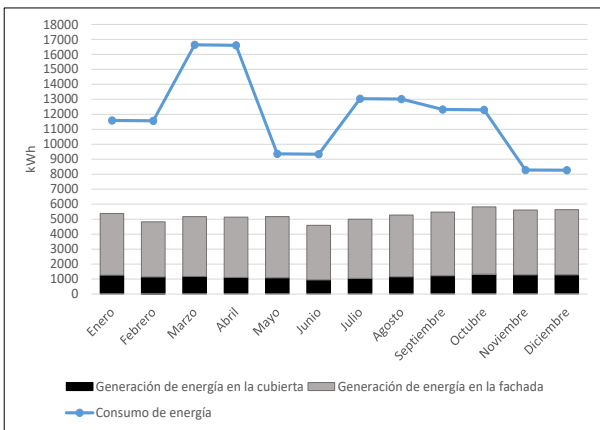


Figura 13: Generación de energía de los paneles y consumos de red mensuales – Edificio en estudio [25].

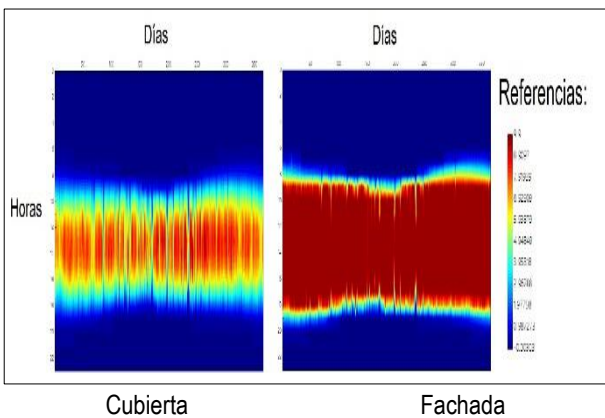


Figura 14: Sistema de generación anual (kW) – Edificio en estudio [25].

De los resultados obtenidos se acentúa que la generación de energía solar asciende a 63062,45 kWh/año, siendo equivalente al 44% del consumo de energía eléctrica anual actual.

Por último, partiendo de que los habitantes del edificio en estudio podrán convertirse en usuarios-generadores en virtud de la Ley de referencia, se procede a determinar la cantidad de

energía que será autoconsumida. Según [38] se estima que dicho valor puede alcanzar el 40%, mientras que el excedente es inyectado a la red de distribución, tal como se observa en figura 14. Como resultado se obtiene un ahorro por autoconsumo porcentual anual de 17,73%.

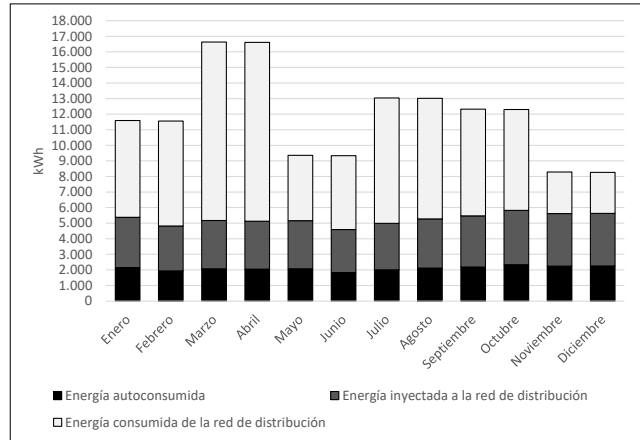


Figura 14: Energía autoconsumida e inyectada y consumida de la red de distribución – Edificio en estudio.

De acuerdo con lo indicado por la Ley Nacional, la energía autoconsumida debe valorizarse al precio de la tarifa minorista local actual, mientras que la energía inyectada, al precio monómico estacional determinado por [39]. En base a los valores oficiales, la tabla 2 muestra los ahorros económicos que serían percibidos en las facturas de energía eléctrica por mes, en el período de un año.

Tabla 2: Ahorro económico en la factura de energía local [USD].

Mes	Ahorro económico por energía autoconsumida *	Ahorro económico por energía inyectada a la red **	Ahorro económico total
Enero	\$ 102,14	\$ 86,00	\$ 188,14
Febrero	\$ 91,59	\$ 77,12	\$ 168,72
Marzo	\$ 98,18	\$ 82,67	\$ 180,85
Abril	\$ 97,47	\$ 82,07	\$ 179,53
Mayo	\$ 98,09	\$ 82,59	\$ 180,68
Junio	\$ 87,15	\$ 73,38	\$ 160,53
Julio	\$ 94,86	\$ 79,88	\$ 174,74
Agosto	\$ 100,24	\$ 84,40	\$ 184,64
Septiembre	\$ 103,94	\$ 87,52	\$ 191,46
Octubre	\$ 110,61	\$ 93,14	\$ 203,75
Noviembre	\$ 106,58	\$ 89,74	\$ 196,32
Diciembre	\$ 106,94	\$ 90,04	\$ 196,98
		Ahorro económico total anual	\$ 2.206,34

*Según tarifa minorista vigente de la empresa Energía San Juan (01/2021) correspondiente a 0,0474 USD/kWh.

**Según el Informe mensual de CAMMESA (11/2020) correspondiente a 0,0253 USD/kWh, en respuesta al artículo 36 de la Ley N° 24.065.

En relación al ahorro económico obtenido en Tabla 2, se destaca que la energía eléctrica se encuentra subsidiada en el país desde hace más de dos décadas [40]. Estudios locales muestran que, puesto que las decisiones de inversión en generación distribuida de ER se ven significativamente afectadas por los costos de la tecnología, las condiciones financieras nacionales y las tarifas, a la fecha la misma no es rentable en el sector residencial [41]. No obstante, conforme al avance de otorgamientos de incentivos, garantías y préstamos de las nuevas reglamentaciones nacionales y provinciales, se espera revertir dicha situación. Se prevé, en futuras investigaciones, profundizar sobre este análisis.

Conclusión

El presente trabajo hace hincapié en la necesidad de plantear opciones de abastecimiento energético limpio, como alternativa a las tecnologías tradicionales contaminantes. Al respecto, la aplicación e integración masiva de paneles SFV en edificaciones es el camino a seguir, más aún en un entorno normativo nacional favorable para su implementación.

Dado el potencial de recurso solar, la simulación de la instalación SFV producto de su introducción en un edificio residencial tipo emplazado en el área central de la ciudad, devela que se genera el equivalente al 44% del actual consumo de energía eléctrica, con un ahorro económico por autoconsumo del 17,73%. Esto último de acuerdo a las especificaciones de la legislación nacional. Se concluye que dichos porcentajes son importantes, partiendo de que el diseño del edificio no está concebido para su incorporación.

Referencias

- [1] C. Pilar, L. Vera, C. Martínez y A. Poladian, «Estudio de factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas tipo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,» *Revista Arquitecto*, 13, pp. 25-34, 2019.
- [2] V. A. Bortoloto, A. J. Souza, G. Gois, M. A. Martins, M. J. Berge y G. K. Montanha, «Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid,» de VI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica, Brasil, 2017.
- [3] M. Alves, Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid (Tesis), João Monlevade, Brasil: Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.
- [4] N. Martín Chivelet, «Los módulos fotovoltaicos en la edificación: posibilidades y directrices de diseño,» *Técnica industrial*, n° 296, pp. 26-35, 2011.
- [5] J. Mundo, B. De Celis, C. Valerdi y J. Sosa, «Integración de sistemas de energía solar fotovoltaica en el edificio de oficinas del ZAE en Alemania,» *Hábitat Sustentable*, n° 2, p. 59-72, 2012.
- [6] A. M. Memari, L. D. Lulo, R. L. Solnosk y C. R. Stultz, «Building Integrated Photovoltaic Systems for Single Family Dwellings: Innovation Concepts,» *Open Journal of Civil Engineering*, n° 4, pp. 102-119, 2014.
- [7] C. A. Pilar, «El sol como inspiración del diseño biomimético,» *Revista Arquitecto*, n° 11, pp. 77-86, 2018.
- [8] 2. Autor.
- [9] C. Peng, Y. Huang y Z. Wu, «Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China,» *Energy and Buildings*, vol. 43, n° 12, p. 3592-3598, 2011.
- [10] M. J. Sorgato, K. Schneider y R. Rüther, «Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate,» *Renewable Energy*, n° 118, p. 84-98, 2018.
- [11] J. S. Ruiz Zapata, Evaluación Financiera de la Utilización de los Elementos Generadores de Energía Renovable en las Edificaciones en Colombia (Tesis de Maestría en Sistemas Energéticos), Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2019.
- [12] J. G. Guarachi Flores, R. G. Alvarado y J. Muñoz, «Integración arquitectónica de la fachada fotovoltaica. Potencial solar y percepción de usuario en la vivienda colectiva,» *Revista científica de Arquitectura y Urbanismo*, vol. 37, n° 2, pp. 33-48, 2016.
- [13] S. C. Carrizo, «Sobre un nuevo paradigma socio técnico, en pos de una energía 3D: distribuida, descarbonizada y digital,» de XXXII Jornadas de Investigación - XIV Encuentro Regional, Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [14] V. A. Gallipoliti, «Contexto y pautas de intervención de tecnología fotovoltaica en edificios de la región NEA,» *Revista Arquitecto*, n° 14, pp. 105-113, 2019.
- [15] 1. Autor.
- [16] H. G. Grossi Gallegos y R. Righini, «Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar integrados a edificios,» *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, n° 31, 2013.
- [17] M. Salvetti, Modelo de diseño de edificios en altura energéticamente eficientes para centros urbanos de alta densidad (Tesis Doctoral), La Plata, Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata, 2015.
- [18] A. K. Shukla, K. Sudhakar y P. Baredar, «Recent advancement in BIPV product technologies: A review,» *Energy and Buildings*, n° 140, p. 188-195, 2017.
- [19] A. K. Shukla, K. Sudhakar y P. Baredar, «Design, simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India,» *Solar Energy*, n° 136, p. 437-449, 2016.
- [20] E. Zalamea León y F. Quesada, «Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales,» *Revista de Arquitectura*, vol. 19, n° 1, pp. 56-69, 2017.
- [21] Ley N° 27.424. Régimen de Fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública, 2017.
- [22] Ley N° 1.878-A. Adhesión a la Ley N° 27.424, 2018.
- [23] D. Pontoriero, M. Facchini, J. Serrano Mora y G. Barón, «Evaluación de sistema fotovoltaico en edificio comercial conectado a red de distribución en la provincia de San Juan,» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, n° 19, pp. 04.29-04.40, 2015.
- [24] D. Pontoriero, M. Facchini, J. Serrano Mora, G. Barón y L. Hoese, «Evaluación Técnica de Sistemas de Generación Fotovoltaica Conectada a Redes de Distribución,» de XV Encuentro Regional Ibero-Americano del CIGRE, Brasil, 2013.
- [25] System Advisor Model (SAM) Versión 2020.2.29., 2020. [En línea]. Available: <https://sam.nrel.gov/download.html>.
- [26] 3. Autor.
- [27] A. Papparelli, A. Kurbán y M. Cúnsulo, «Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan, Argentina: análisis evolutivo,» *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, vol. 7, n° 7, pp. 110-12, 2011.
- [28] Google, «Google Street View,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ar/maps/@-31.5360737,-68.5480001,6133m/data=!3m1!1e3>.
- [29] Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano, *Plano de Arquitectura*, San Juan, 2018.
- [30] Ente Provincial Regulador de la Electricidad (EPRE), *Consumos de energía eléctrica*, San Juan, 2019.
- [31] C. Raichijk, H. Grossi Gallegos, R. Aristegui y R. Righini, «Sobre el recurso solar en la provincia de San Juan,» de Tercer Congreso Nacional – Segundo Congreso Iberoamericano. Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN, San Juan, 2009.
- [32] M. S. Roitman, A. Mestrallet, M. D. Aramburu y R. Rossi, «Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar de la Ciudad de Córdoba,» *Revista de la Facultad de*

- Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 2, n° 2, pp. 37-43, 2015.
- [33] Secretaría de Energía, «Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica,» Buenos Aires, 2019.
- [34] A. E. Argentina, AEA 90364-5 - Reglamento para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles - Parte 5: Elección e Instalación de los Materiales Eléctricos, Buenos Aires: AEA, 2006.
- [35] H. Socolovsky, D. Raggio, J. Fernandez Vazquez y O. Romanelli, «Aspectos sobre operación y normativas de inversores fotovoltaicos para inyección a red de baja tensión,» de *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, La Plata, Buenos Aires, 2016.
- [36] F. A. Morán, M. L. Facchini, D. H. Pontoriero, V. M. Doña y A. G. Galvan, «Balance energético del comportamiento de un sistema fotovoltaico instalado en una vivienda residencial conectado a la red eléctrica de distribución,» *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, n° 32, p. 37 – 44, 2013.
- [37] A. E. Argentina, AEA 92559-3 - Sistemas de generación de energía mediante fuentes renovables, conectadas a la red de baja tensión, Buenos Aires: AEA, 2018.
- [38] Secretaría de Energía, «Calculador solar: Autoconsumo residencial,» 2020. [En línea]. Available: <https://calculadorsolar.minem.gob.ar/calculador>.
- [39] Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA), *Precio monómico estacional de energía eléctrica*, Buenos Aires, 2020.
- [40] G. Pesce, F. Pedroni, E. El Alabi y P. Di Rocco, «Mercado de energía eléctrica mayorista en la Argentina: ¿Y si hubiese riesgo de precio?. Una propuesta de derivados,» de *40 Jornadas Nacionales de Administración Financiera*, Virtual - Plataforma Zoom, 2020.
- [41] G. Coria, F. Penizzotto y R. Pringles, «Economic Analysis of Rooftop Solar PV Systems in Argentina,» *EEE Latin America Transactions*, vol. 18, n° 1, pp. 32-42, 2020.

Entrevista a la Dra. Eva Ortega Paino, Presidenta de la Red de científicos españoles en el exterior y Directora Científica del Biobanco del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO)

Dra. Aránzazu Berbey Álvarez 

Universidad Tecnológica de Panamá. Vicerrectoría Académica.
 aranzazu.berbey@utp.ac.pa
 DOI: 10.33412/pri.v13.1.3468



Doctora en C.C. Químicas por la Universidad Complutense de Madrid en la especialidad de Bioquímica y Biología Molecular. Su carrera científica se sitúa principalmente en Suecia (Universidad de Lund) y Noruega donde ha trabajado tanto en industria como academia. Aparte de su trabajo científico, Eva ha ostentado también los cargos de Presidente del Consejo de Residentes de Españoles (CRE) en Suecia, Consejera por Suecia en el CGCEE (Consejo General de la ciudadanía española en el exterior), vicepresidenta de la ACES (Asociación de Científicos Españoles en Suecia). Actualmente es la Secretaria General de RAICEX, Embajadora de ACES en España y la Directora Científica del Biobanco del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) en Madrid, España.

Según su experiencia como científica europea, ¿cuál considera usted es el impacto de las redes internacionales de científicos para visibilizar la ciencia desde una perspectiva global? Indistintamente de la temática, nacionalidad de los miembros de las redes científicas ¿Qué recomendaciones prácticas nos puede ofrecer para la gestión efectiva de redes científicas? ¿Qué estrategias recomienda para alcanzar y sostener esas características de éxito que le permitan a una red científica alcanzar y mantener altos niveles de impacto?

Las redes científicas, y centrándonos en RAICEX (La Red de Asociaciones de Investigadores y



Figura 1. Dra. Eva Ortega- Paino.

Científicos Españoles en el Exterior) de la que soy Secretaria General, tiene como misión la de favorecer el intercambio de experiencias y conocimientos entre los investigadores y científicos españoles en el exterior y todos los agentes del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, sirviendo como órgano asesor, canalizador de información y catalizador de las relaciones internacionales y multidireccionales en materia científica, contribuyendo así al progreso de la ciencia. Una de las principales metas es generar una voz única que, respetando la independencia de cada asociación, englobe en un foro común a los científicos e investigadores españoles en el exterior, para poder alcanzar los siguientes objetivos:

1. El apoyo a los investigadores y científicos en materia de movilidad y desarrollo profesional, ofreciendo formación, información y orientación, así como proporcionando contacto con todas las asociaciones.
2. La difusión del prestigio y la visibilidad al valor de la Ciencia y de la labor de los de investigadores y científicos, promoviendo la comunicación de los avances del conocimiento en todos los ámbitos de la sociedad.
3. Incentivar las relaciones internacionales y la colaboración entre investigadores, organizaciones y organismos públicos y privados, desde una perspectiva global en materia de investigación, ciencia y tecnología, promoviendo por tanto el trabajo en red.
4. Compartir la experiencia y los conocimientos adquiridos en los diferentes sistemas de investigación y ciencia en el exterior para asesorar, retroalimentar y contribuir al progreso del conjunto del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Sus publicaciones en *Researgate*, *Google Scholar* y su experiencia como científica evidencian un trabajo de investigación en el campo de la biología estructural (estructural biology), biología celular y molecular (cell-molecular biology), biobancos (biobanks) y redes de biobancos (biobank networks) entre otros temas. ¿Qué características tecnológicas, de calidad y bioseguridad debe tener un biobanco? Coméntenos sobre normativas europeas existentes sobre estos temas. En Panamá, a partir del 2019, se lanzó un proyecto de biobanco en la Ciudad del Saber. ¿Qué beneficios le aportaría a un país el establecimiento y consolidación de un biobanco, de cara a la investigación médica nacional e internacional de enfermedades complejas o raras (huérfanas), a las políticas de salud públicas, agrícolas y ambientales?

Los biobancos o biorepositorios son establecimientos públicos o privados donde se almacenan muestras biológicas, normalmente humanas, y los datos asociados a estas para su uso en investigación. Los biobancos, que se cimientan sobre los pilares de la calidad, la confidencialidad y la trazabilidad, son cruciales en la investigación biomédica y transnacional, para revertir a la sociedad en una investigación de calidad que se traduzca en medicina personalizada con tratamientos efectivos que mejoren no solo nuestra salud, sino también nuestra calidad de vida.

Los biobancos, regulados bajo los marcos legales de cada país, almacenan no sólo muestras de pacientes, sino también de donantes sanos, bien para estudios de una enfermedad en particular, o como colecciones poblacionales y longitudinales en el tiempo para estudios epidemiológicos. El caso del Biobanco CNIO, en el cual trabajo, es una plataforma de servicios que tiene como objetivo fomentar la investigación biomédica facilitando el acceso a muestras humanas por parte de los investigadores y asegurando a la vez la captación y el uso de muestras humanas. Estos objetivos se deben conseguir asegurando y respetando el marco legal y ético que protegen los derechos de los donantes, recogidos tanto en la legislación española como las recomendaciones internacionales, sin olvidar en ningún momento los criterios de calidad tanto en la captación de muestras como en su posterior gestión.

Como he mencionado los biobancos son una marca de calidad para la futura investigación biomédica, y es por esto que dichos establecimientos deberían acreditarse según la normativa ISO 20387 en la que se establecen los "requisitos generales para la competencia técnica, imparcialidad y funcionamiento de los biobancos, incluyendo requisitos de control de calidad para asegurar la calidad apropiada de las colecciones de material biológico y de datos asociados", según señala la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación), aunque

actualmente muchos biobancos están todavía en el proceso de alcanzar dicha meta.

Al igual que con la calidad, la confidencialidad de los donantes y sus datos clínicos, como segundo pilar, se verá siempre salvaguardada por las normativas vigentes tanto nacionales como europeas (tal y como marca la GDPR). Es muy importante no vulnerar los derechos de los donantes, así como lo es contar con la voz de estos dentro de la gobernanza de los biobancos.

Sin duda alguna los biobancos son importantes tanto por la calidad de las muestras, como por la cantidad accesible de éstas, sobre todo en el campo de las enfermedades raras, donde la incidencia es muy baja y el número de muestras puede llegar ser un factor limitante para una investigación con suficiente potencia estadística. Es por ello que es muy importante el fomentar y participar las redes de biobancos internacionales, y un ejemplo de esto es el consorcio europeo BBMRI-ERIC, que a día de hoy consta de 16 países miembro y 5 observadores (entre los que se encuentra la IARC). El objetivo principal del consorcio es reunir a los principales actores dentro del campo de los biobancos, es decir a los investigadores, los biobancos, los pacientes y la industria farmacéutica y tecnológica para potenciar la investigación biomédica en todos sus campos.

Con respecto a políticas agrícolas y ambientales es importante señalar un artículo publicado por el grupo de Matthew Ryan del Centro de Biociencia Agrícola Internacional en "Trends in Microbiology" (Ryan et al. Development of Microbiome Biobanks - Challenges and Opportunities 2021. *Trends Microbiol.* 2021 Feb;29(2):89-92) en donde los autores señalan una lista de muestras que deben conservarse desde una perspectiva científica, económica, social y ambiental, destacando la necesidad de orientar los biobancos modernos al almacenamiento de microbiomas. Este otro tipo de biobancos, que no almacenan muestras humanas, pueden ser cruciales para el mantenimiento de especies agrícolas, así como biodiversidad en general para un futuro, sobre todo considerando los retos globales y desastres naturales que nos vienen acechando de un tiempo a esta parte.

En América latina existen redes de alta velocidad para investigación y educación tales como: RedCLARA, RENATA en Colombia o CUDI en México, que agrupan a docentes, científicos e investigadores. En Panamá existen asociaciones nacionales de científicos panameños y residentes como la Asociación panameña para el avance de la ciencia (APANAC), Ciencia en Panamá, Fundación panameña para la promoción de las matemáticas (PROMAT) entre otras. La pandemia del Covid-19 ha venido a revolucionarlo todo. ¿Qué recomendaciones pudiese ofrecernos para internacionalizar más estas asociaciones de

ciencias nacionales de cara a la divulgación científica, diplomacia científica y popularización de la ciencia?

La pandemia de la Covid-19 ha visibilizado la necesidad de respuestas inmediatas para retos globales, y en este caso, más que nunca se ha visto la necesidad de colaboración a nivel internacional para un nuevo reto sin precedentes. Claramente, el principal protagonista ha sido la ciencia cuyo objetivo principal es dar respuestas y servir a la sociedad. La Ciencia, la Tecnología y la Innovación, sin duda alguna, son el motor del desarrollo, y sin desarrollo no hay futuro. Es importantísimo no solo potenciar la diplomacia científica para poder asumir estos retos y darles soluciones de una manera unánime y global, sino también para poder enfrentarnos a otro tipo de desafíos como el cambio climático, los desastres naturales, la pérdida de biodiversidad y la seguridad cibernética, entre otros. También es muy importante el papel que juega en otros ámbitos como la marca país, tanto a nivel académico como de empresas, para un desarrollo sostenible en el tiempo, tanto a corto como a largo plazo, así como para potenciar la colaboración y las relaciones internacionales.

En el caso de RAICEX, la red actúa como consultor y asesor en estos campos, trayendo la experiencia de nuestros investigadores en distintos sistemas de I+D+i en 18 países en los cinco continentes, nutriendo con políticas diversas y proporcionando posibles soluciones que pueden hacer mejorar y potenciar nuestro sistema nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Ya en el campo de la divulgación científica y como el mismo Cervantes decía, "Ninguna ciencia, en cuanto a ciencia, engaña; el engaño está en quien no la sabe", y bajo esta premisa nace la necesidad, o más bien la obligación que tiene el investigador, de comunicar a la sociedad en su idioma, en palabras del divulgador científico Ramón Núñez Centella. La sociedad tiene el derecho de conocer los nuevos descubrimientos científicos, y el científico tiene el deber de contarle a la sociedad, en un lenguaje divulgativo, el papel que tiene encomendando como investigador.

La sociedad necesita de la ciencia, tanto como la ciencia se nutre de la sociedad.

Puede compartirnos alguna experiencia suya en el ámbito de la docencia, investigación, gestión universitaria, gestión de biobancos o internacionalización que le haya resultado especialmente memorable en su CV.

Agradezco esta pregunta y me gustaría resaltar el curso de doctorado, que incluye un simposio a puertas abiertas, que vengo organizando desde el año 2014 en Biobancos desde la Universidad de Lund (Suecia). Esta aventura, que empecé en solitario, ha venido desarrollándose durante los años y a día de hoy es una colaboración entre la Universidad de Lund, la de Copenhague (Dinamarca), el Biobanco Nacional Danés, la Universidad de Helsinki (Finlandia) y el CNIO.

Además de este curso me gustaría señalar la recién creada Red Nacional de Metástasis Cerebral (RENACER). Esta red es un proyecto conjunto del Biobanco CNIO y del grupo de Metástasis Cerebral, dirigido por el Dr. Manuel Valiente, y 13 hospitales nacionales a día de hoy coordinados bajo un marco común cuyo objetivo principal y único es el beneficio para los pacientes con metástasis cerebrales al aumentar, optimizar y mejorar las investigaciones sobre esta área de la oncología que contribuye de manera significativa a la letalidad asociada al cáncer y cuyo tratamiento de esta complicación de las neoplasias sistémicas es aún una necesidad por cubrir.

Sin duda alguna, todo esto no sería posible sin todo el potencial humano que está detrás de cada iniciativa. Me gustaría aprovechar la oportunidad que esta entrevista me brinda para dar las gracias a todos los voluntarios que hacen que RAICEX sea una realidad, así como a la Fundación Ramón Areces por su incondicional ayuda. En el campo de los Biobancos me gustaría agradecer al personal del biobanco del CNIO por su incansable labor y al Dr. Ángel Pérez, del Hospital 12 de octubre de Madrid, por su implicación en la vertebración de los hospitales a nivel nacional en la Red RENACER.

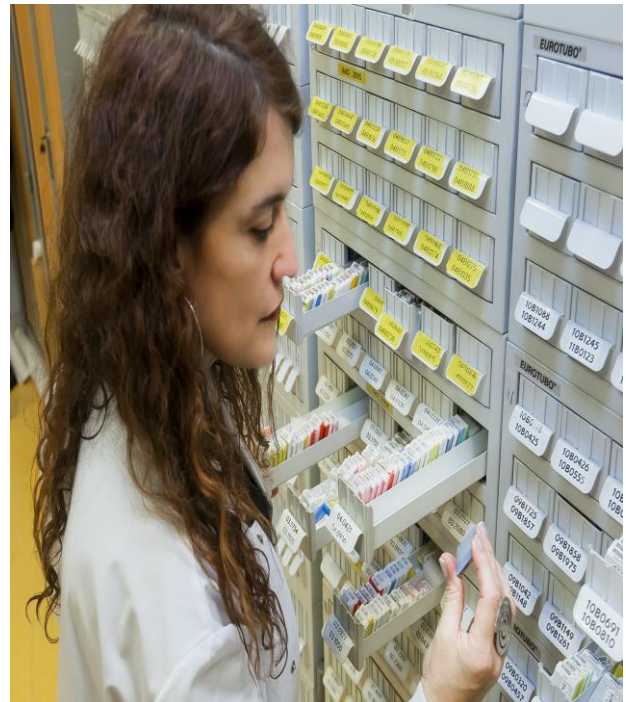


Figura 2. Instalaciones del Biobanco del CNIO (Madrid, España). Cortesía de Dra. Eva Ortega Paino.

Interview with Dr. Peter McGrath, Coordinator of the InterAcademy Partnership (IAP) and Co-coordinator of the UNESCO-TWAS Science Policy/Science Diplomacy programme

Dr. Aránzazu Berbey Álvarez 

Universidad Tecnológica de Panamá. Vicerrectoría Académica.

aranzazu.berbey@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3469



Dr. Peter McGrath obtained his BSc (honours) in Agricultural Zoology from the University of Glasgow, UK, and followed this with a PhD from the University of Leeds, UK, in 1989. His 10-year research career focused on the insect transmission of plant viruses and included postdoctoral positions at the Scottish Crop Research Institute (now the James Hutton Institute) as well as Purdue University and the University of Arizona in the USA. Returning to the UK in 1997, he established his own business as a freelance journalist focusing on agricultural, environmental and scientific issues. The experience he gained in communicating scientific issues to non-specialist audiences made him an ideal fit for his first position at The World Academy of Sciences (TWAS) – as writer/editor in the Public Information Office. During this time, he worked on the TWAS Newsletter, TWAS Annual Report, and edited seven volumes of the TWAS-UNDP case study series 'Sharing Innovative Experiences'. From 2006, Peter began overseeing the implementation of TWAS's core programmes, including South-South fellowships and other exchange schemes, research grants and various prizes, as well as the activities of the Organization for Women in Science for the Developing World (OWSD). During this time, he has helped expand these programmes as well as developing new partnerships and activities, including the EU-funded EuroAfrica-ICT project (2009-2012), and acting as the liaison person for TWAS's involvement in the Solar Radiation Management Governance Initiative (SRMGI).



Figure 1. Dr. Peter McGrath.

In 2013, he switched to become Coordinator of the InterAcademy Partnership, overseeing the Trieste office of the IAP secretariat and acting as liaison person for the IAP Science Education Programme and the IAP Biosecurity Working Group. He also retains his position as coordinator of the TWAS science and diplomacy initiative, including representing TWAS in the EU Horizon2020-funded S4D4C project.

According to your experience in science, technology, and environmental policies, why the scientific diplomacy can contribute positively to reinforce or improve the image or brand of a country? What is the general profile of a scientific diplomat (scientific disseminator) in order to communicating scientific issues to non-specialist scientific audiences? Currently, the world is suffering of a Covid-19 pandemic. Social networks are a powerful mass communication tool however, unfortunately they are plagued with fake news as well. What recommendations can you offer to our readers to differentiate authentic news from fake news?

Scientific methodologies, systems of verification and ways of deriving conclusions are the same in all countries. Science, therefore, can be said to be a universal language. It is also,

therefore, a relatively easy way for countries to collaborate and to participate in regional or international programmes. Participation in such activities can help build 'kudos' for a country. Indeed, this is part of the essence of science diplomacy. However, it is not always easy for the scientific and policy communities to speak to one-another. Having said that, there is a growing 'space' between the two communities where more and more people and organizations are operating, either as formal (linked to national governments) or informal science diplomats. There is not set job description for these positions, and people operating in this space may or may not have scientific backgrounds, or backgrounds in diplomacy or international relations. What they do have in common is the ability to build networks and develop soft skills such as negotiation as well as – as you suggest – the ability to communicate scientific concepts to non-technical audiences.

We have seen the value of such communication throughout the covid-19 pandemic – where government messaging based on references to scientific evidence communicated clearly to populations has been much more effective than garbled messages based on politically-motivated half-truths – or worse. Of course there are still many ways of interpreting even clear messages when the science is still developing, as it is during the current pandemic, which can lead to falsehoods and fake news being amplified on social media. How should we react as scientists? First, before sharing anything on social media – make sure it is accurate. Here national academies of science and medicine can be useful as sources of trusted information. IAP has collated academy advice here: <https://www.interacademies.org/project/academy-response-covid-19>. Other websites such as <https://shareverified.com/en/> can also be useful. We may also consider refuting fake news – but this must be done carefully, in a way that does not antagonize the original poster or his/her circle of social media contacts. We should seek to understand why they believe what they do, and then present facts – in a dialogue – to explain the evidence.

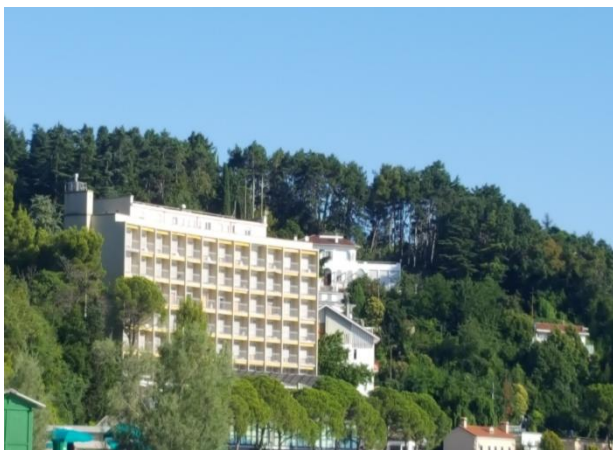


Figure 2. IAP offices are located on the campus of the International Centre for Theoretical Physics (ICTP) in Trieste, Italy.

According to Google Scholar and ResearchGate, you have an extensive list of scientific publications in topics like: science diplomacy, academies of science, technology and environmental policies, leadership training and scientific network program. In Panama, there are national scientific associations such as: Panamanian Association for the Advancement of Sciences, member of TWAS (APANAC), Science in Panama and the Panamanian Foundation for the Promotion of Mathematics (FUNDAPROMAT) and others. Could you indicate to us some strategies that we could perform as individuals or members of these associations to reinforce our activities of science diplomacy, scientific dissemination, popularization of science in order to achieve a more international visibility?

I always maintain that, unless you are perhaps a Nobel Laureate, as individual scientists it is difficult to make our voices heard. Instead, by joining together into scientific societies, unions or academies, then we have a collective voice and can gain more visibility. This can work both within the country and regionally or internationally.

Although Panama does not have a formal merit-based academy of science, for example, the Panamanian Association for the Advancement of Science is a member of the Inter-American Network of Academies of Science (IANAS, one of IAP's regional networks). By bringing the academies of the region together, IANAS has created a strong platform for action throughout the Americas, which also helps build the capacity and influence of the individual academy at the national level.

I'm not sure of the position on the ground in Panama, but I believe it would be beneficial for both the scientific community and the national government to establish an academy that can be called on to provide credible and independent scientific advice on local and regional issues.

Could you share some experiences that have been especially memorable in your scientific career?

Where to start? I can certainly say that I have enjoyed my career – whether it was in the lab, as a science journalist, or more recently as someone who has been responsible for administering international science programmes.

As a young scientist I was fortunate to have selected an area of study that allowed me to visit countries such as India, Malawi, Nigeria, Pakistan and Uganda. I believe these founding experiences helped build my understanding of how science is carried out in different circumstances; how it must operate under sometimes severe financial restrictions. I hope I was able to bring such experiences to bear when I moved to TWAS and

helped develop new programmes designed to build scientific capacity in the South.

But I have also witnessed the other side of the coin: how governments can engage; and how science can be inspiring. Here my thoughts go back to two TWAS conferences held in China. Both were attended by the President of China at the time who graciously handed out the TWAS Prizes for that year (2003 and 2013). The first of these two events was held in the Great

Hall of the People in Beijing's Tiananmen Square – so you can imagine the type of ceremony and celebration of science that took place.

Other than that, I have been fortunate enough to travel and to meet many inspiring people – from PhD students to Nobel Laureates – all of whom are working so that science can be brought to bear to improve the lives of millions.

Interview with Dr. Shirin Haque, Astronomer and National Outreach Coordinator (IAU) University of the West Indies, Dept of Physics, St Augustine, Trinidad & Tobago

¹Dr. Aránzazu Berbey-Álvarez. , ²Dr. Rodney Delgado-Serrano. 

¹Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Vicerrectoría Académica.
²Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Director del Observatorio Astronómico de Panamá
 aranzazu.berbey@utp.ac.pa; rodney.delgado@utp.ac.pa
 DOI: 10.33412/pri.v13.1.3470



Dr Shirin Haque was born in the village of Patna, India and came to Trinidad at the age of seven without being able to speak English and having no formal education. Dr Haque has pioneered the cutting-edge field of Astrobiology at the University of the West Indies and was interviewed by the BBC for a feature Science in Action for the research on the Pitch Lake, the largest natural hydrocarbon lake in the world. She is the founding member of CARINA (Caribbean Institute of Astronomy) and the founder/CEO of W.I.S.H. (Women In Science for Hope) Foundation. She holds numerous teaching and research awards regionally and internationally. She has also distinguished herself as a film producer with three science documentaries. She has hosted and produced two television series “Exploring our place in the Universe with Dr. Shirin Haque” and “Full S-T-E-A-M Ahead!” She is currently the editor of the magazine “The Intellectual – Art, Science and Architecture”. Her *Honours and Awards corresponds to:*

- Anthony N. Sabga Caribbean Awards for Excellence in Science and Technology 2020
- CARICOM Science Award 2018 – first female recipient
- Outstanding women of UWI Award – 2018
- Rudranath Capildeo Award for Applied Science and Technology - 2013
- “Women in Science and Technology” medal award from NIHERST - 2011
- Vice Chancellor’s Award for Excellence in Teaching 2005 - UWI
- Distinguished Teacher award from Association of Atlantic Universities - 2004



Figure 1. Dr. Shirin Haque at right with her Excellency the President Paula Mae Weekes of Trinidad & Tobago.

- UWI/ Guardian Life premium teaching award - 2002
- “The Most Outstanding Thesis Award, 1997 and 1998” UWI (PhD)
- Program Director for the NINE hub programme for the Caribbean through for the National Science foundation and NRAO.

Based on your professional scientific knowledge and expertise, what are the new challenges that Caribbean astronomy face in science and technology? In your experience, what actions do you recommend to governments, universities, and society in general to increase vocations in astronomy?

Astronomy has always faced a challenge as a career in the Caribbean region. While at the same time due to our location on planet earth in the equatorial region, we have some of the most spectacular skies being able to see large regions of the Northern and Southern hemisphere. There is no discipline that excites children and adults alike as Astronomy does. So, it is a marvelous gateway to the STEM fields. At the same time, few disciplines are seen less worthy of a vocation in the Caribbean as Astronomy! The thrust of jobs in the region remain in the tourism and entertainment sector with professional vocations being limited to being doctors, lawyers and engineers.

As such, one of the recommendations to push carers in astronomy is to link up with where there is main economic

activity, such as astrotourism. We currently do not have a thriving astrotourism industry but there is no reason why we cannot. The light and air pollution in the Caribbean is significantly less than in other parts of the world. Furthermore, we boast of wonderful tropical climate and stunning skies. The island of Grenada even has an archaeoastronomy site and again these are marvelous tourism activities that can engage the promotion of Astronomy.

Astronomy is generally seen as an eclectic expensive research-oriented discipline and the general shock reaction in the Caribbean is "You can do astronomy here?" With the advent of technology, astronomy has come down to Earth literally in cost and many of my friends and colleagues who are amateur astronomers are producing spectacular images, I daresay which many people at first sight think are Hubble images!

We need to sell the expertise that Astronomy can endow upon the people in our region. Astronomy develops skills in Mathematics and Physics and computing and programming – all of which are strong STEM skills and these skills become transferable and can be applied to a wide range of vocation.

To be able to enjoy the universe and feel a connection with it is a powerful thing. Imagine that this becomes the gateway to science – so critical for the future of humankind today.

Could you share with our readers a summary of the actions or projects in education and research carried out by your institution Astronomy issues?

At the university of the West Indies, while astronomy has always had a presence, it has been limited to lone astronomers at the campuses. Jamaica and Trinidad has historically had astronomers. In the recent decades, I have been the sole professional astronomer at the University. Historically, the research in Trinidad was on data analysis on quasars. However, when I joined the academic staff after my PhD, one of the first change in direction we did was establishing a research grade observatory in St. Augustine. Our location being close to the equator allowed us generous views of the sky. This was in conjunction with Tuorla, University of Turku in Finland. The observatory is called SATU – meaning a tale too good to be true in Finnish and it stands for SA (St Augustine)-TU (TUorla). Here we did the dedicated monitoring of the monster binary black hole system OJ 287. We continue that to this day.

Subsequently, we got involved in Astrobiology seeking to understand how life could arise and sustain in other worlds by studying our own habitat as analogs. Here we explored the pitch lake in Trinidad as an analog to Titan, Saturn's largest moon and the mud volcanoes as analog to the environment on Mars. All this time, we continued to work in cosmology and solar astronomy as well. Graduate students were few and I have been the only professional astronomer still. The research is with collaborations with many foreign institutes in Germany, Finland and the USA etc.

We recently became a Caribbean hub for Radio Astronomy through the National Radio Astronomy Observatory (NRAO) and the National Science Foundation (NSF) in the USA.

Within the university, I designed and launched new courses "Introduction to Astronomy" and "Introduction to Astrobiology" which are popular among students. Over the years, we have run numerous workshops and short courses for teachers and the public in Astronomy. I am the National Outreach Coordinator (NOC) in the International Astronomical Union (IAU) and led the initiative to run a competition and name an exoworld. That has been a source of great pride to me! There is now an exoworld out there named Dingolay and Ramajay representative of our local culture.

I am a founding member of the Caribbean Institute of Astronomy (CARINA) and the UWI Stargazers – a campus astronomy club for outreach in Astronomy for students and the public.

Through these avenues we try as best as we can to reach out and spread the good word of astronomy. I have worked right across the Caribbean with these initiatives including producing and hosting two educational series on television on Astronomy and STEM. My pet project currently is a YouTube channel I launched over the covid-era which deals with Science and Astronomy for adults and children.

In these times, how can regional women and men scientist contribute to the management, and reinforcement of activities of scientific diplomacy, as well as to contribute to scientific dissemination, and popularization of science to achieve a more international visibility?

This is an important question. As science is not given the prominence it deserves in the region. We continue to be seen as a region where tourism and its related activities is the mainstay. In Trinidad, the only careers seen as a pathway from science is to be a medical doctor or an Engineer. Yet, no people can progress without engaging in science to a meaningful level because of the era we live in. Questions of climate change affect our choices and behaviours as do our management of covid-19. These are all issues that affect us each personally seethed in science that each person needs to understand. Science literacy would reduce vaccination hesitancy. We fear what we do not understand.

So, how do we overcome these challenges? Everyone has to do their part and universities play a big part in this. We must engage in speaking and being ambassadors of science at all times. One of the downfalls is that the scientific mind and the political mind clash with each other. So rarely you find scientists in the political arena and vice versa. The politicians are the policy makers and this divide needs to be closed. It is particularly strong in the Caribbean. Although I must say, due to covid – more persons have listened to medical scientists than ever before and they have had more airplay than ever before in the media.

Achieving international visibility is indeed a challenge when literally you are a dot on the world stage with a population of 1.3 million! Yet, this can be done and many have done it and it is very important to be part of the global discourse. You become part of the global discourse by collaboration. Gone are the days of the sole researcher – we get a global presence and visibility on the international stage by collaborating with our peers with our unique contribution.

Could you share some experiences that have been especially memorable in your scientific or professional career?

The memorable moments become the ones you least expect! As such the moments that stand out for me, is doing an interview with BBC on astrobiology on our local sites of mud volcanoes and the pitch lake and most recently when Scientific American contacted me for remarks on a new study on Astrobiology. Being part of the team where we got a publication in the prestigious

journal Science in Astrobiology and international reports in the media we have been part of in the monitoring of OJ 287 is deeply meaningful.

Then of course, being awarded as the laureate for the Anthony Sabga Caribbean Award for Excellence in Science and Technology in 2020 was humbling and very emotional. That award is equivalent to a Caribbean version of the Nobel prize and it motivates one to give back as much as possible to the region that has presented this honour. It was presented by the president of the Republic of Trinidad and Tobago.

Another moment that stands out for me in how one can indirectly influence lives was when an elderly woman came up to me and gave me high-five repeatedly and said – “Power to women! I watch your show on TV on astronomy and I feel so proud to learn from you. I never had the opportunity as I had to care for the children and had no opportunity for education. So proud of you!” That truly choked me up and made all the effort at outreach every bit worth it.

Sistema Semi-Automatizado para Procesos Universitarios de Transacciones Monetarias e Identificación por Medio de Tecnología Near Field Communication

Luis Yao¹ , Roderick Mastrolinaro² ,

Modaldo Tuñón³ 

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Ciudad de Panamá, Panamá

¹luis.yao,²roderick.mastrolinaro,³modaldo.tunon@utp.ac.pa}

DOI: 10.33412/pri.v13.1.2354



Resumen: *NFC (Near Field Communication) es una tecnología innovadora, flexible y relativamente económica para la intercomunicación de los dispositivos mecatrónicos tanto fijos como móviles. Una de las características principales que lo distingue de tecnologías similares es su capacidad de comunicación bidireccional, es decir, puede enviar y recibir información de una fuente externa, esto abre muchas posibilidades para aplicaciones relacionadas a credenciales y transacciones. En este trabajo nos fundamentamos en crear una aplicación web que pueda aprovechar las capacidades de esta tecnología, para ofrecer una plataforma digital web que permita realizar funciones de identificación y transacciones comunes dentro de una organización. Esta plataforma tiene la intención de crear un ecosistema que incentive la utilización del carné estudiantil dentro del campus de la Universidad Tecnológica de Panamá, ofreciendo funcionalidades de verificación de credenciales para aumentar la seguridad dentro del área de la institución; funcionalidades como opción alterna de pago para acelerar los procesos repetitivos relacionados con pagos internos, que muchas veces son ineficientes por el factor humano dentro del proceso. Se espera que la comparación de los modelos en este proyecto demuestre que utilizando un sistema digital e innovador se podría disminuir considerablemente el tiempo en espera promedio de los usuarios que realizan procesos de pagos dentro de la Universidad Tecnológica de Panamá, así como cualquier otra institución.*

Palabras claves: NFC, RFID, códigos QR, arquitectura SPA, API Rest, Angular, Flask, Arduino, aplicación web, UTPWallet, simulación, carné estudiantil.

Title: Semi-automated system for University Processes of monetary transactions and identification by Near Field Communication technology.

Abstract: NFC (Near Field Communication) is an innovative, flexible and relatively inexpensive technology for intercommunication of both fixed and mobile mechatronic devices. One of the main features that distinguishes it from similar technologies is its two-way communication capability, that is, it can send and receive information from an external source, this opens up many possibilities for credential and transaction related applications. In this paper we are fundamentally creating a web app that can take advantage of the capabilities of this technology, to offer a digital web platform that allows common identification and transaction functions within an organization. This platform is intended to create an ecosystem that encourages the use of the student id within the campus of the Panama Technological University, offering credential verification functionalities to increase security within the campus of the institution; functionalities as an alternative payment option to accelerate the repetitive processes related to internal payments, which are often inefficient by the human factor within the process. It is expected that the comparison of the models in this project will demonstrate that using a digital system could significantly reduce the average waiting time of users who make payment processes within the Panama Technological University as well as any other institution.

Key words: NFC, RFID, QR codes, SPA architecture, Rest API, Angular, Flask, Arduino, web-app, UTPWallet, simulation, student id.

Tipo de artículo: investigación.

Fecha de recepción: 30 de septiembre de 2020.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

El uso del dinero en efectivo es una práctica sumamente común utilizada en cualquiera empresa o institución. Actualmente este es el método de transacción más ordinario de la UTP ya sea en las cafeterías, cajas o librería. La creciente población estudiantil, así como integrantes de las instituciones en general hace que esta práctica acarree consigo una serie de desventajas que disminuyen la calidad de algunos de los servicios internos dentro de las instituciones. El tiempo que toma realizar una transacción en efectivo es un factor con un comportamiento exponencial, llegando a crear extensos periodos de espera y largas fila en áreas relacionados a pago y cobro.

El uso de tecnología innovadoras para crear ecosistemas totalmente integrado con los procesos institucionales no es algo relativamente nuevo. Muchas organizaciones tienen sus propias aplicaciones móviles para realizar procesos internos, creando un ecosistema mucho más seguro y eficiente. Dentro de nuestro contexto de cobro y pago, las tecnologías usualmente se clasifican en imágenes (códigos QR) o radio frecuencia [1]. Los códigos QR son una evolución de los códigos de barra, consisten en un código bidimensional que utiliza 4 estándares de codificación: Numérico, Alfanumérico, Binario y Kanji [2]; como se observa en la figura 1, el costo de implementación es relativamente bajo, su compatibilidad es media ya que depende

de un dispositivo inteligente con una cámara disponible para su aplicación. La finalidad de los códigos QR en este contexto es permitir el almacenamiento de identificación de cuenta de un usuario y junto a una aplicación móvil ofrecer la funcionalidad de recibir o enviar dinero digitalmente entre dos entidades. Un ejemplo de adopción en Panamá es Nequi [3], una empresa que ofrece servicios de transacciones digitales utiliza esta tecnología.

Por otro lado, en radiofrecuencias tenemos Radio Frequency Identification (RFID) y Near Field Communication (NFC), como se observa en la figura 1, ambos ya han sido altamente adoptados alrededor del mundo, su percepción ante los usuarios es considerablemente buena, su seguridad es superior al de los códigos QR y ambos tienen un buen nivel de escalabilidad en cuanto a sus aplicaciones. No obstante, solo el NFC tiene capacidad para ofrecer las funcionalidades que queremos implementar en este proyecto de desarrollo.

TABLA COMPARATIVA

	QR CODE	NFC	RFID
PRECIO	1 moneda	3 monedas	3 monedas
SEGURIDAD	2 puntos verdes	2 puntos verdes	1 punto verde
COMPATIBILIDAD	2 flechas verdes	3 flechas verdes	1 flecha verde
ESCALABILIDAD	1 icono de gráfico	3 iconos de gráfico	1 icono de gráfico
APLICACIÓN PARA PAGOS	1 icono de teléfono	1 icono de teléfono	1 icono de teléfono
APLICACIÓN PARA LOCALIZACIÓN	0 iconos	0 iconos	1 icono de ubicación
TRANSFERENCIA DE DATOS	0 iconos	1 icono de transferencia	0 iconos
ADOPCIÓN EN PANAMÁ	1 icono de bandera	1 icono de bandera	1 icono de bandera
ADOPCIÓN GLOBAL	1 icono de mundo	2 iconos de mundo	2 iconos de mundo
PERCEPCIÓN DE LOS USUARIOS	1 icono de pulgar arriba	3 iconos de pulgar arriba	3 iconos de pulgar arriba

*LA TECNOLOGÍA NFC ES UN SUBCONJUNTO DEL RFID CON MEJORAS EN ALGUNOS ASPECTOS PARA PERMITIR APLICACIONES MÁS INNOVADORAS.

Figura 1. Tabla comparativa de las tecnologías inalámbricas considerados.

Usualmente el RFID se aplica para sistemas de control de acceso, cobro automático de peaje, seguimiento de paquetes en cadenas de suministros y dispositivos de rastreo y geolocalización. Mientras que la tecnología NFC que es un subconjunto del RFID, funciona de 3 modos: emulación de tarjetas, lectura y escritura NFC y conexión Peer-to-Peer (P2P) [4]. La emulación de tarjetas (NFC Card Emulation) habilita los dispositivos con NFC (como smartphones) para actuar o emular como tarjetas inteligentes, permitiendo a los usuarios efectuar procesos de transacciones con sus dispositivos. Las escritura y lectura NFC (NFC Reader/Writer) habilita los dispositivos con NFC para la lectura de información almacenados en etiquetas NFC usualmente colocados en los productos o elementos destinados para el usuario. Finalmente, el modo conexión P2P

(NFC Peer-to-Peer) permite que dos dispositivos con NFC establezcan una conexión local y ofreciendo la funcionalidad de intercambio de datos continuo es decir transferencia de archivos.

Este proyecto de desarrollo propone implementar un sistema que aproveche el carné estudiantil que poseemos actualmente y darle un uso significativo por medio de NFC. Con este sistema se logrará en un futuro desde agilizar los procesos actuales de pago de matrícula, copias, cafetería, préstamos de libros en la biblioteca, entre otros; hasta escalar a sistemas de funciones administrativas y de seguridad (control de asistencia, matrículas de curso extracurriculares, análisis de datos estadísticos y la posibilidad de adaptarlo a los teléfonos inteligentes). Sin embargo, en esta propuesta nos enfocaremos principalmente en los procesos simples que hemos mencionado anteriormente, los procesos de transacción monetaria y los procesos de identificación digital.

A lo largo del escrito introduciremos los antecedentes que generaron las ideas principales y los elementos por la cual está compuesto este proyecto; su propósito, alcance, objetivos, entre otros puntos. Se definirá el marco teórico que cubre desde la historia de los distintos sistemas de pagos, hasta temas como billeteras digitales, criptomonedas y algunas de las tecnologías actuales que representan los cimientos en los cuales están basadas todas estas aplicaciones de pagos. Describiremos los conceptos de diseño y planificación de sistema, estudio de requerimientos, herramientas a utilizar, vistas y prototipo. Por último, se presentará el producto final donde con sus distintas funcionalidades y las recomendaciones para escalabilidad futura.

2. Antecedentes

En la sociedad actual como la conocemos, cada segundo que pasa, alrededor del mundo ocurren millones de procesos transaccionales, intercambio de bienes entre las personas que buscan suplir la solución a una necesidad y las personas que buscan atender esa misma necesidad. Una gran parte de estas transacciones eran realizadas solamente por medio de efectivo, pero con la evolución de la tecnología y el desarrollo de la economía mundial, surgieron nuevos medios y sistemas de transacciones mucho más eficientes y seguros, solo por mencionar algunos de los más utilizados son: cheques, tarjetas bancarias, transferencias digitales, criptomonedas, billeteras digitales, entre muchas otras [5].

2.1 Evolución de tecnologías

Con la llegada de la era digital, muchos cambios han ocurrido respecto a las prácticas del manejo y la circulación del dinero en la sociedad, tecnologías como la Inteligencia Artificial, la Big Data, el Internet de las Cosas, las Nubes, 5G, Realidad Virtual o Realidad Aumentada han abierto las puertas para posibilidades que, sin duda, algunos aún piensan que solo es material de la ciencia ficción. A lo largo de la historia, hemos pasado de conchas a metales, papel a plásticos, y hoy en día algunos de los líderes en la economía mundial no utilizan ninguno de estos. Gracias a las nuevas tecnologías que han surgido, China es uno de los mejores ejemplos que podemos observar en relación con sus

grandes resultados en el salto a la tendencia del Cashless o Digital Payment [6].

2.2 Códigos QR, RFID y NFC

Dentro de las tecnologías de comunicación inalámbricas que están en el mercado actual, solo algunos pueden ser aplicados para la industrial del pago sin contacto. Entre esas tecnologías, los más populares son Códigos QR y el *Near Field Communication* (NFC), siendo el último un subconjunto de la tecnología RFID diseñado para aplicaciones de naturaleza más orientadas al usuario [7].

Los códigos QR tienen un costo bajo debido a la naturaleza de la inaplicación de la patente de sus creadores, hoy en día son fácilmente reconocibles aparte que son altamente visibles por su color negro y su forma peculiar. Su simplicidad y conveniencia para uso al igual que su alta compatibilidad entre los dispositivos lo hace extremadamente viable para implementar en los productos [8]. Sin embargo, estas requieren tener suficiente luz para que la cámara del móvil pueda leer el código, por lo tanto, son difíciles leerlos en la noche o en lugares con poca iluminación. Adicionalmente, son fáciles de estropear ya sea por marcado, doblado o rayado. Estos códigos son usualmente impresos en el empaque de los productos, generalmente son descartados después que los productos sean abiertos o utilizados, aparte que son fácilmente reproducibles y compartidos, haciéndolos pocos útiles para procesos de anti-falsificación u otras aplicaciones sensibles.

La tecnología RFID por otro lado tiene una aplicabilidad potencial en todas las industrias, comercios o servicios donde se necesite recopilar datos y administrar recursos. A pesar de que el RFID se utiliza ampliamente en el sector comercial y es una tecnología que tiene aplicaciones diseñadas entorno a los productos, técnicamente no existe aplicación para realizar transacciones monetarias con esta, sin embargo, existe una tecnología que se deriva del RFID, llamado *Near Field Communication* (NFC), que hoy en día es aplicado para las funcionalidades de pago sin contacto en las tarjetas bancarias [9].

Ambas tecnologías son bastante similares, y están estrechamente relacionados, lo cual puede causar confusión a la hora de entender las aplicaciones de cada uno. A pesar que el NFC está basado en el RFID de alta frecuencia, el diseño del primero está dirigido a los usuarios mientras que el último está dirigido a los productos. Su gran adopción por los Smartphone en una era en donde todos tienen uno a su disposición, su seguridad superior a los códigos QR ya que aplican protocolos de autenticación, su gran escalabilidad y su diseño orientado al usuario, permiten casos de usos que abarcan toda la vida útil del producto [10].

Analizado cada uno de los factores que se menciona anteriormente podemos concluir que, cada tecnología tiene sus ventajas propias de su especialidad, así como desventajas en aspectos que el otro es superior. Sin embargo, considerando algunos de los requerimientos más críticos de este proyecto, determinamos que los factores más importantes para nuestro producto giran en torno a la escalabilidad y la seguridad de esta. Dicho esto, podemos recomendar, con base en los parámetros

antes descritos, que la tecnología NFC es más apta para la implementación del sistema propuesto.

3. Aspectos generales

Dentro de las consideraciones principales de este proyecto, es de gran relevancia saber cuál es problema que se pretende resolver, como se pretende hacer y qué limitaciones se establecerán para este proceso. A continuación, se detallan estos puntos individualmente:

3.1 Problema y justificación

El carné estudiantil de la Universidad Tecnológica de Panamá, es un recurso que todos los estudiantes pagan a la hora de matricularse, es un gasto que la institución realiza, sin embargo, no se reclama, los pocos que lo tienen no lo actualizan, y los carnés actualizados no son usados, la razón es simple, su uso es irrelevante a lo largo de una carrera dentro de la universidad, no existe un motivo lo suficientemente alentador para tomarse la molestia de siquiera ir a buscar algo que ya se pagó.

Por otro lado, el uso del dinero en efectivo es una práctica muy común utilizada en cualquier empresa o institución, y la universidad no es la excepción. Pero esta práctica es causa indirecta de la reducción en la calidad de algunos servicios dentro de estas organizaciones. El factor de inseguridad, la posibilidad de extravió, y el tiempo que toman las transacciones en efectivo son algunas de las desventajas resultado de utilizar este modelo tradicional.

3.2 Objetivos

Con las ideas bien establecidas y los problemas claramente definidos, podemos determinar nuestros objetivos principales, que resultan ser dos, la creación de un sistema de identificación o credenciales capitalizando el carné de identificación de una institución en este caso la UTP y establecimiento de un sistema que permita las transacciones monetarias de manera digital creando un modelo de pago mucho más eficiente que el actual.

3.3 Alcance

Con el fin de regular la complejidad, el presupuesto y la duración de este proyecto fue necesario establecer una serie de límites: **i)** El producto final de esta implementación solamente será un prototipo funcional, **ii)** En caso hipotético de ser implementado, este no debe limitarse a la sede principal y **iii)** De las tecnologías de comunicación inalámbricas disponibles en el mercado, se utilizará el NFC y se demostrará mediante comparación con otros dos, el motivo de su selección.

4. Ingeniería, diseño e implementación

A fin de entender lo necesario a incluir en el sistema para satisfacer las necesidades de los usuarios, tenemos que estudiar los requerimientos en base a nuestros objetivos, preguntar qué queremos lograr, cómo queremos lograrlo, y si es la manera más efectiva de hacerlo. Dependiendo de los recursos, el tiempo, y el personal, hay una variedad de herramientas que se pueden aplicar para estudiar de manera objetiva los requerimientos. Y en

nuestro caso de estudio, la herramienta más efectiva de recopilar datos era por medio de encuestas.

4.1 Encuesta

Debido a que el sistema está planeado para dirigirse a una población significativamente grande, una encuesta es una herramienta bastante útil para estudiar las necesidades de los usuarios, y así generar consecuentemente los requerimientos. Intentar encuestar a toda la población existente es una hazaña imposible y sobre todo sumamente ineficiente, por lo tanto, se calcula una muestra significativa que pueda representar el comportamiento del resto de la población. Con una población total aproximadamente de 12 753 estudiantes, según la secretaría general de la universidad, jugamos con un nivel de confianza de 95% y asumiendo un margen de error de 5%, determinamos que una muestra significativa para nuestra encuesta sería de 372 personas, específicamente estudiantes. Con una lista total de 15 preguntas, bifurcadas dependiendo de las respuestas de los encuestados, logramos obtener información con valor analítico de gran importancia, que nos ayudó significativamente con el proceso de la generación de los requerimientos para el sistema.

Dentro de la información que realmente nos interesaba, pudimos observar dos comportamientos claramente en los estudiantes, respecto al carné de identificación. Empecemos por el comportamiento más simple y esperado, encontramos que un 53.2% (198) de la muestra no poseen un carné activo de la universidad, es decir, más de la mitad de los estudiantes no tienen una identificación estudiantil vigente de la institución a pesar de ser un costo obligatorio a la hora de matricularse. Por otro lado, tenemos que de los 46.8% (174) de los estudiantes que sí tenían un carné vigente, el 76.4% (133) ha utilizado al menos una vez su carné dentro del campus universitario, concentrándose un 81.2% (108) en la biblioteca, un 48.1% (64) en la cafetería, y un 21.8% (29) entre seguridad y caja. Esto nos indica estadísticamente que, cuando un estudiante posee el carné, es muy probable que sea utilizado en algún momento.

Tabla 1. Tabla de resultados de la encuesta

Concepto	Valor
No posee carné estudiantil vigente	53.2% (198)
Posee un carné estudiantil vigente	46.8% (174)
Ha utilizado el carné al menos una vez	76.4% (133)
- Uso en la biblioteca	81.2% (108)
- Uso en la cafetería	48.1% (64)
- Uso para acceso	21.8% (29)
Ha realizado alguna clase de transacción	86% (320)
Ha utilizado Google Pay alguna vez en su vida	21.2% (48)
Ha utilizado Apple Pay alguna vez en su vida	6.6% (15)
Consideran los métodos de pagos digitales innovadores y convenientes	89.5% (333)

Desde la perspectiva de las transacciones, los datos muestran que un 86% (320) del total de la población han hecho alguna clase de transacción dentro del campus universitario, esta

es una cifra que es de esperarse, debido a la naturaleza y funcionamiento dentro de la institución educativa. En el caso de medios de pagos digitales solo el 21.2% (48) alguna vez ha utilizado Google Pay y solo un 6.6% (15) ha utilizado Apple Pay, lo cual indica un bajo porcentaje de usuarios con experiencias utilizando medios de pagos digitales. A pesar de esto el 89.5% (333) de los encuestados consideran que estos nuevos medios son muy convenientes e innovadores en comparación con los métodos tradicionales. Esto es un indicador que están dispuestos a utilizar métodos nuevos siempre y cuando sean eficientes y convenientes.

4.1.1 Conclusiones de la encuesta

Profundizando con la información recolectada y analizando desde distintas perspectivas pudimos llegar a una serie de conclusiones que nos ayudan a determinar nuestros requerimientos:

- Hay un gran número de estudiantes que no tienen un carné vigente porque lo consideran innecesario.
- Una gran porción de los que sí poseen el carné lo utilizan durante su carrera.
- Un gran número de personas que forman parte de la universidad hacen transacciones monetarias frecuentemente en el campus.
- Muchos de los servicios que implican realizar pagos, generan filas que en ocasiones puede llegar a tardar horas para atender a un individuo.
- Es muy probable que la razón de las prolongadas filas de espera sea debido al elemento humano, a la falta de cambios y al alto volumen de personas en ciertas horas del día.
- Muchos creen que el pago sin contacto es innovador y conveniente, a pesar de que hay una pequeña porción que cree que no es seguro, y muchas de estas personas ni siquiera conocen como funcionan en realidad.
- Si disminuimos el impacto del elemento humano podríamos disminuir el tiempo de espera en fila.
- Si eliminamos la necesidad de tener cambios (vuelto), disminuiríamos el impacto del elemento humano en las transacciones.
- Si disminuimos el tiempo de espera en fila, el volumen de personas se disminuiría más rápido y eficientemente.
- Si logramos crear un sistema confiable, seguro, y conveniente, es muy probable que sea aceptado por los usuarios fácilmente.

4.2 Requerimientos del sistema

Los requerimientos son cualquier atributo característico y/o cualidades de un sistema para que tenga valor y utilidad para el usuario. Basado en la ingeniería de software un sistema cuenta con dos tipos de requerimientos los cuales son los requerimientos funcionales y los no funcionales.

4.2.1 Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales son declaraciones de los servicios que ofrecerá el sistema, la especificación de los requerimientos funcionales se realiza para establecer las

reacciones que el sistema tendrá al recibir una entrada, estas declaraciones pueden ser tanto positivas como negativas, es decir, establecemos que puede o no hacer el sistema. Dentro de nuestra propuesta encontramos los siguientes requerimientos funcionales:

- Autenticación de Usuario
- Autorización de Usuarios
- Portal de Estudiante
- Portal de Recarga/Cobro
- Portal de Revisión de Perfiles
- API
- Base de Datos
- Entrada de dato por Arduino y NFC
- Seguridad de la etiqueta

4.2.2 Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales son los requisitos que no están relacionados directamente con las funciones específicas del sistema, sino con sus propiedades y características, en palabras sencillas, los requerimientos no funcionales no describen que hace el sistema sino cómo lo hace y por qué. A continuación, se presentan los requerimientos no funcionales considerados en el sistema propuesto:

- Confiable
- Seguro
- Usabilidad
- Disponible
- Rápido

Una vez definido los requerimientos, podemos construir un diagrama de casos de usos como el de la figura 2 para visualizar el flujo de los procesos que serán posibles por detrás del sistema.

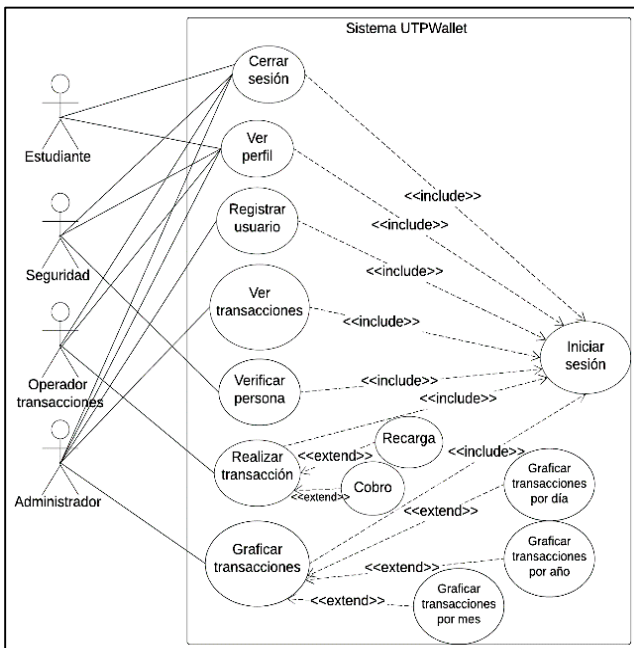


Figura 2. Diagrama de casos de uso.

4.3. Aplicación, base de datos y API

El sistema que proponemos es básicamente una plataforma que permitirá el aprovechamiento efectivo del carné de identificación para propósitos de identificación y transacción monetaria dentro de la institución, permitirá a operadores de seguridad hacer revisión de identidad rápidamente, ofrecerá un sistema de recarga y cobro para las transacciones internas y aparte proveerá una página web para que los usuarios puedan revisar su información personal y su saldo disponible dentro de su cuenta. La aplicación se desarrollará utilizando Angular para el front-end, PostgreSQL para la base de datos y Flask para el API.

4.3.1. Angular

Angular es un marco de trabajo (en inglés, framework) para desarrollar la interfaz (front-end) de una aplicación web, está basado en Typescript, un superset de JavaScript, es decir, JavaScript, pero con funcionalidades agregadas [11]. Angular combina una serie de buenas prácticas y estándares web modernos para el desarrollo front-end, es extremadamente modular, lo cual nos permite reutilizar recursos y hace más fácil las futuras mejoras, es ligero, el proyecto generalmente no ocupa mucha memoria y es fácil de aprender.

4.3.2. Base de datos

El tipo de base de datos utilizado es relacional, los SCHEMA y los modelos de datos, se diseñan dependiendo de las características del objeto que tiene interacciones durante los intercambios de información entre el front-end y la capa de acceso a datos (back-end). En nuestra estructura tenemos 9 tablas individuales enlazadas entre ellas por medio de llaves únicas como se muestra en la figura 3, cada uno cumple con una función específica y muy importante destacar que tomamos la decisión de aislar la tabla que contiene los balances por motivos de seguridad transaccional.

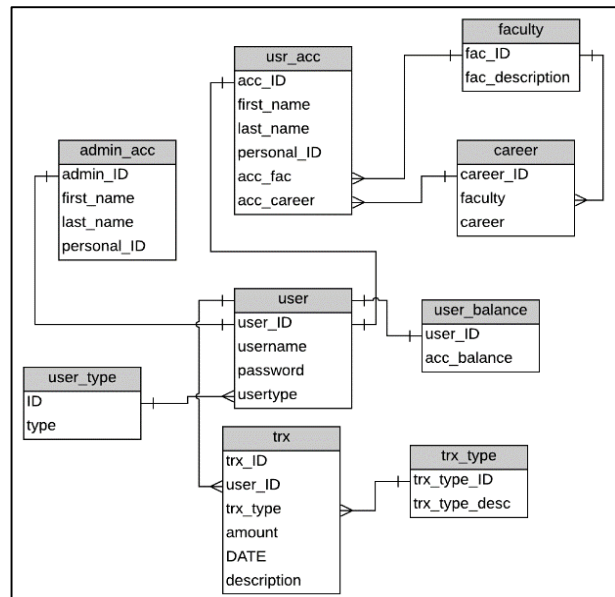


Figura 3. Diagrama relacional de la base de datos del sistema.

4.3.3. Api

Un Application Programming Interface (API) es simplemente un programa que actúa como la capa de enlace entre nuestra aplicación y la base de datos, en palabras simples, es el encargado de manejar las peticiones de datos que genera el programa y las respuestas que devuelve la base de datos, por medio de puntos de accesos (endpoints) dedicados para intercambios de paquetes de datos específicos. Al momento de hacer la ingeniería de software se determinó que el sistema propuesto contará con dos APIs uno local y otro en un servidor web. El API local será utilizado por el front-end para interactuar con el sensor NFC, conectado a un Arduino, al leer y escribir la tarjeta. Por otro lado, el API en servidor web es el que utiliza el front-end para hacer la mayoría de los procesos como las transacciones monetarias, registrar usuarios y toda interacción en tiempo real con la base de

4.3.4. Endpoints de los API

A continuación, se presenta una lista con todos los endpoints necesarios para cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente para desarrollar el sistema propuesto:

- /login
- /logout
- /security
- /recharge
- /transactions
- /write
- /refresh
- /register
- /pay
- /users/<user_ID>
- /read

Los endpoints /login y /logout son utilizados para autenticar el usuario que entre a la plataforma. Los siguientes endpoints /security, /recharge, /transactions, /refresh y /pay son utilizados únicamente por el personal encargado de recargar y cobrar o el personal de seguridad.

Los endpoints /read y /write son los únicos que se encuentran en el API local y el resto pertenecen al API web. Los textos dentro de <> son datos variables que se tienen que enviar al momento de hacer una petición a los API.

Por último, el endpoint /users/<user_ID> es utilizado para obtener la información del usuario y mostrarlo en pantalla una vez ya se haya autenticado previamente.

5. UTPWallet

El nombre propuesto para el sistema en esta ocasión es UTPWallet, un concepto similar a las distintas billeteras electrónicas disponibles en el mercado. Aplicando nuestro plan para la interfaz, desarrollamos los estilos y creamos las plantillas siguiendo los estándares de buenas prácticas, usando librerías disponibles para Angular como Bootstrap y derivaciones de esta hicieron el proceso mucho más sencillo y documentable, estas librerías nos proporcionaron herramientas convenientes y simples para utilizar y generar la interfaz final de la plataforma. En la figura 4 se presenta la página principal del sistema que corresponde a la vista de inicio de sesión.

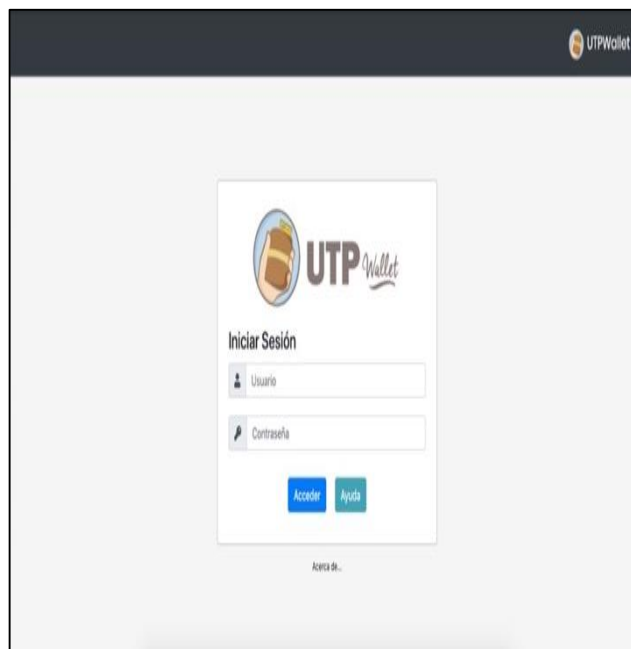


Figura 4. Página principal de inicio de sesión de la plataforma.

5.1. Modelado y Simulación

Una vez con el prototipo funcional, la pregunta ahora es, si realmente resuelve los problemas que establecimos al inicio de este estudio. El modelado y la simulación es una herramienta imprescindible que nos permite analizar y diseñar sistemas basado en una situación y problema. Debido a la importancia que representa conocer las diferencias entre una situación actual con la que se plantea, es necesario comparar cuantitativamente los datos e interpretar su significado, ver cómo funciona el sistema tradicional y como sería utilizando el nuevo modelo propuesto.

El modelo actual cuenta con dos filas, una para administrativos y otra para estudiantes por motivos del modelado solo se tomó en cuenta la fila de estudiantes. El proceso de observación que realizamos para recolectar datos de comportamiento del modelo entre 11:30 a.m. a 12:30 p.m. por 4 días consecutivos en la cafetería, ya que es el periodo de tiempo que cuenta con más usuarios concurrentes. Se midieron principalmente dos variables: “hora entre arribo” de los estudiantes y “tiempo de servicio” en la caja. Esta última es la variable que queremos comparar con el nuevo modelo.

Como se puede observar en la figura 5, la distribución es de característica exponencial. Los datos nos muestran que la llegada de los estudiantes tiene una media aproximada de 20 segundos, esto quiere decir que cada 20 segundos llega aproximadamente 1 estudiante a la fila. El valor mínimo recolectado del tiempo entre arribo fue de 0 segundos ya que en ocasiones los estudiantes llegaban en grupos. Por otro lado, el valor máximo fue de 396 segundos o 6 minutos y medio aproximadamente.

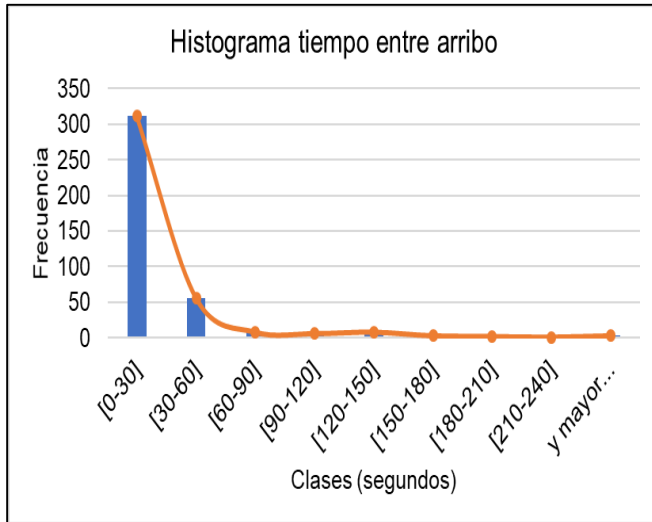


Figura 5. Histograma de tiempo entre arribo.

La figura 6 nos indica que sigue una distribución Poisson, y se puede observar que el tiempo de servicio una vez el estudiante llega a la caja es en promedio de 26.6 segundos y que la duración máxima de un servicio fue de 114 segundos, casi 2 minutos. Dentro del periodo de tiempo resultante, se considera como parte del proceso: la observación del contenido de la bandeja que tiene el estudiante, el cálculo del monto total a cobrar, la entrega y colección del dinero y la devolución del cambio debido.

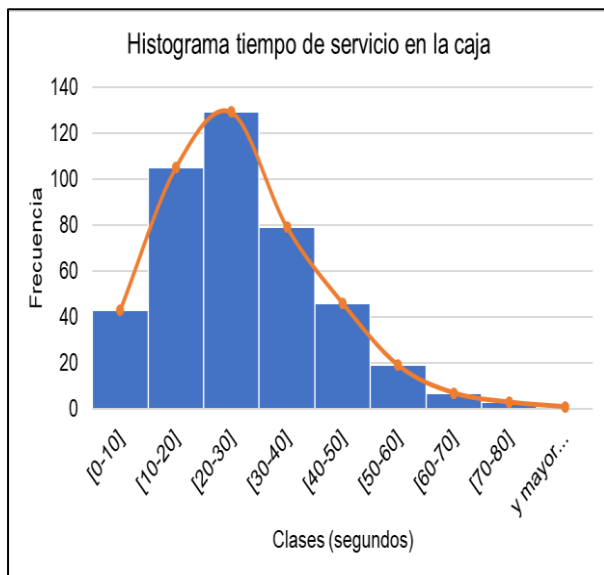


Figura 6. Histograma de tiempo de servicio.

Conociendo el comportamiento de la variable de tiempo de servicio del sistema actual y con la plataforma lista para realizar pruebas es posible diseñar un modelo digital, como muestra la figura 7, para simular el funcionamiento de la plataforma utilizando el software de Arena Simulation para comparar los resultados y

determinar si realmente el nuevo modelo con la plataforma digital es más eficiente que el método tradicional.

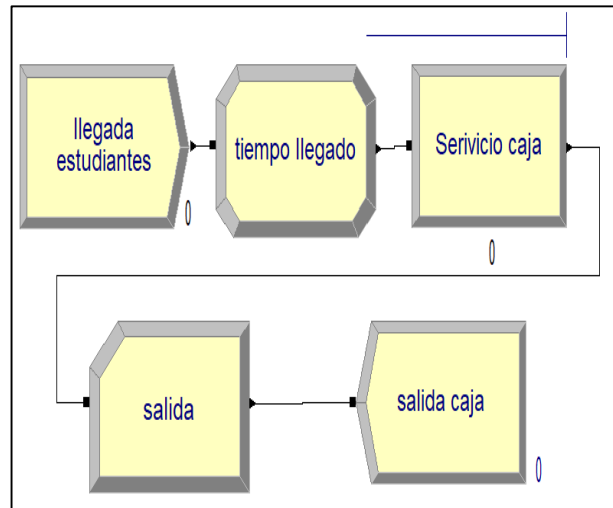


Figura 7. Flujo del sistema modelado en Arena Simulation.

La comparación de los resultados generados al ejecutar la simulación basado en un periodo de tiempo de 1 hora, como se muestra en la figura 8, nos indica que en promedio en el sistema tradicional entran 153 usuarios, mientras que el propuesto tiene 188. El tradicional atiende a un total de 137 y el propuesto un total de 185, esto representa un incremento de 9% en estudiantes atendidos, adicionalmente es importante mencionar que con el sistema propuesto los estudiantes desatendidos por falta de tiempo son solamente de 1.6%, mientras que en el modelo actual fue de 10.45%, un total de 8.86% de diferencia. Finalmente, el tiempo promedio que pasa un estudiante en fila mejoró de 163 segundos a 93 segundos lo cual implica un aumento en eficiencia del 42% comparado con el sistema tradicional, esto representa una reducción de casi la mitad en tiempo de espera en fila.

Tabla 2. Resultados del análisis de los modelos simulados

Descripción	Modelo actual	Modelo con NFC
Total de estudiantes en el sistema	153	188
Total de estudiantes atendidos	137	185
Número promedio de estudiantes esperando por ser atendidas	6	4
Tiempo promedio en el sistema (segundos)	163	93
Tiempo máximo en el sistema (segundos)	378	247
Tiempo mínimo en el sistema (segundos)	24	10
Tiempo promedio en cola (segundos)	138	74

Conclusión

Un medio de identificación digital, innovador, eficiente y seguro para situaciones de acceso dedicado para los estudiantes, docentes y administrativos, el desplazamiento en la función general pasiva del carné estudiantil de la Universidad Tecnológica de Panamá, a un funcionamiento activo con un sistema de recargas y pagos para procesos internos de transacciones comunes dentro de la institución y una plataforma web dedicada para la consulta y la aplicación del sistema han sido los resultados de este desarrollo e implementación de tecnología.

Por medio de la simulación realizada, con los datos y las estadísticas presentadas, podemos concluir que un sistema semi automatizado utilizando tarjetas NFC es mucho más eficiente, rápido y seguro, mejorando de gran manera la calidad de los procesos de pagos y la calidad de vida de no necesariamente solo los estudiantes y los administrativos sino también de la universidad o de cualquier otra institución con naturaleza similar en sus procesos internos de transacciones e identificación de sus integrantes.

Finalmente, queremos establecer que nuestro objetivo nunca fue de reemplazar el uso de la moneda en efectivo dentro de la universidad o ninguna organización, porque igualmente para hacer que nuestro sistema funcione, en su primera versión sin considerar las recomendaciones, es necesario el uso del efectivo. El objetivo siempre fue ofrecer una alternativa innovadora, más eficiente y mucho más segura, adicional al método actual de las transacciones en efectivo. Consideramos que la seguridad es un factor que todas las instituciones, organizaciones y empresas deben tener mucho más en cuenta, y especialmente una institución de educación superior como una universidad. Asegurar un nivel de seguridad dentro del campus o área de trabajo, para que sus miembros se enfoquen en estudiar o trabajar, es una de las cosas más fundamentales que la administración puede hacer por sus integrantes. El consumo de tiempo ineficiente en filas, la falta de seguridad en el campus o área de trabajo y sistemas de identificación y transacciones desactualizados o no existentes, fueron nuestros principales motivos para desarrollar este proyecto que damos por finalizado desde este punto.

Recomendaciones

Luego de finalizar el sistema propuesto, encontramos varios factores y elementos que se podrían mejorar o tienen un gran potencial para escalarse en un futuro:

- Incremento en la complejidad del número de identificación (ID) que se almacenan en las etiquetas NFC.
- Considerar posibilidad de habilitar recargas directas y en línea con los bancos locales.
- Asegurar las tarjetas NFC deshabilitando la opción de escritura (write) luego de la primera vez.
- Integración del sistema con una aplicación móvil que permita simular la tarjeta NFC.
- Escalar el ecosistema para permitir la interoperabilidad entre sistemas de servicios públicos como el Metro y Metrobús de Panamá, S.A.

Referencias

- [1] T. Lawrie-Fussey and J. Baker, *What is the future of Payment Technology*, Wales: Cambridge Design Partnertship. Disponible en: <https://www.cambridge-design.com/news-and-articles/blog/future-payment-technology>
- [2] Denso Wave Inc., *History of QR Code*. Disponible en: <https://www.qrcode.com/en/history/>.
- [3] Nequi by Banistmo S.A., *Nequi*. Disponible en: <https://www.nequi.com.pa/>
- [4] NFC Forum, *What are the operating modes of NFC devices*. Disponible en: <https://nfc-forum.org/resources/what-are-the-operating-modes-of-nfc-devices/>
- [5] G. Davies and J. Hodge, *History of Money: From Ancient Times to the Present Day*, Cardiff: University of Wales Press, 2002.
- [6] A. Abkowitz, *The Cashless Society Has Arrived — Only It's in China*. Disponible en: <https://www.wsj.com/articles/chinas-mobile-payment-boom-changeshow-people-shop-borrow-even-panhandle-1515000570/>
- [7] BlueBite, *RFID vs NFC*, 25 de marzo del 2019. Disponible en: <https://www.bluebite.com/nfc/rfid-vs-nfc>
- [8] BlueBite, *QR vs NFC*, 7 de enero del 2019. Disponible en: <https://www.bluebite.com/nfc/qr-vs-nfc>
- [9] BlueBite, *How does NFC works*, 29 de julio del 2019. Disponible en: <https://www.bluebite.com/nfc/how-does-nfc-work>
- [10] BlueBite, *The Complete Guide to NFC*, 28 de agosto del 2018. Disponible en: <https://www.bluebite.com/nfc>.
- [11] S. Holmes and C. Harber, *Getting MEAN with Mongo, Express, Angular, and Node*, Shelter Island: Manning Publications Co., 2019.

Disminución de la densidad aparente y del módulo dinámico longitudinal de cinco maderas angiospermas después de su exposición al fuego

Javier Ramón Sotomayor Castellanos¹ 

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

¹madera999@yahoo.com

DOI: 10.33412/jpri.v13.1.3028



Resumen: Se presenta la metodología y los resultados de pruebas de reacción al fuego de madera.

El objetivo de la investigación fue verificar si existe una disminución en la densidad y en el módulo dinámico de cinco maderas angiospermas al ser expuestas al fuego.

Se efectuaron pruebas de reacción al fuego de madera proveniente de las especies *Tabebuia rosea*, *Andira inermis*, *Juglans pyriformis*, *Quercus spp.* y *Cordia elaeagnoides*. Se realizaron pruebas no destructivas de vibraciones longitudinales, antes y después de exponer al fuego probetas de pequeñas dimensiones. Se determinaron la densidad aparente y el módulo dinámico para antes y después del tratamiento.

Después de su exposición al fuego las densidades de las maderas disminuyeron en las siguientes magnitudes: *T. rosea* 5,2%, *A. inermis* 3,7%, *J. pyriformis* 3,5%, *Quercus spp.* 2,7% y *C. elaeagnoides* 2%. Igualmente, los módulos dinámicos se redujeron de la siguiente manera: *T. rosea* 18,9%, *A. inermis* 8,2%, *J. pyriformis* 9,7%, *Quercus spp.* 9,9% y *C. elaeagnoides* 3,8%.

Los modelos lineales establecidos para las variables densidad y modulo dinámico indican que es posible predecir los valores esperados para cada una después del tratamiento de fuego por medio de una regresión lineal simple con un alto coeficiente de determinación.

Palabras clave: vibraciones longitudinales, reacción al fuego, pruebas no destructivas.

Title: Decrease in apparent density and longitudinal dynamic modulus of five angiosperm woods after exposure to fire.

Abstract: The methodology and results of wood fire reaction tests are presented.

The objective of the investigation is to verify if there is a decrease in density and in the dynamic module of five angiosperm woods when exposed to fire.

Wood fire resistance tests from the species *Tabebuia rosea*, *Andira inermis*, *Juglans pyriformis*, *Quercus spp.* and *Cordia elaeagnoides*. Non-destructive tests of longitudinal vibrations were performed, before and after exposing small specimens to fire. Bulk density and dynamic modulus were determined before and after treatment.

After exposure to fire, wood densities decreased in the following quantities: *T. rosea* 5,2%, *A. inermis* 3,7%, *J. pyriformis* 3,5%, *Quercus spp.* 2,7% and *C. elaeagnoides* 2%. Similarly, the dynamic modules were reduced as follows: *T. rosea* 18,9%, *A. inermis* 8,2%, *J. pyriformis* 9,7%, *Quercus spp.* 9,9% and *C. elaeagnoides* 3,8%.

The linear models established for the density and dynamic modulus variables indicate that it is possible to predict the expected values for each one after the fire treatment by means of a simple linear regression with a high coefficient of determination.

Key words: longitudinal vibrations, reaction to fire, non-destructive tests.

Tipo de artículo: investigación.

Fecha de recepción: 19 de junio de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

La magnitud del módulo dinámico de la madera reportado en la literatura es muy diversa [1] [2]. La literatura presenta tres causas de variabilidad, entre otras más. La primera causa es la biodiversidad entre especies forestales, lo que ocasiona que el módulo dinámico esté referido siempre a una especie en particular [3].

La segunda es ocasionada por las propiedades intrínsecas de la madera, como son la heterogeneidad anatómica y química [4], la anisotropía del material [5] y la higroscopicidad del tejido leñoso [6]. Estas tres propiedades intrínsecas a todas las especies ocasionan que el módulo de elasticidad sea referido a la especie, a una densidad aparente, y además que sea determinado en una dirección de medición y a un contenido de humedad de referencia.

La tercera causa de variación del módulo dinámico se debe a las diferentes configuraciones de las pruebas con que se miden los parámetros necesarios para calcular el módulo de elasticidad [7]. De esa manera, se indica que es un módulo estático o módulo dinámico, y se especifica el tipo de sollicitación utilizada para su determinación, por ejemplo: ultrasonido, ondas de esfuerzo y vibraciones [8] [9].

La literatura indica evidencia empírica acerca de la disminución del módulo de elasticidad de la madera cuando es expuesta al fuego [10] [11]. Esta proposición deriva de la combustión del material de una pieza de madera, y se refleja en la disminución de su geometría acompañada de una pérdida de masa en la materia leñosa. Este fenómeno se estudia principalmente con dos tipos de pruebas. El primer tipo de pruebas es la exposición al fuego de piezas de madera con

dimensiones reales de empleo, como lo son vigas y columnas [12] [13]. El segundo tipo se refiere al estudio de la reacción al fuego de probetas de pequeñas dimensiones [14] [15].

Dado que las pruebas de determinación del módulo de elasticidad son de carácter destructivo, se han desarrollado métodos de medición no destructivos que pueden caracterizar a una pieza o probeta de madera sin modificar sustancialmente sus propiedades físicas. De esta manera se pueden medir, por ejemplo, la velocidad de transmisión de una onda [16] o la frecuencia natural de vibración [17]. De esta forma, se pueden evaluar dichos parámetros antes y después de que la madera sea sometida al fuego [18].

La información respecto a la disminución del módulo de elasticidad de la madera se refiere a datos derivados de pruebas en condiciones de carga estática. Posiblemente el fenómeno es similar si se llevan a cabo pruebas dinámicas, como son las realizadas por medio de vibraciones.

Esta investigación propone, a manera de hipótesis, que la exposición de la madera al fuego reduce su módulo dinámico. Dicho supuesto se limita a probetas de pequeñas dimensiones expuestas al fuego en las condiciones de laboratorio especificadas para esta investigación. La hipótesis es verificable midiendo, antes y después del tratamiento, la densidad aparente de la madera y el módulo dinámico en la dirección longitudinal de las probetas.

El objetivo de la investigación fue verificar la variación en la densidad aparente, y el módulo dinámico de cinco maderas angiospermas luego de exponerlas al fuego.

2. Materiales y métodos

La unidad experimental consistió en cinco muestras independientes de 35 probetas, provenientes cada una de madera de las especies *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Andira inermis* (W. Wright) DC., *Juglans pyriformis* Liebm., *Quercus* spp. y *Cordia elaeagnoides* (Ruiz & Pav.). El tratamiento considerado fue el de la exposición al fuego. El factor de variación fue la especie, con dos niveles: antes del tratamiento (AT) y después del tratamiento (DT). Las maderas estudiadas son endémicas de México y Centroamérica [19]. La literatura con información acerca de sus propiedades tecnológicas está reportada en [2] [20] [21] [22].

2.1. Diseño experimental

Las variables de respuesta fueron: la densidad aparente (ρ_{CH}) y el módulo dinámico (E_L). El contenido de humedad en la madera se consideró parámetro de referencia invariable, y no intervino en el experimento. Para cada variable de los dos grupos de muestras se calcularon su media (μ), su desviación estándar (σ) y su coeficiente de variación porcentual ($CV = \sigma/\mu$).

Para las variables de respuesta, así como para los coeficientes de variación, se tomó como parámetro derivado el cálculo de las diferencias porcentuales (Δ) entre las medias de los resultados. Dicho cálculo se realizó antes y después del tratamiento.

Se determinó la normalidad en la distribución de las muestras con el criterio de demarcación para el sesgo estandarizado (SE) y para el apuntamiento estandarizado (AE): $[-2 < SE \text{ y/o } AE < +2]$; se verificó la igualdad de varianzas con la hipótesis: $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ con un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0,05$).

A continuación, se practicaron análisis de varianza con la hipótesis nula: $H_0: \mu_{AT} = \mu_{DT}$ con un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0,05$). Los subíndices AT y DT se refieren a los dos niveles del factor de variación. El criterio de demarcación fue aceptar una diferencia estadísticamente significativa para valores $P < 0,05$.

Utilizando el conjunto de los 175 datos correspondientes a las cinco especies, se calcularon las regresiones lineales ($y = ax + b$) y sus coeficientes de determinación (R^2) entre los resultados para antes del tratamiento (AT) y después del tratamiento (DT) de ρ_{CH} y E_L .

2.2. Materiales

Los materiales fueron recolectados en el Estado de Michoacán, México. Piezas de madera aserrada de: *T. rosea*, *A. inermis*, *J. pyriformis*, *Quercus* spp. y *C. elaeagnoides*. Los taxones botánicos de las especies se determinaron en el Laboratorio de Mecánica de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. El material experimental fue el mismo utilizado por [18].

Para cada especie se prepararon 35 probetas normalizadas de acuerdo con la norma ISO 3129:2012 [23] con dimensiones de 0,02 m x 0,02 m x 0,40 m en las direcciones radial, tangencial y longitudinal de la madera.

Las probetas se secaron en una cámara de acondicionamiento a 20 °C ($\pm 1^\circ$ C) y una humedad relativa del aire de 65% ($\pm 2\%$), hasta que la madera alcanzó un contenido de humedad de 11,4%; este procedimiento se realizó antes y después del tratamiento. Por lo tanto, se consideró que la variación en el contenido de humedad de la madera no intervino de manera significativa en los resultados. Estos datos son similares a los reportados por [18], debido a que se trata del mismo material experimental.

2.3. Métodos

Se adecuó un ensayo de reacción al fuego [18] y se realizaron pruebas no destructivas de vibraciones longitudinales, antes y después de exponer al fuego probetas de madera de las especies *T. rosea*, *A. inermis*, *J. pyriformis*, *Quercus* spp. y *C. elaeagnoides*.

El contenido de humedad en la madera se determinó con la ecuación (1) [24]:

$$CH = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

P_1 = Peso de la probeta al momento del ensayo (kg)

P_2 = Peso de la probeta en estado anhidro ($CH \approx 0\%$) (kg)

La densidad aparente de la madera para un contenido de humedad CH se determinó con la ecuación (2) [25]:

$$\rho_{CH} = \frac{P_1}{V_1} \quad (2)$$

Donde:

ρ_{CH} = Densidad aparente (kg m^{-3})

P_1 = Peso de la probeta al momento del ensayo (kg)

V_1 = Volumen de la probeta al momento del ensayo (m^3)

2.4. Pruebas de reacción al fuego

Se preparó un dispositivo de ensayo que consistió en un mechero de gas y dos soportes para las probetas (Figura 1). Entre los soportes se posicionó la probeta de forma que la llama del mechero impactara en la dirección transversal de esta.

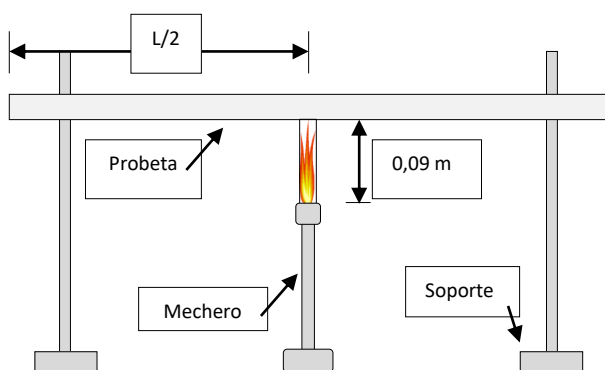


Figura 1. Pruebas de reacción al fuego. L = Dirección longitudinal y largo de la probeta.

Las pruebas de reacción al fuego siguieron el mismo procedimiento reportado por [18] y consistieron en las siguientes etapas:

1. Se midieron el peso y las dimensiones de la probeta.
2. La probeta se posicionó en el dispositivo para las pruebas de reacción al fuego, de forma que la llama del mechero impactara en la dirección transversal de esta.
3. La probeta se expuso durante dos minutos al flujo incidente de calor producido por la flama de 0,09 m de altura, obtenida por medio de un mechero de laboratorio tipo *Meker-Fisher* con regulación de aire y de gas, con quemador de 0,03 m de diámetro y temperatura máxima de 1300 °C.
4. Transcurrido el tiempo de exposición de dos minutos, la probeta se retiró de la flama y se frenó su combustión en una cama de arena.
5. La masa de madera carbonizada de la probeta se retiró y se midió el peso de la misma después de su exposición al fuego.

2.5. Pruebas de vibraciones longitudinales

Las pruebas de vibraciones longitudinales consistieron en proporcionar un impacto en un extremo de la probeta y medir su frecuencia natural de vibración con la ayuda de un micrófono posicionado cerca del extremo opuesto (Figura 2). El micrófono estaba conectado al aparato *Grindosonic*®, donde se midió la

frecuencia natural de la probeta de madera apoyada en el nodo del primer modo de vibración.

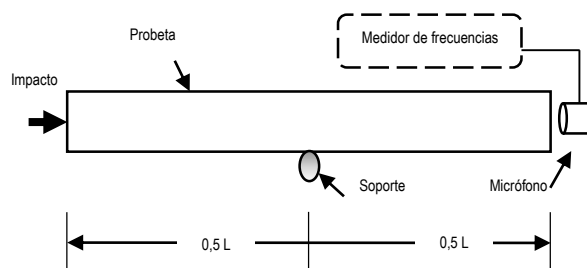


Figura 2. Pruebas de vibraciones longitudinales. L = Dirección longitudinal y largo de la probeta.

El módulo dinámico se calculó con la ecuación (3) [26]:

$$E_L = 4 L^2 \rho_{CH} f_L^2 \quad (3)$$

Donde:

E_L = Módulo dinámico en vibraciones longitudinales (N m^{-2})

L = Longitud de la probeta (m)

ρ_{CH} = Densidad aparente (kg m^{-3})

f_L = Frecuencia natural de vibración (Hz)

2.6. Cálculo de diferencias porcentuales

Las diferencias porcentuales entre los resultados, antes y después del tratamiento, se calcularon con la ecuación (4). La ecuación (4) también se utilizó para calcular las diferencias porcentuales de los coeficientes de variación:

$$\Delta = \left(\frac{\mu_{AT} - \mu_{DT}}{\mu_{AT}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

Δ = Diferencia porcentual (%)

μ_{AT} = Media antes del tratamiento de exposición al fuego

μ_{DT} = Media después del tratamiento de exposición al fuego

3. Resultados

La Tabla 1 muestra la densidad aparente y el módulo dinámico para antes y después del tratamiento de las especies *T. rosea*, *A. inermis*, *J. pyriformis*, *Quercus* spp. y *C. elaeagnoides*; así como las diferencias porcentuales. La Tabla 2 relaciona los resultados del análisis estadístico. En función de los datos para antes del tratamiento, la Tabla 3 exhibe las correlaciones lineales y sus coeficientes de determinación entre resultados para después del tratamiento.

Las pruebas de Anova y de *Kruskal-Wallis* indican que respecto a las variables ρ_{CH} y E_L existen diferencias estadísticamente significativas, para antes y después de la exposición al fuego en algunas especies. Sin embargo, los resultados de ρ_{CH} para *J. pyriformis*, así como ρ_{CH} y E_L para *C.*

elaeagnoides, indican que no existen diferencias estadísticamente significativas

Tabla 1. Densidad aparente y módulo dinámico para antes y después del tratamiento

	Antes del tratamiento		Después del tratamiento		Diferencias	
	ρ_{CH}	E_L	ρ_{CH}	E_L	$\Delta\rho_{CH}$	ΔE_L
	(kg m ⁻³)	(MN m ⁻²)	(kg m ⁻³)	(MN m ⁻²)	(%)	(%)
<i>1. Tabebuia rosea</i>						
μ	613	12873	581	10445	-5,2*	-18,9*
σ	59	1424	59	1151	-	-
CV	9,6	11,1	10,2	11,0	+6,3	-0,9
<i>2. Andira inermis</i>						
μ	737	11083	710	10177	-3,7*	-8,2*
σ	37	1875	42	1342	-	-
CV	5,0	16,9	6,0	13,2	+20,0	-21,9
<i>3. Juglans pyriformis</i>						
μ	773	13867	746	12525	-3,5	-9,7*
σ	60	2472	61	2342	-	-
CV	7,7	17,8	8,1	18,7	+5,2	+5,1
<i>4. Quercus spp.</i>						
μ	866	21551	843	19421	-2,7*	-9,9*
σ	54	2998	55	3166	-	-
CV	6,3	13,9	6,5	16,3	+3,2	+17,3
<i>5. Cordia elaeagnoides</i>						
μ	996	19032	976	18304	-2,0	-3,8
σ	97	2730	97	2865	-	-
CV	9,7	14,3	10,0	15,7	+3,1	+9,8
ρ_{CH} = Densidad aparente; E_L = Módulo dinámico; Δ = Diferencia porcentual; μ = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación porcentual; *Existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.						

Tabla 2. Resultados del análisis estadístico

	Pruebas de normalidad				Pruebas de hipótesis		
	AT		DT		Ver-Var	Anova	K-W
	SE	AS	SE	AS	$P_{(\alpha=0,05)}$	$P_{(\alpha=0,05)}$	$P_{(\alpha=0,05)}$
<i>Tabebuia rosea</i>							
ρ_{CH}	-0,6286	-0,2682	-0,7101	-0,4667	0,9725 ^{ns}	0,0269*	-
E_L	0,1764	3,1873	0,1751	2,2841	0,3857 ^{ns}	-	< 0,001*
<i>Andira inermis</i>							
ρ_{CH}	-0,0998	-1,0218	-0,0439	-0,0598	0,5475 ^{ns}	0,0061*	-
E_L	-1,6706	0,1770	-0,2667	-0,0058	0,0641 ^{ns}	0,0231*	-
<i>Juglans pyriformis</i>							
ρ_{CH}	-0,6014	-0,4579	-0,6630	-0,5102	0,9558 ^{ns}	0,0686 ^{ns}	-
E_L	0,4273	-0,8142	-0,0528	-1,2243	0,8375 ^{ns}	0,0226*	-
<i>Quercus spp.</i>							
ρ_{CH}	-4,5993	6,2573	-4,7295	6,4449	0,9978 ^{ns}	-	0,0188*
E_L	-1,2079	-0,1832	-1,5427	0,8450	0,8972 ^{ns}	-	0,0052*
<i>Cordia elaeagnoides</i>							
ρ_{CH}	-1,3709	-0,9560	-1,4006	-0,9343	0,9917 ^{ns}	-	0,4092 ^{ns}
E_L	0,0329	-1,5909	0,0313	-1,4646	0,6350 ^{ns}	0,2800 ^{ns}	-

ρ_{CH} = Densidad aparente; E_L = Módulo dinámico; AT = Antes del tratamiento; DT = Después del tratamiento; SE = Sesgo estandarizado; AE = apuntamiento estandarizado; [-2 < SE y/o AE < +2]: Distribución normal; Ver-Var = Verificación de varianza; Anova = Análisis de varianza; K-W = Prueba de Kruskal-Wallis; * $P_{(\alpha=0,05)} < 0,05$: Sí existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%; ns : No existe una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza de 95%.

Tabla 3. Correlaciones lineales y coeficientes de determinación

	$y = a x + b$	R^2
<i>Tabebuia rosea</i>		
$\rho_{CH} DT = f(\rho_{CH} AT)$	$\rho_{CH} DT = 1,002 \rho_{CH} AT - 33$	0,99
$E_L DT = f(E_L AT)$	$E_L DT = 0,745 E_L AT + 853$	0,85
<i>Andira inermis</i>		
$\rho_{CH} DT = f(\rho_{CH} AT)$	$\rho_{CH} DT = 1,104 \rho_{CH} AT - 104$	0,90
$E_L DT = f(E_L AT)$	$E_L DT = 0,209 E_L AT + 7857$	0,09
<i>Juglans pyriformis</i>		
$\rho_{CH} DT = f(\rho_{CH} AT)$	$\rho_{CH} DT = 1,012 \rho_{CH} AT - 36$	0,99
$E_L DT = f(E_L AT)$	$E_L DT = 0,913 E_L AT - 137$	0,93
<i>Quercus spp.</i>		
$\rho_{CH} DT = f(\rho_{CH} AT)$	$\rho_{CH} DT = 1,006 \rho_{CH} AT - 28$	0,99
$E_L DT = f(E_L AT)$	$E_L DT = 0,608 E_L AT - 6320$	0,33
<i>Cordia elaeagnoides</i>		
$\rho_{CH} DT = f(\rho_{CH} AT)$	$\rho_{CH} DT = 1,003 \rho_{CH} AT - 22$	0,99
$E_L DT = f(E_L AT)$	$E_L DT = 0,977 E_L AT - 446$	0,96

ρ_{CH} = Densidad aparente; E_L = Módulo dinámico; AT = Antes del tratamiento; DT = Después del tratamiento; R^2 = Coeficiente de determinación.

4. Discusión

Para las cinco especies de maderas, la densidad aparente después del tratamiento se correlaciona bien con la densidad aparente antes del tratamiento. Existen fuertes coeficientes de determinación que van de $R^2 = 0,90$ para *A. inermis*, hasta $R^2 = 0,99$ para *T. rosea*, *J. pyriformis*, *Quercus spp.* y *C. elaeagnoides*. Respecto a los resultados del módulo dinámico, los coeficientes de determinación para *A. inermis* y *Quercus spp.* son también débiles; mientras que para *T. rosea*, *J. pyriformis* y *C. elaeagnoides* las correlaciones son fuertes.

4.1. Densidad aparente

Después de su exposición al fuego, la densidad aparente disminuye significativamente para las especies *T. rosea*, *A. inermis* y *Quercus spp.* La menor diferencia aritmética la presenta *C. elaeagnoides*, y la mayor *T. rosea*. Particularmente, la especie *A. inermis* muestra una diferencia aritmética excepcional, en comparación con las demás maderas. Existe dos excepciones para las especies *J. pyriformis* y *C. elaeagnoides*, donde no se reportan diferencias estadísticamente significativas para esta variable, aunque la tendencia es de descenso de sus valores.

La disminución en la densidad aparente es resultado de la pérdida de masa en la región central donde las probetas estuvieron en contacto con la flama (Figura 3). Inmediatamente después de la exposición al fuego, el contenido de humedad en la madera disminuye, pero se recupera una vez reacondicionada la madera. En ese sentido, la variación en la densidad aparente representa la pérdida de la masa carbonizada.

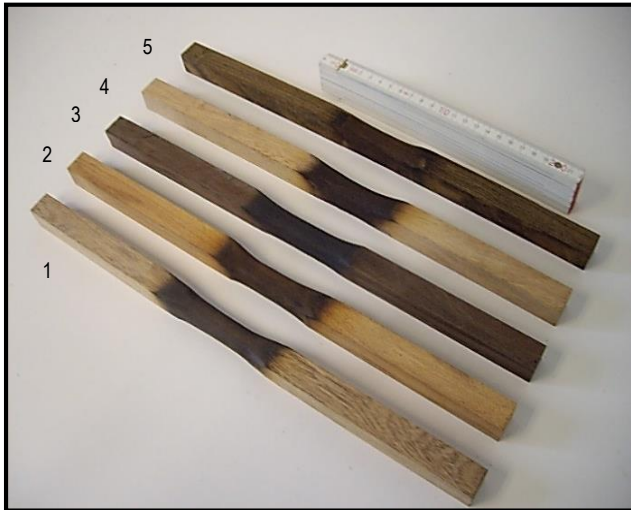


Figura 3. Probetas después de la exposición al fuego.

La numeración de las probetas corresponde a la de las especies de la tabla 1.

La magnitud en la disminución de la densidad aparente de la madera se reduce a medida que la densidad de cada especie aumenta. De tal forma que *T. rosea*, cuya densidad ($\rho_{CH} = 613 \text{ kg m}^{-3}$) es la menor de las cinco especies observadas, resulta con la mayor diferencia aritmética (-5,2%) y *C. elaeagnoides* ($\rho_{CH} = 996 \text{ kg m}^{-3}$) con la menor (-2,0%).

Este resultado ha sido observado para probetas de pequeñas dimensiones por [15] [28] [29]; así como entre otros investigadores. La magnitud de la pérdida de masa reportada es particular a cada especie estudiada, y varía de acuerdo con las dimensiones de las probetas y las configuraciones de las pruebas. La pérdida de masa indica el nivel de pirólisis, de volatilización y de combustión de la madera. Este parámetro se encuentra estrechamente relacionado con la tasa de liberación de calor, el área de extinción específica y el rendimiento de óxido de carbono. Además, una menor pérdida de masa en una madera indica una menor propensión a la propagación de la llama [15].

4.2. Módulo dinámico

Cuando las probetas son expuestas al fuego el módulo dinámico disminuye significativamente para cuatro especies. Así mismo, se observa una disminución aritmética del coeficiente de variación para *T. rosea* y *A. inermis*; pero aumenta para *J. pyriformis*, *Quercus* spp. y *C. elaeagnoides*.

Un fenómeno análogo al de esta investigación ha sido observado por [30], quienes reportan una reducción de 13,8% en

el módulo de elasticidad determinado en flexión estática de madera aserrada de la especie *Pseudotsuga menziesii* ($\rho_{CH} = 510 \text{ kg m}^{-3}$); esto después de cinco minutos de exposición al fuego en un experimento similar al del presente estudio.

La magnitud del módulo dinámico deriva del cálculo realizado con la Ecuación (3), donde se encuentran implícitas la densidad aparente y la frecuencia natural en vibraciones longitudinales. De esa forma, la combinación y la variación de los dos parámetros también ocasionan la disminución aparente en el módulo dinámico de una pieza de madera con las dimensiones específicas de la probeta.

La Figura 4 presenta la correlación lineal entre las densidades aparentes y la Figura 5 la correlación entre los módulos dinámicos, así como sus coeficientes de determinación R^2 . Debido a la escala utilizada en estas figuras, no se visualizan todos los puntos experimentales correspondientes a 175 probetas de las cinco especies. Las mediciones de las variables fueron consistentes y sus correlaciones, para antes y después del tratamiento, resultaron con fuertes coeficientes de determinación entre ellas. Por su parte, la ecuación (3), utilizada como modelo analítico para determinar el módulo dinámico de la madera en vibraciones longitudinales, es verificada de manera experimental con los modelos de predicción detallados en la Tabla 3.

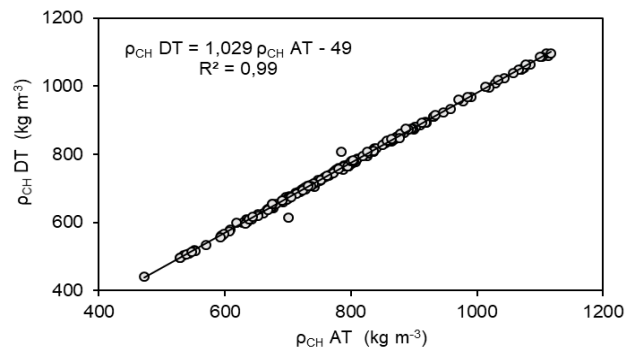


Figura 4. Correlación lineal entre los resultados para 175 probetas de las cinco especies, de la densidad aparente (ρ_{CH}), después del tratamiento (DT), en función de la densidad aparente antes del tratamiento (AT).

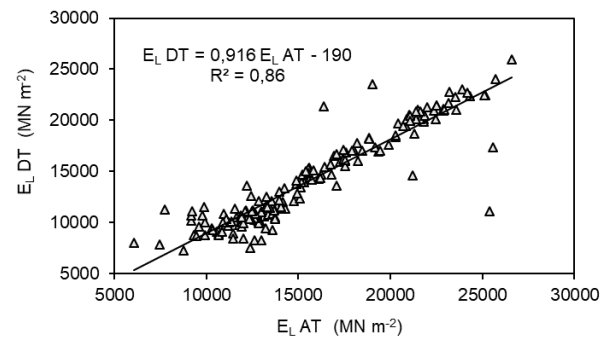


Figura 5. Correlación lineal entre los resultados para 175 probetas de las cinco especies, el módulo dinámico (E_L) después del tratamiento (DT), en función del módulo dinámico antes del tratamiento (AT).

5. Conclusiones

Tras su exposición al fuego, existe una tendencia a la reducción en la densidad aparente, y el módulo dinámico de la madera de *T. rosea*, *A. inermis*, *J. pyriformis*, *Quercus* spp. y *C. elaeagnoides*; características determinadas por medio de vibraciones longitudinales en probetas de pequeñas dimensiones.

La disminución es general para las cinco maderas, pero las diferencias fueron significativas en tres especies para la densidad y en cuatro para el módulo dinámico. La magnitud en la disminución de la densidad aparente y el módulo dinámico se reduce a medida que la densidad de cada especie aumenta.

Los modelos lineales establecidos para las variables densidad y modulo dinámico indican que es posible predecir los valores esperados para cada una después del tratamiento de fuego por medio de una regresión lineal simple con un alto coeficiente de determinación.

Agradecimientos

La investigación estuvo patrocinada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se agradece al Doctor Juan Zárate Medina por facilitar el equipo para realizar las pruebas dinámicas, y a los alumnos de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera por su participación en los trabajos de laboratorio.

Referencias

- [1] Forest Products Laboratory, *Wood handbook. Wood as an engineering material*, Madison: Forest Products Laboratory, 2010.
- [2] J. R. Sotomayor, *Banco FITECMA de características físico-mecánicas de maderas mexicanas*, Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2015.
- [3] I. Brémaud, Y. El Kaïm, D. Guibal, K. Minato, B. Thibaut and J. Gril, "Characterisation and categorisation of the diversity in viscoelastic vibrational properties between 98 wood types", *Annals of Forest Science*, vol. 69, no. 3, pp. 373-386, 2012.
- [4] S. Schubert, D. Gsell, J. Dual, M. Motavalli and P. Niemz, "Acoustic wood tomography on trees and the challenge of wood heterogeneity", *Holzforschung*, vol. 63, no. 1, pp. 107-112, 2009.
- [5] I. Brémaud, J. Gril and B. Thibaut, "Anisotropy of wood vibrational properties: dependence on grain angle and review of literature data", *Wood Science and Technology*, vol. 45, no. 4, pp. 735-754, 2011.
- [6] R. R. N. Mvondo, P. Meukam, J. Jeong, D. D. Meneses and E. G Nkeng, "Influence of water content on the mechanical and chemical properties of tropical wood species", *Results in Physics*, vol. 7, pp. 2096-2103, 2017.
- [7] E. V. Bachtir, S. J. Sanabria, J. P. Mittig and P. Niemz, "Moisture-dependent elastic characteristics of walnut and cherry wood by means of mechanical and ultrasonic test incorporating three different ultrasound data evaluation techniques", *Wood Science and Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 47-67, 2017.
- [8] R. J. Ross, *Nondestructive evaluation of wood: General Technical Report FPL-GTR-238*, Madison: Forest Products Laboratory, 2015.
- [9] J. Tippner, J. Hrivnák and M. Kloiber, "Experimental evaluation of mechanical properties of softwood using acoustic methods", *BioResources*, vol. 11, no. 1, pp. 503-518, 2016.
- [10] A. Sinha, R. Gupta, and J. A. Nairn, "Thermal degradation of bending properties of structural wood and wood-based composites", *Holzforschung*, vol. 65, no. 2, pp. 221-229, 2011.
- [11] M. Y. Wen, C. W. Kang and H. J. Park, "Impregnation and mechanical properties of three softwoods treated with a new fire retardant chemical", *Journal of Wood Science*, vol. 60, no. 5, pp. 367-375, 2014.
- [12] B. Östman, D. Brandon and H. Frantzich, "Fire safety engineering in timber buildings", *Fire Safety Journal*, vol. 91, no. pp. 11-20, 2017.
- [13] J. Schmid, M. Klippel, A. Just and A. Frangi, "Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced Cross-Section Method", *Fire Safety Journal*, vol. 68, no. pp. 81-99, 2014.
- [14] M. J. DiDomizio, P. Mulherin and E. J. Weckman, "Ignition of wood under time-varying radiant exposures", *Fire Safety Journal*, vol. 82, pp. 131-144, 2016.
- [15] Q. Xu, L. Chen, K. A. Harries, F. Zhang, Q. Liu and J. Feng, "Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests", *Construction and Building Materials*, vol. 96, pp. 416-427, 2015.
- [16] R. Gonçalves, A. J. Trinca and B. P. Pellis, "Elastic constants of wood determined by ultrasound using three geometries of specimens", *Wood Science and Technology*, vol. 48, no. 2, pp. 269-287, 2014.
- [17] R. Longo, D. Laux, S. Pagano, T. Delaunay, E. Le Clézio and O. Arnould, "Elastic characterization of wood by Resonant Ultrasound Spectroscopy (RUS): a comprehensive study", *Wood Science and Technology*, vol. 52, no. 2, pp. 383-402, 2018.
- [18] J. R. Sotomayor, "Módulo dinámico de la madera de cinco especies mexicanas expuestas al fuego", *Ingenierías*, vol. 21, no. 78, pp. 20-35, 2018.
- [19] J. Cordero and D. H. Boshier, *Árboles de Centroamérica*, San José: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2003.
- [20] J. A. Silva, et al., *Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas*, México: Comisión Nacional Forestal, 2010.
- [21] J. R. Sotomayor and M. I. Carrillo, "Comportamiento al fuego de cinco especies mexicanas. Estudio comparativo", *Investigación e Ingeniería de la Madera*, vol. 13, no. 1, pp. 4-38, 2017.
- [22] J. C. Tamarit y J. L. López, *Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México*, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2007.
- [23] International Organization for Standardization, *ISO 3129:2012. Wood - Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests*, Geneva: International Organization for Standardization, 2012.
- [24] International Organization for Standardization, *ISO 13061-1:2014. Wood. Determination of moisture content for physical and mechanical tests*, Geneva: International Organization for Standardization, 2014.

- [25] International Organization for Standardization, *ISO 13061-2:2014. Wood. Determination of density for physical and mechanical tests*, Geneva: International Organization for Standardization, 2014.
- [26] P. G. D. Segundinho, L. C. Cossolino, A. H. A. Pereira and C. Calil, "Analysis of the natural vibration frequency test method to obtain the modulus of elasticity of wood structural components", *Revista Arvore*, vol. 36, no. 6, pp. 1155-1161, 2012.
- [27] M. Yuksel, E. Baysal and H. Toker, "Combustion characteristics of oriental beech wood impregnated with commonly used borates", *Wood Research*, vol. 59, no. 1, pp. 39-50, 2014.
- [28] G. Almeida, D. V. B. Santos and P. Perré, "Mild pyrolysis of fast-growing wood specie (Caribbean pine and Rose gum): Dimensional changes predicted by the global mass loss", *Biomass and Bioenergy*, vol. 70, pp. 407-415, 2014.
- [29] R. Emberley, T. Do, J. Yim and J. L. Torero, "Critical heat flux and mass loss rate for extinction of flaming combustion of timber", *Fire Safety Journal*, vol. 91, pp. 252-258, 2017.
- [30] B. Kukay, P. J. Barr, L. Friel, D. C. Coster and M. W. Halling, "Post-fire assessment, methodology, and equations for directly determining wood's residual flexural properties", *Forest Products Journal*, vol. 58, no. 1, pp. 40-46, 2008.

Técnicas de *machine learning* aplicadas a la evaluación del rendimiento y a la predicción de la deserción de estudiantes universitarios, una revisión.

Edmanuel Cruz¹ , Marvin González¹ , José Carlos Rangel¹ 

¹RobotSIS, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.
edmanuel.cruz, marvin.gonzalez2, jose.rangel (@utp.ac.pa)
DOI: 10.33412/pri.v13.1.3039



Resumen: En los últimos años, técnicas de Inteligencia Artificial (IA) como el aprendizaje automático o Machine Learning (ML) y el Aprendizaje profundo o Deep Learning (DL) han impactado de forma positiva el avance de distintos campos del conocimiento; entre ellos, la educación. La educación es un importante motor de todas las sociedades, permite a los individuos ser más productivos y resolver problemas con mayor efectividad, aplicando generalmente enfoques creativos. En la educación se ha utilizado las técnicas de ML para distintas tareas, entre ellas, la predicción de deserción y ayuda al rendimiento del estudiante. En este estudio analizaremos los trabajos más relevantes en estos campos, otorgando una perspectiva de cómo han influenciado los algoritmos de ML y DL en la educación. La búsqueda de los artículos ha sido realizada utilizando la herramienta de búsqueda proporcionada por Google Scholar. Las búsquedas se hicieron usando las palabras claves: Student Dropout, Student Performance Prediction y Machine Learning. Los artículos fueron seleccionados por relevancia (relevancia).

Palabras claves: Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático, Aprendizaje Profundo, mejoramiento estudiantil, deserción estudiantil, Predicción del rendimiento de los estudiantes.

Title: Machine Learning Techniques Applied to Evaluate the Performance and Dropout Prediction of University Student's, A Review.

Abstract: In recent years, Artificial Intelligence (AI) techniques such as Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) have positively impacted the advancement of various fields of knowledge, including education. Education is an important engine of all societies; education allows individuals to be more productive and solve problems more effectively by generally applying creative approaches. In education, the above-mentioned AI techniques

have been used for different tasks, among them, student dropout prediction and help to the student's performance. In this study we will analyze the most relevant works in these fields, giving a perspective of how ML and DL algorithms have influenced education.

Key words: Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Student Dropout, Student Improvement, Student Performance Prediction.

Tipo de artículo: revisión.

Fecha de recepción: 8 de junio de 2021

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

Tanto para los países como para las personas existe un vínculo directo entre el acceso a una educación de calidad y el desarrollo social y económico. Todos los países, independientemente de su nivel de riqueza, se beneficiarían de una mejor y mayor cobertura en educación. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés), si se proporcionara a todos los niños acceso a la educación y a las aptitudes necesarias para participar plenamente en la sociedad, el Producto Interno Bruto aumentaría en un promedio del 28% anual en los países de ingresos bajos y del 16% anual en los países de ingresos altos durante los próximos 80 años [1]. Por otro lado, tenemos los avances en Inteligencia Artificial (IA), la cual es una herramienta de gran alcance que permite a la gente repensar la forma en que integramos la información, analizamos los datos y utilizamos los conocimientos resultantes para mejorar la toma de decisiones. Hoy se encuentra como un ente que transforma todos los ámbitos de la vida [2].

La inteligencia artificial cuenta con distintas ramas, que abarcan distintos campos de estudios. Los autores de [3], realizaron un resumen esquemático de las principales ramas de la inteligencia artificial (IA), incluidos los métodos de aprendizaje automático (ML). En la Figura 1 se puede apreciar dicho resumen esquemático. En este estudio nos concentraremos en las técnicas de *Machine Learning* y *Deep Learning*.

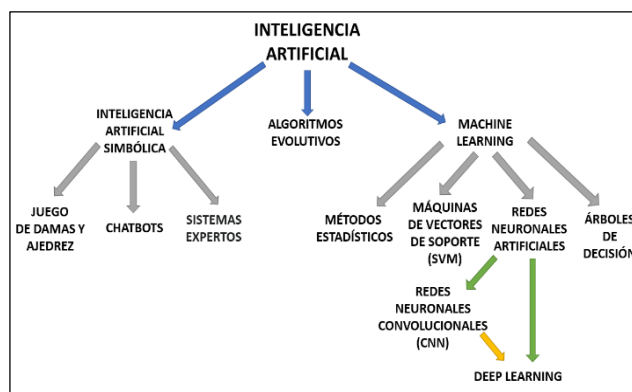


Figura 1. Resumen esquemático de las principales ramas de la inteligencia artificial (IA).

En la actualidad, técnicas de IA como el *Machine Learning* están transformando la educación y cambiando fundamentalmente la enseñanza, el aprendizaje y la investigación. Los educadores están utilizando el ML para detectar de forma temprana a los estudiantes con dificultades y tomar medidas para mejorar el éxito y la retención¹ del estudiante en el sistema.

En el caso de la deserción, esta ocurre por distintos factores. Primeramente, puede ser voluntaria, en cuyo caso, aunque se deserte de una carrera puede transferirse a otra carrera o a otra universidad. Segundo, tenemos la deserción involuntaria, la cual conlleva casi siempre a la deserción total. Esta se da por factores socioeconómicos, motivaciones e intereses del estudiante. Aunque la transferencia depende de las motivaciones del estudiante, también puede ser influenciada por las condiciones dentro de la universidad [4]. Con respecto a la predicción del rendimiento de los estudiantes, se puede decir que es uno de los temas más importantes para los contextos de aprendizaje como las escuelas y las universidades, ya que ayuda a diseñar mecanismos eficaces que mejoran los resultados académicos y evitan el abandono escolar, entre otras cosas [5].

En este sentido, muchos investigadores han enfocado sus esfuerzos en aplicar distintas técnicas de IA en líneas de investigación como la predicción de deserción y la ayuda al rendimiento del estudiante.

Aunque existen distintas revisiones de la literatura, tanto en predicción de deserción [6][7][8][9][10] como en el rendimiento y mejoramiento del desempeño estudiantil [11][12], son pocos los trabajos que revisan ambos temas de investigación.

Así, pues, motivados por las actuales tendencias, en el presente documento se examinan y resumen las prometedoras y desafiantes investigaciones sobre la predicción de deserción y la ayuda al rendimiento del estudiante, principalmente universitario, usando técnicas de ML.

La búsqueda de los artículos ha sido realizada utilizando la herramienta de búsqueda proporcionada por *Google Scholar*. Las búsquedas se hicieron usando las palabras claves: *Student Dropout*, *Student Performance Prediction* y *Machine Learning*. Los artículos fueron seleccionados por su relevancia y su año de publicación, empleando los filtros proporcionados por *Google Scholar*. Dichos filtros fueron: artículos publicados desde 2016 hasta el 2021, ordenar búsqueda en orden de relevancia y cualquier idioma. Finalmente, los artículos con mayor relevancia a la temática fueron utilizados en este estudio.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: En la sección 2 proporcionaremos la definición del problema de deserción y presentaremos los enfoques recientes que hacen uso de ML o DL para afrontar este problema. En la sección 3 veremos el tema de la predicción del desempeño del estudiante y la mejora del rendimiento de este. Finalmente, en la sección 4 se expondrán las conclusiones.

2. Predicción de deserción estudiantil

El fenómeno de la deserción universitaria se da en todas las universidades del mundo y sus efectos se sienten tanto a nivel económico, como a nivel de la sociedad y personal de los estudiantes que abandonan la universidad. Los factores que conducen al abandono de la universidad pueden ser de carácter social (antecedentes de los estudiantes, nivel de ingresos, etc.), psicopedagógico (inadecuado nivel académico de formación, inconsistencia entre la formación previa y los estudios universitarios, falta de servicios de asesoría, etc.) y personal (poca adaptabilidad a la universidad, bajos niveles de inteligencia socioemocional, etc.) [13].

El problema de la predicción de deserción estudiantil suele ser abordado como un problema de clasificación binaria, donde 0 indica un estudiante que permanece en el curso y 1 representa el estudiante que abandona. Según [14] el nivel de deserción en cursos online es entre 60% a 80% y en cursos presenciales es de alrededor de 40% [15]. Dado el creciente uso de las plataformas virtuales como medio de educación, situación creada por la pandemia ocurrida en el año 2020, analizaremos mayormente la deserción en plataformas virtuales. Según la literatura existen tres tipos de estrategias de predicción: Examen analítico, métodos clásicos de Aprendizaje automático o ML y Aprendizaje profundo o DL [6].

Resumiremos la primera y profundizaremos en los métodos de ML y DL. Cabe destacar que, casi siempre, los estudios de este tipo no toman en cuenta la situación financiera de los estudiantes, debido a que generalmente es información privada. A pesar de esto, estamos conscientes de que la situación financiera influye en la permanencia o no de los estudiantes en las universidades tal y como se destaca en [16].

2.1 Examen analítico

Generalmente en este tipo de exámenes se recogen datos de diversas fuentes y luego se realiza un análisis de correlación entre las características extraídas y la etiqueta de abandono.

Según [6] estos métodos son insensibles al tiempo y no garantizan hallazgos estables, ya que los patrones de abandono pueden cambiar con el tiempo. En este mismo trabajo los autores analizan dos estudios. En el primero [17], los autores recolectaron datos a través de encuestas sobre la deserción escolar que se produce en la educación superior en el campo de las ciencias de la computación, durante dos años. Luego examinaron la correlación entre el abandono de los estudiantes y los perfiles de los estudiantes. Proporcionan información estadísticamente significativa sobre la correlación de la presentación de asignaciones y la educación previa con la decisión de abandonar la escuela. Finalmente concluyen que los estudiantes que abandonan los estudios estiman erróneamente la carga de estudio mientras trabajan. Igualmente, una minoría de ellos siente que su tutor no les ayudó a comprender el material del curso y a completar sus tareas.

En un segundo estudio [18], los autores desarrollaron y probaron modelos predictivos usando los datos históricos de la actividad combinada con otras fuentes en los entornos de aprendizaje virtuales para tres módulos de la Open University (OU). Esto reveló que es posible predecir el fallo de los estudiantes observando el comportamiento de los cambios en las actividades en los entornos virtuales cuando es comparado con su propio comportamiento en ocasiones anteriores o cuando es comparado con estudiantes categorizados con comportamiento similar. Los autores también investigaron sobre el método de datos GUHA (*General Unary Hypothesis Automaton*) que es un método de generación automática de hipótesis basado en datos empíricos. Este método genera hipótesis a partir de los datos basados en los parámetros iniciales los cuales son: confianza, la cual delinea la probabilidad de que una hipótesis generada clasifique correctamente las etiquetas; el soporte, que es el porcentaje mínimo de las reglas que se ajusta a la regla generada, y el número máximo de antecedentes, que corresponde al número de literales que se producen en la parte izquierda de la implicación. Los autores muestran que no presentar la cuarta evaluación lleva a un abandono completo del curso. Sin embargo, los resultados son exactos cuando se aplican a través de diferentes presentaciones del módulo [6].

2.2 Métodos Clásicos de Machine Learning

El *Machine Learning* es una rama evolutiva de los algoritmos computacionales que están diseñados para emular la inteligencia humana aprendiendo del entorno [19]. Los modelos generados por Machine Learning han demostrado un gran éxito en el aprendizaje de patrones complejos que les permiten hacer predicciones sobre datos no observados [20]. Las técnicas basadas en ML se han aplicado con éxito en diversos campos que van desde el reconocimiento de patrones, la visión por ordenador, las finanzas, la ingeniería de naves espaciales, el entretenimiento, la biología computacional, aplicaciones médicas y por supuesto la educación. A continuación, describiremos en orden cronológico, desde 2016 hasta 2021, los trabajos que utilizan técnicas clásicas de ML para predicción de la deserción estudiantil.

2.2.1 Trabajos presentados desde el año 2016 hasta el 2021

En [21], se utilizó un dataset extraído del registro de la Universidad de Washington (UW). Los datos contienen la información demográfica (raza, sexo, fecha de nacimiento, condición de residente e identificación como hispano), información sobre el ingreso a la universidad (resultados de los exámenes SAT y ACT, si están disponibles) y registros completos de las transcripciones (clases tomadas, tiempo en que se tomaron, calificaciones recibidas y áreas de especialización declaradas) de todos los estudiantes del sistema de la Universidad de Washington (UW) (que consiste en un campus principal en Seattle y dos campus satélites: Bothell y Tacoma). Tomaron muestras al azar de la mayoría para crear un conjunto equilibrado de datos compuesto por 32,538 estudiantes. En el mapeo de características, la etnia, el género y la condición de residente eran variables categóricas en las que cada estudiante sólo pertenecía a una única categoría y la

inclusión en las categorías era mutuamente excluyente entre las variables. Cada posible etnia (6 en total), género (3 en total), y estatus de residente (7 en total) fueron mapeados a través de variables ficticias. Para realizar sus experimentos utilizaron tres modelos de ML: *regularized logistic regression* (regresión logística regularizada), *k-nearest neighbors* (k-vecinos más cercanos) y *Random Forests* (bosques aleatorios) para predecir la variable binaria de abandono sobre las características descritas anteriormente. En todos los experimentos, analizan el rendimiento con un 30% de los datos, seleccionados al azar. Con el 70% restante de los datos, se utilizó una validación cruzada con $k=10$ para ajustar los parámetros del modelo (por ejemplo, la fuerza de regularización para la regresión logística, el número de vecinos en kNN, y la profundidad del árbol en bosques aleatorios). Según los autores la regresión logística regularizada proporcionó las mejores predicciones. Predecir el número de trimestres que tardan en terminar los cursos antes de retirarse dio resultados marginales, ya que las predicciones tenían un error cuadrático medio (RMSE) de unos 5 trimestres de matriculación.

Los autores en [22] proponen utilizar el algoritmo ID3 [23][24] de J. Ross Quinlan. Este algoritmo, el ID3, utiliza un enfoque voraz de arriba hacia abajo para construir un árbol de decisiones. Explicado de forma más simple, el enfoque descendente significa que empezamos a construir el árbol desde la cima y el enfoque voraz significa que en cada iteración seleccionamos la mejor característica del momento para crear un nodo. En este trabajo los autores han mejorado el tradicional algoritmo ID3 mediante el uso de la entropía de Rényi [25]. Esta combinación se utiliza como un nuevo criterio para construir el árbol de decisión y predecir el abandono de los estudiantes universitarios. Para este estudio empírico, que consta de 32 variables, se utilizó un conjunto de datos de 240 muestras recogidas al azar mediante una encuesta en una universidad situada en la India. Los autores reportaron que su algoritmo obtuvo un 97% de exactitud sobre los datos utilizados versus 92% que obtuvo un modelo de árbol de decisión tradicional.

En este trabajo [26], los autores propusieron un sistema de predicción de la deserción en plataformas MOOC (cursos masivos abiertos en línea), mediante un algoritmo no supervisado que utiliza datos históricos con el objetivo de predecir antes de que ocurra. Para llevar a cabo su trabajo utilizaron los datos del curso de Estructuras de Datos y Algoritmos de la Universidad de Pekín en Coursera. El curso dura 14 semanas y consiste en vídeos de conferencias, pruebas, tareas de programación y un foro de discusión. El sistema propuesto hace uso de *Random Forest* para clasificar los datos y se utilizó F-1 Score como medida de precisión. Basándose en los resultados de los experimentos del sistema de predicción de abandono escolar, los autores hacen varias sugerencias para ayudar a mejorar la gestión del curso desde la perspectiva de la prevención del abandono, tales como ofrecer a los estudiantes más oportunidades de realizar pruebas y tareas, prolongar el periodo de realización de las tareas calificadas, animar a los estudiantes a participar en los foros de discusión y diseñar pruebas en vídeo para dividir cada vídeo en fragmentos cortos.

Los autores, en [27], han investigado el nivel práctico de precisión que puede lograrse con un predictor automático de abandono del MOOC. Para desarrollar su enfoque, hacen uso de una arquitectura de clasificación de los detectores de regresión logística con regularización de L2, lo que equivale a una red neuronal de dos capas. Los experimentos y análisis de este estudio se basan en datos de 40 MOOCs de HarvardX. Para medir la precisión de los clasificadores de abandono, los autores utilizaron la métrica de la Curva de las características de funcionamiento del receptor (AUC). La propia curva de características operativas del receptor (ROC) traza la tasa positiva verdadera frente a la tasa positiva falsa del clasificador entrenado. Un punto destacable de este estudio es la implementación de una red neuronal prealimentada (*feed-forward network*) que les permite extraer características demográficas básicas y de flujo de clics más profundas con los cuales obtuvieron mejores resultados. Los resultados de su investigación sugieren que la precisión de los clasificadores que se entrenan con datos que se recogen sólo después de que un curso haya terminado y que, por lo tanto, no son utilizables en el propio MOOC suelen ser varios puntos porcentuales más altos que los clasificadores que se entrenan en otros MOOC. Según los autores, esto subraya la importancia de una cuidadosa estimación de la precisión antes de llevar a cabo una intervención a gran escala.

En la propuesta [28], los autores introducen una metodología para predecir la deserción estudiantil utilizando el algoritmo de clasificación Naïve Bayes en el lenguaje R. Este estudio también examina la razón de la deserción de los estudiantes en un estado temprano y predecir si el estudiante abandonará o no. Por lo tanto, la recopilación de datos juega un papel importante en este trabajo. Los datos recogidos son evaluados por las diversas técnicas de preprocesamiento de datos. Los datos contienen información sobre 54 atributos diferentes de cada estudiante.

Los datos recopilados por diversos recursos muestran que muchos factores como los académicos, los demográficos, los psicológicos, los de salud, etc. juegan un papel importante en el abandono escolar. En esta investigación utilizan ciertas metodologías como la técnica de cálculo, la identificación de factores y la preparación de un cuestionario de encuesta [29].

La arquitectura es descrita de la siguiente manera:

- El estudiante es el usuario que interactúa con el sistema a través de la API de Google. La API consiste en el conjunto de encuesta, pre-encuesta y post-encuesta.
- La pre-encuesta se utiliza para encuestar al estudiante del primer semestre y la encuesta posterior es utilizada para encuestar al estudiante del tercer semestre.
- Las dos se utilizan para distinguir el punto de vista de un estudiante que se une a la universidad (pre-encuesta) y el estudiante que continúa en la universidad (post-encuesta).
- Los formularios de Google son usados para hacer el informe de la encuesta y luego son almacenados en la base de datos.

- Los datos almacenados son procesados mediante la técnica de preprocesamiento de datos. La reducción de la dimensionalidad [30] tiene un papel importante en la arquitectura reduciendo los atributos de la colección de conjuntos de atributos
- Luego los datos de los atributos se almacenan en la base de datos y los datos se evalúan usando *InfoGainAttributeEval*.
- El paso final es la predicción. Muestra si el correspondiente estudiante cometerá abandono de estudios en un formato de sí o no.

Según los resultados presentados, este modelo ayudará a identificar al estudiante que va a abandonar el curso registrado.

En [31], los autores describen los resultados de un caso de estudio de análisis de datos educativos enfocado en la detección de deserción de estudiantes de pregrado de Ingeniería de Sistemas (SE) luego de 7 años de matrícula en una universidad colombiana. El dataset utilizado en este trabajo proviene de 802 estudiantes matriculados en el Programa de Ciencias de la Computación en una universidad privada en Bogotá, Colombia.

En este estudio se comparan los resultados de Árboles de Decisión (*Decision Trees*), Regresión Logística (*Logistic Regression*) y Naïve Bayes para proponer la mejor opción. Sus resultados experimentales mostraron que los algoritmos simples logran niveles confiables de precisión para identificar el abandono estudiantil. Además, evalúan el servicio de Watson Analytics para establecer la usabilidad del servicio para un usuario no experto. Watson Analytics es un servicio inteligente para analizar y visualizar datos para descubrir rápidamente patrones y significado en los datos, sin tener ningún conocimiento previo. Watson Analytics utiliza el descubrimiento de datos guiado, el análisis predictivo automatizado y las capacidades cognitivas para interactuar con los datos y obtener hallazgos que comprenda. Los resultados experimentales mostraron que el mejor AUC se logró mediante el modelo de árbol de decisión (0,94), por lo que esta precisión podría ser lo suficientemente segura como para ayudar a la detección temprana de abandono. En los resultados muestran que el rendimiento de los cursos de ingeniería de sistemas está correlacionado con el rendimiento de los cursos de física y matemáticas.

Los autores de [32] proponen aplicar algoritmos de ML para predecir la deserción escolar. Para ello hacen uso de los datos proporcionados por la organización Uwezo², la cual recoge datos sobre el nivel de educación del este de África. Este dataset contiene información escolar entre 2009 a 2015 de Kenia, Tanzania y Uganda. En este estudio los autores toman 4 algoritmos de aprendizaje supervisado los cuales son evaluados con 3 métricas: media geométrica, F-score, media geométrica ajustada. Utilizan como caso de estudio los datos de Tanzania. Estos datos fueron procesados y luego comparados entre ellos, además se evalúa el efecto de utilizar un modelo base y otro ajustando los hiperparámetro. La regresión logística y perceptrón multicapa son los que presentan mejores resultados cuando se utiliza la técnica de over-sampling.

En [15], los autores realizaron sus pruebas con dos algoritmos: Perceptrón multicapa y RBF (*radial basis function*)

Networks. Los datos utilizados fueron recolectados a través de encuestas a través de Formularios de Google. Para ellos fueron encuestados 2060 estudiantes de primero a cuarto año matriculados y no graduados de carreras de administración y humanidades de la Universidad pública de Ecuador entre los años 2014 a 2017. En el perceptrón multicapa se usó 60% de los datos para entrenamiento (1602 casos), 30% para validación (801) y 10% (267) como test. Y en el caso de la red RBF se usó 70% para entrenamiento y 30% para test. Con el modelo de Perceptrón Multicapa obtuvieron una exactitud de 96,3% en entrenamiento y 98,6% en Test. Mientras que con la Red RBF obtuvieron 96,8% en entrenamiento y 98,1% en test. Siendo el Perceptrón Multicapa el mejor modelo en cuanto a generalización de los datos se refiere.

En [33] utilizan regresión logística y arboles de decisión para predecir la deserción de estudiantes del Instituto de Tecnología de Karlsruhe. En este estudio se muestran cuáles son las principales causas de deserción en las universidades de Alemania. Para el desarrollo de las pruebas se utilizó datos de estudiantes de Ingeniería Industrial del Instituto de Tecnología de Karlsruhe que empezaron a estudiar entre el 2007 y 2012 periodo de otoño. En la selección de características, se tomaron 487 muestras de exámenes, notas, fechas, resultados y número de intentos. Los autores reflejan en sus resultados que es posible entrenar modelos de ML sobre datos puramente académicos sin necesidad de evaluar otros factores que afecten la privacidad de los datos. Entre las desventajas de este modelo entrenado tenemos que no puede ser transferible a otra universidad o institución ya que se entrenó sobre datos específicos de una sola facultad (Ing. Industrial); sin embargo, la técnica que se utiliza si puede ser replicada. A partir de estos datos puede obtenerse una exactitud (*accuracy*) de hasta el 95%, aunque este porcentaje baja a medida que se analizan datos de semestres más avanzados. Esto se debe principalmente al desbalance que hay en los datos.

En el enfoque presentado en [34], los autores utilizan *Random Forest* y Arboles de decisión como algoritmos de ML para predecir la deserción estudiantil en los estudiantes de Ingeniería Informática. Utilizan datos de 206 estudiantes de primer año del programa de Ing. Informática de la Universidad de Santiago de Chile entre los años 2012 - 2016, excepto del 2015. De estos datos, 146 pertenecen a la clase "*retention*" que representa a los estudiantes que pasaron al segundo año de estudio y 60 que pertenecen a la clase "*dropout*" que significa que desertaron. Incluye 40 *datapoints* (características) que van desde datos académicos, socioeconómicos y demográficos. Como test se usan datos del 2017 - 2018. De las 40 características se hace una selección de 7 utilizando *Random Forest*, donde 6 de ellas corresponden a factores académicos y una a un factor socioeconómico. Después que se hace la selección de características, se utiliza un árbol de decisión y se usan todos los datos del 2012 2016 como conjunto de entrenamiento. Los resultados los presentan en matrices de confusión con un 97,2% de exactitud.

Los autores en [35] presentan un modelo para explicar y predecir el abandono universitario, y diseñar acciones para reducirlo. Para ello utiliza un algoritmo k-means para clasificar y definir los patrones de rendimiento, y las predicciones para los nuevos estudiantes se realizan mediante un modelo de máquina de vectores de soporte (del inglés *Support Vector Machines*, SVM). Los datos utilizados en el estudio fueron recolectados de los estudiantes que se inscribieron en dos períodos de admisión de la Universidad Tecnológica Indoamérica de Ambato, Ecuador. Según los autores, los resultados permiten a las instituciones y al profesorado centrarse en los grupos de alto riesgo durante los primeros trimestres y modificar su comportamiento de aprendizaje futuro.

2.2.2 Otros Estudios

El estudio [36] está enfocado en la deserción estudiantil en preparatoria, sin embargo, presenta un enfoque interesante. Los autores proponen una metodología y un algoritmo de clasificación específico para descubrir modelos de predicción comprensibles de la deserción escolar lo antes posible. El dataset utilizado en este trabajo proviene de 419 estudiantes matriculados en la Unidad Académica Preparatoria de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAPUAZ) en México. En este estudio detallan 3 experimentos llevados a cabo para predecir la deserción en diferentes etapas del curso, para seleccionar los mejores indicadores de deserción y para comparar su algoritmo propuesto con algunos algoritmos clásicos de clasificación conocidos. El algoritmo propuesto por los autores fue llamado ICRM2 puesto que es una versión mejorada de su previo algoritmo llamado Interpretable *Classification Rule Mining* (ICRM) [37]. El algoritmo se compone de tres fases, en la primera fase, se crea un conjunto de reglas que exploran los dominios de atributos. En la segunda fase, el algoritmo itera para encontrar las reglas de clasificación y construye el clasificador. Finalmente, la tercera fase optimiza la precisión del clasificador. La metodología del ICRM fue adaptada para centrarse en la predicción de los estudiantes que abandonan los estudios antes de tiempo, donde hay menos información disponible sobre los estudiantes. Además, el procedimiento de generación de reglas del algoritmo ICRM2 fue adaptado para generar conjuntos de reglas centradas en la clase de datos desequilibrada (estudiantes que abandonan la escuela). ICRM2 genera dos conjuntos de reglas: el primero muestra las reglas que predicen el éxito del estudiante, mientras que el segundo predice el abandono del estudiante. Este algoritmo fue comparado con algoritmos tradicionales de ML o variantes de estos utilizando el software Weka³. Los algoritmos usados fueron: *Bayesian classifier*, Naïve Bayes, SVM [38], *Sequential minimal optimization* (SMO) [39], *K-nearest neighbours classifier*, *Classification rules* [40], *Decision trees*. Los autores reportaron que su algoritmo fue capaz de predecir la deserción de los estudiantes en las primeras 4 - 6 semanas del curso.

2.3 Métodos de Deep Learning

Actualmente los cursos masivos abiertos en línea (MOOC) se han vuelto muy populares y más con la pandemia, sin embargo, la tasa de abandono es también alta. Cómo predecir eficazmente el estado de abandono de los estudiantes en los MOOC para intervenir lo antes posible se ha convertido en un tema de actualidad. En este sentido, en [41] han propuesto un algoritmo que utiliza el word2vector para codificar, luego utiliza una red neuronal convolucional (CNN) para extraer características, luego utiliza una red de memoria de larga a corto plazo (LSTM) para combinar las características temporales de cada vector de entrada, y finalmente utiliza bosques aleatorios (RF) para predecir. El algoritmo puede extraer automáticamente las series temporales y aprovechar al máximo las ventajas de los algoritmos anteriores para mejorar el rendimiento del modelo. Los experimentos con conjuntos de datos comunes muestran que el AUC del modelo mejora significativamente en comparación con los algoritmos existentes. Este estudio [14], el problema de predicción de deserción se considera como predicción de series de tiempo. Se evalúan dos MOOCs ofrecidos por Coursera y edX con una RNN y una LSTM, para ello utilizan MATLAB. Este tipo de cursos la tasa de deserción está entre el 60-80%, por lo cual los datos se encuentran desbalanceados, pero esta vez con mayoría a la deserción. Para entrenar el modelo secuencial, se consideró como periodo de tiempo las semanas. En una semana un estudiante realiza distintas actividades dentro del curso como lecturas, exámenes, videos, etc. Esto se utiliza como entrada X a la red para predecir una salida Y en un tiempo t. La salida Y representa si deserta o no. Los autores reportan buenos resultados tratando el tema como un problema de clasificación de secuencias y aplicando modelos temporales para resolverlo.

En [42] los autores tienen como objetivo predecir si un estudiante de un curso en línea desertara en los siguientes 10 días. Según este trabajo, un problema común en sistemas de predicción es la parte de ingeniería de características que se suele hacer de forma manual y para cada plataforma o curso suele crearse un dataset no generalizable. Se utiliza una arquitectura a la cual llaman ConRec Network, este consiste en 2 redes trabajando conjuntamente. La primera parte es una CNN para extraer las características de los datos en crudo, a partir de estos para cada intervalo de tiempo forma matrices de características que son el input de una RNN que combina la información para predecir si el estudiante va a desertar o no. El dataset utilizado es el KDD Cup 2015[43]. Este dataset está en formato de texto y contiene distintos atributos como el tipo de actividad que realiza un estudiante, su ID y lo trabajan como si fuera un problema de Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP, por sus siglas en inglés) para luego hacer *one-hot vector*. Cabe mencionar que los autores compararon el modelo de su red con algoritmos de ML como SVM, *Random Forest*, arboles de decisión y entre otros. Para la implementación de su red utilizaron herramientas de software como Python y la librería Theano. Como métricas de evaluación utilizaron precisión, recall, F1-score y AUC. Obtuvieron resultados alrededor del 88%. Su principal ventaja está en que no extraen manualmente las características

relevantes, esto le permite adaptarlos a otras plataformas o cursos.

El estudio presentado en [44] hace a referencia a la alta deserción existente en cursos virtuales basándose en estudios como los presentados por [45]. Aquí proponen utilizar una red FWTS-CNN. Extraen las características más importantes de un registro de las actividades de los estudiantes a través de árboles de decisión, se les da un peso a estas de acuerdo con su importancia, se construyen matrices por intervalos de tiempo que luego se utilizan como entrada para una red CNN. Los datos utilizados son los del dataset KDD Cup 2015 que provienen de la plataforma XuetangX. Se usa el 80% para entrenamiento y 20% para test. El resultado lo comparan con modelos bases de regresión lineal, SVM, *Random Forest* y otros, usando las métricas de Accuracy, Precision, Recall y F1-Score. Se obtienen resultados por encima del 86% en la predicción de las tasas de deserción para nuevos cursos.

El enfoque presentado en [46] buscaba crear una plataforma para predecir la deserción de los estudiantes mediante datos socioeconómicos. Este sistema debía ser capaz de ser accedido desde distintos dispositivos. El dataset utilizado está compuesto por datos socioeconómicos de cuatro cursos de ingeniería (civil, computación, mecánica y telecomunicaciones) del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará (IFCE). Campus Fortaleza, Brasil.

Los datos se obtuvieron de los formularios de registro de los estudiantes entre los años 2008-2019, teniendo en total 1549 registros de los cuales 1318 culminaron los cursos y 231 desertaron.

Se obtuvieron los datos de los registros y se extrajeron 7 características: Género, Edad, Etnia, Índice de desarrollo humano por vecindario, Ingreso familiar, Escuela de procedencia, Distancia desde la universidad. Se reprocesaron las características ya que algunas son de tipo categóricas y luego se normalizaron entre -1 y 1. Para realizar este preprocesamiento se utilizó Python para la parte de preprocesamiento y predicción en una aplicación web. Para la parte de servicio web se utilizó Java y la información se almacenó en PostgreSQL. HTML5, CSS3 para *front-end* de la aplicación web, y JSON para el intercambio de datos. Para el entrenamiento de los algoritmos se dividieron los datos en 80% para entrenamiento y 20% para test. Cabe mencionar que los datos se dividieron de forma aleatoria. Se utilizaron algoritmos de ML como Árbol de Decisión, Regresión logística, SVM con kernel RBF, KNN, MLP y DNN. Las métricas utilizadas para la evaluación del modelo fueron: accuracy, F1 score, recall, y precisión. Se obtuvo 99,34% accuracy, 99,34% F1 score, 100% recall, y 98,69% de precisión usando arboles de decisión. Además, la DNN utilizada obtuvo un resultado por encima al 90%. Este resultado ha demostrado que la utilización de información relativa al entorno socioeconómico de los estudiantes permite realizar predicciones con alto valor de certeza en cuanto a la posibilidad de deserción estudiantil. De igual manera, la amplia variedad de algoritmos permite intuir que este tipo de datos es adaptable a diversos métodos de predicción.

3. Evaluación del rendimiento de los estudiantes

El principal objetivo de cualquier institución educativa es ofrecer la mejor experiencia y conocimiento educativo a los estudiantes. En este sentido, identificar a los estudiantes que necesitan apoyo adicional y tomar las acciones apropiadas para mejorar su desempeño juega un papel importante en el logro de esa meta.

En esta sección veremos las distintas técnicas de ML utilizadas para predecir el desempeño de los estudiantes.

3.1 Predicción del Desempeño del Estudiante

Dentro de los objetivos que se tiene de la inclusión de métodos de análisis de información de los estudiantes de educación superior, está el hecho de predecir el desempeño que tendrá un estudiante en un curso tomando en cuenta su desenvolvimiento actual. Esta rama surge con el objetivo de realizar una detección temprana y evitar la deserción o el fracaso.

El uso de ML ha permitido explorar diferentes métodos en diferentes tipos de datos, obteniendo resultados prometedores y estableciendo la base para estos experimentos. En los principios de la década los algoritmos utilizados se enfocaban solo en ML tradicional los cuales no incluían procesamiento con DL, ni acceso a mayores volúmenes de información como se observa en la revisión publicada en [47], donde se presenta un análisis de los trabajos enfocados en los algoritmos utilizados, predominan en este caso las redes neuronales, SVM y algoritmos de regresión.

Dicha revisión implementa una evaluación de la correlación entre el desempeño de los estudiantes y el estado psicológico de estos. En los últimos años son diversos los métodos aplicados para este análisis los cuales se pueden ver agrupados en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Métodos aplicados en la predicción del rendimiento estudiantil.

Algoritmo	Aplicado en:
Naïve Bayes	[48] [49]
SVM	[50] [48] [49]
Redes Neuronales	[51] [50] [48] [49]
Regresión Logística	[51] [48] [49]
Arboles de Decisión	[51] [50] [48] [49]
KNN	[48] [49]
Bagging y Boosting	[48] [49]

Siguiendo el desarrollo tanto del ML como de los estudios de desempeño, se inician estudios donde se incluyen otras áreas de la Inteligencia Artificial como el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP). Este enfoque se presenta en [52], en el cual los autores utilizan texto no estructurado proveniente de preguntas aplicadas a los estudiantes de MOOCs. La información o datos fue además filtrada mediante una serie de filtros demográficos enfocados en la depuración de los datos, algunos de estos filtros son la fluidez en el idioma inglés, el inicio en el curso en las 2 primeras semanas y la intención del participante en terminar el curso.

El estimador creado se desarrolló utilizando el enfoque de regresión logística con penalización, la cual se determina empíricamente y minimiza el error de predicción durante el proceso de entrenamiento utilizado enfoques de validación cruzada (*cross-validation*). Las pruebas demuestran que NLP permite la predicción del desempeño de los estudiantes en el curso, pero se reconocen limitaciones del método como lo son que el enfoque puede ser aplicado a pequeños conjuntos de estudiantes y también que son necesarios grandes cantidades de datos para lograr un análisis más efectivo.

Los experimentos presentados en [51] evalúan el impacto que puede producir la psicología del estudiante en la predicción de sus notas. Para la recopilación de datos se aplican cuestionarios basados en el Inventario de estrategia de estudio y aprendizaje [53] (LASSI, por sus siglas en inglés) de tal manera que se pueda conocer el nivel de motivación del estudiante y la manera en la cual utilizan los recursos de aprendizaje. Para el dataset se realizó una encuesta de 98 preguntas a un grupo de 150 estudiantes, además se incluía información sobre calificaciones preuniversitarias, calificación de ingreso a la universidad, el promedio de 6 semestres anteriores y el tipo de personalidad. El modelo propuesto emplea regresión a través de una red neuronal para predecir la calificación del estudiante y árboles de decisión para predecir si el estudiante aprobará o no la asignatura. Los resultados del estudio logran establecer que la inclusión de aspectos psicológicos favorece la estimación del desempeño y permite al cuerpo docente aplicar los correctivos a fin de evitar futuros fracasos de los estudiantes.

Dentro de los enfoques encontrados un elemento cambiante es el tipo de datos que se utiliza para la creación de los modelos en el caso del enfoque presentado en [50], se utilizan clasificadores como arboles de decisión, redes neuronales y SVM. En este caso, se buscaba determinar si características relacionadas a la conexión a internet podrían influir en el desempeño académico de los estudiantes. La información fue recabada mediante las cuentas de acceso a internet dentro de la universidad de cada estudiante. Luego del análisis y filtrado de los datos se obtuvieron más de 20 millones de registros para 4,000 muestras de estudiantes. Dichas muestras se analizaron con un coeficiente de correlación de Spearman, para posteriormente entrenar los modelos de predicción. Como resultado del estudio se determinó que el desempeño se ve asociado positivamente con la frecuencia de conexión a internet, mientras que estaba negativamente asociado al volumen del tráfico durante las conexiones.

Existen otros trabajos cuyos datos se enfocan en el análisis concreto de los resultados de los estudiantes para un grupo de materias. En este caso, las pruebas presentadas en [48] [49] se enfocan recolectar y procesar información relacionada a las asignaturas que forman parte del concepto STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Estos se enfocan en la evaluación de varios modelos y estrategias de predicción para clasificar a un estudiante dentro de 3 posibles grupos tomado en cuenta los resultados obtenidos por estos en exámenes cortos, tareas, asignaciones y exámenes finales, obteniendo un total de 538 estudiantes. Sus categorías clasifican el desempeño como

Bueno, Aceptable y En Riesgo. El estudio agrupa los elementos para cada estudiante según la semana en la cual fueron asignadas, esto se realiza de forma incremental, es decir, la primera agrupación contiene datos de la semana 1 a la semana 3, el segundo grupo contendrá información de la semana 1 a la semana 6, el grupo 3 de la semana 1 a la semana 9 y el grupo 4 de la semana 1 a la semana 12. Utilizando estos grupos se realizan 4 predicciones que permiten estimar la situación del estudiante en diversos momentos, lo cual ayuda al instructor a detectar cualquier posible problema existente en los diferentes momentos del curso. En este estudio se implementan tanto clasificadores como ensambles de estos para determinar el mejor modelo posible. Se crean, por lo tanto, 7 modelos predictivos empleando Regresión Logística, KNN, *Random Forest*, *Redes Neuronales*, *Gradient Boosting* y *Adaptive Boosting*. Los resultados arrojan que la mejor ejecución se alcanzó utilizando *Random Forest*, el cual se genera utilizando el esquema de *Bagging*.

La predicción del desempeño de los estudiantes ha encontrado diversas maneras de evaluar el problema presentando mayores diferencias en el tipo de información que se analiza para realizar la predicción. Entre estas se puede mencionar los comentarios, aspectos psicológicos, información del estatus del estudiante en el curso y el desempeño en ciertas temáticas específicas. La información incluye captación de datos mediante diversos métodos y escalas que permiten una variabilidad en las respuestas y por lo tanto hacen el contenido del dataset más diverso. En esta línea de investigación se pueden mencionar como métodos más utilizados las redes neuronales y los árboles de decisión, pero a pesar de ser los más evaluados, no son los algoritmos que obtienen los mejores resultados en los experimentos. Siendo que cada trabajo utiliza un tipo de dato diferente, los mejores resultados para cada uno son obtenidos por diferentes algoritmos entre estos SVM y *Random Forest* que han sido utilizados y comparados en los diferentes experimentos.

3.2 Análisis de la retroalimentación en cursos universitarios

En el apartado anterior contemplamos la utilización de técnicas de ML enfocados en mejorar el rendimiento de los estudiantes mediante la predicción de una calificación o la probabilidad de que un estudiante apruebe un curso. Como segunda línea predominante que busca la mejora del rendimiento se encuentran los trabajos que se enfocan en el análisis de comentarios (*feedback*) dejados por los estudiantes referentes a un curso, a docentes o metodologías empleadas. Los estudios en su mayoría integran NLP a los cuales se unen también algoritmos de ML o minería de datos con la intención de predecir, principalmente, la polaridad que presenta dicha retroalimentación.

La información para esta línea de investigación es recolectada mayormente mediante las encuestas de evaluación de asignaturas y docentes que se aplican al final de los periodos académicos. Esta información sirve también como punto de partida para investigaciones relacionadas con el enfoque de Evaluación de la Enseñanza por los Estudiantes (SET, por sus

siglas en inglés). Un resumen de los diferentes métodos usados en los trabajos expuestos se encuentra en el tabla 2.

Tabla 2. Métodos aplicados en el análisis de comentarios

Algoritmo	Aplicado en:
Naïve Bayes	[54] [55] [56] [57]
SVM	[54] [58] [55] [57]
Árboles de Decisión	[58] [55] [57]
Redes Neuronales	[54]
KNN	[54]
K-Means	[55]
Entropía Máxima	[56]
Redes Neuronales Profundas	[56]

Dentro de los aspectos que se extraen de los comentarios de retroalimentación se puede mencionar la polaridad del comentario lo cual ayuda a crear un análisis amplio de los comentarios recibidos. Trabajos como [54] buscan la polaridad mediante la utilización de un dataset de comentarios que contiene la observación personal de cada alumno relativa a los exámenes, el proceso de enseñanza, el contenido de los módulos y los recursos de laboratorio. El dataset contiene información para 6 cursos y un total de aproximadamente 13, 000 comentarios. Las palabras son vectorizadas utilizando TF-IDF (*Term Frequency-Inverse Document Frequency*) y luego son empleados para entrenar los clasificadores. Los autores utilizan la aplicación RapidMiner (para preprocesado y entrenamiento), con el cual entrenan clasificadores aplicando KNN, SVM, Naïve Bayes y una Red Neuronal. Los resultados señalan que para esta representación vectorizada de los comentarios un clasificador de Naïves Bayes obtiene los mejores resultados.

Un enfoque similar al anterior se puede encontrar en los experimentos de [58], donde se emplea de igual manera TF-IDF para la representación vectorial del texto tokenizado, con la intención de clasificar los comentarios en 3 posibles estados: positivo, negativo o neutral. En este caso el preprocesamiento de los datos se realizó mediante la librería NLTK de Python. El dataset está conformado por 1203 comentarios extraídos de un portal universitario y clasificado manualmente. En la tabla 3 se presentan ejemplos de estos comentarios y su polaridad asignada. El preprocesamiento del dataset involucra de igual manera un diccionario que contiene la polaridad de cada palabra. Para este estudio se emplean palabras clasificadas y relacionadas al ámbito académico; este enfoque recibe el nombre de *Lexicon based Method*, por lo cual, la propuesta se centra en un enfoque híbrido entre un diccionario y métodos de ML. Utilizando este diccionario se puede asignar la polaridad a un comentario tomando en cuenta la polaridad predominante entre las palabras que le componen. Luego del preprocesamiento y vectorización de las características se entrenan clasificadores utilizando SVM y *Random Forest*, siendo este último el clasificador que obtuvo mejores resultados. El estudio también compara su enfoque con herramientas de análisis de sentimientos disponibles en la web como *Text Analytics API*, *Alchemy*

Language API y Aylie Text API, donde el modelo híbrido supera los resultados obtenidos con estas herramientas.

Tabla 3. Comentarios de ejemplo en el dataset (en el idioma original).

Comentario	Etiqueta
timings are very odd such courses should not be offered at such late timings, as for programming PERSON NEED FRESH MIND. Till the time of our class we r all dead tired and sleepy.	Negativo
She is a very hard-working instructor, actually helps us a lot however the course is way too irrelevant for ACF students	Positivo
Give more programming assignments and enhance the level of the course to include critical thinking and solutions as it is required in CS research	Neutral

El procesamiento de comentarios de retroalimentación se ha enfocado de diversas maneras entre estos el etiquetado POS (*Part-Of-Speech*) el cual se centra en la clasificación y etiquetado de palabras de acuerdo con su parte en la oración. Dentro de estos estudios podemos mencionar [55] quienes aplican POS a un conjunto de comentarios recolectados desde un API de Twitter.

Luego del primer análisis, se asigna cada opinión a un aspecto relativo al entorno educativo, por ejemplo, algunos de los aspectos fueron: enseñanza, instalaciones y transporte. Para ello se aplica la medición Omotis que establece la relación semántica entre los aspectos y la oración, esto con la intención de asignar cada oración a un aspecto. El estudio asigna un sentimiento a cada oración mediante el módulo de análisis de sentimientos de R y K-means ejecutado en Weka y como elemento final determina la polaridad de la oración mediante Naive Bayes, el cual superó en este aspecto a los Árboles de Decisión y SVM.

Con el auge del DL, el campo del análisis de comentarios ha obtenido nuevas maneras de evaluar la información y por lo tanto se realizan comparativas entre métodos tradicionales y métodos y los nuevos enfoques. En este caso, el estudio [56] compara un clasificador entrenado utilizando algoritmos tradicionales como Nave Bayes y Máxima Entropía, para compararlos con algoritmos de Deep Learning, en específico las Redes Neuronales Recurrentes (LSTM) y Redes Neuronales Recurrentes Bidireccionales (BLSTM). Usan en este estudio el UIT-VSFC: *Vietnamese Students' Feedback Corpus for Sentiment Analysis* [59] que contiene más de 16, 000 comentarios recolectados en durante 3 años. Estos comentarios están clasificados en positivos, negativos y neutrales. La información fue codificada utilizando POS y DEP (*Dependency on Relation*) para los algoritmos tradicionales y WORD2VEC para los algoritmos de RNN. Sus resultados determinan que las redes BLSTM obtienen una mejor precisión en comparación con los algoritmos tradicionales.

Como se ha apreciado en los últimos estudios presentados los enfoques son muy parecidos, pero la mayor diferencia se

puede encontrar en la manera en la cual se preprocesan y se extraen las características de los comentarios en los datasets. En este los experimentos presentados en [57] emplean la función CountVectorizer disponible en la librería SciKitLearn de Python.

Los comentarios son recolectados mediante un formulario de Google, estos comentarios son clasificados inicialmente mediante la herramienta VADERSentiment disponible para Python, la cual asignará una polaridad a cada respuesta (positiva, negativa, neutral). Seguidamente se extraerán las características de las oraciones y junto con su polaridad se utilizarán para entrenar diversos clasificadores. Las características se calcularán utilizando Count-Vectorizer, con la intención de representar la información en un formato adecuado para ser utilizado por los algoritmos. En este estudio se entrenaron modelos utilizando los algoritmos SVM, *Random Forest* y Naive Bayes Multinomial. Siendo el clasificador Naive Bayes Multinomial quien obtuvo mejores resultados en los diferentes experimentos.

Dentro de este bloque de estudios encontramos el estudio de [57] cuyo objetivo se centra en analizar los sentimientos de los estudiantes y emociones de los estudiantes mediante técnicas de minería de sentimientos. El estudio busca no solo enfocarse en respuestas individuales de cada estudiante, sino en crear una herramienta que permita un análisis a gran escala de una masiva cantidad de información proveniente de las universidades. Esta propuesta utiliza la Asignación Latente de Dirichlet (LDA, por sus siglas en inglés), para realizar el análisis bajo un enfoque no supervisado, del conjunto de datos utilizado en la experimentación. Mediante LDA se identificarán los tópicos presentes en los comentarios y estos serán enlazados con los tópicos identificados en otros estudios con la intención de que esta nueva información pueda ser utilizada por educadores y administrativos, ya que se utilizaría un vocabulario común. Para los estudios se utilizaron datos recolectados en dos periodos académicos previos, los cuales fueron enviados por correo electrónico y contenían preguntas como las siguientes:

- Otro comentario referente al curso (por ejemplo, maneras de mejorar el aprendizaje durante el curso)
- ¿Qué factores influyeron en cuánto invertí en mi aprendizaje?
- ¿Qué factores influyeron en mi nivel de motivación?

Al final del proceso de recolección se obtuvieron 6,087 respuestas utilizadas en el estudio, estas estaban escritas en finlandés. Como resultado del análisis del conjunto de datos, se identificaron 6 tópicos los cuales serían asignados a los diferentes comentarios emitidos por los estudiantes. Dichos tópicos fueron relacionados con construcciones similares en la literatura existente, mediante un análisis cualitativo. De igual manera se presenta una evaluación cuantitativa donde se analizan los tópicos con la escala de Likert, utilizando métodos estadísticos. Estos resultados apoyan el enfoque propuesto y validan un método nuevo para validar los tópicos que se puedan identificar en un conjunto de datos de esta naturaleza.

De igual manera las pruebas presentadas en [60] utilizan un dataset de 30,000 muestras basadas en comentarios y sentimientos de estudiantes relativos a la apreciación de un curso. En este estudio se enfocan en el desarrollo de un modelo de clasificación utilizando algoritmos de ML tradicional, como lo son

SVM, Naïve Bayes y una Red Neuronal. Sus resultados determinan que, para el tipo de dato contenido en el conjunto de entrenamiento, la red neuronal obtiene un mejor desempeño.

La temática relacionada al análisis de los comentarios de los estudiantes esta mayormente orientada a extraer la polaridad de dichos comentarios, en los estudios consultados se puede observar un proceso común a muchos otros aplicados en otras áreas, siendo la principal diferencia entre cada enfoque, la manera o métodos que se emplean para representar los datos y el preprocesamiento de estos (POS, WORD2VEC, TF-IDF, Diccionarios Léxicos). No se puede observar en el área un dataset común o popular, sino que cada trabajo se enfoca más en recolectar su propia fuente de datos para su problema y objetivo específico. De entre los algoritmos empleados, se puede mencionar Naïve Bayes como el enfoque que mayormente se ha aplicado en la solución del problema estudiado, el cual obtiene valores de F1-Score entre 80-90%, representando los mejores resultados en la mayoría de los trabajos en que ha sido aplicado.

Cabe resaltar que los enfoques con redes neuronales reportan obtener resultados satisfactorios; sin embargo, son hasta el momento utilizados por menos autores en esta línea de investigación. Se debe tomar en cuenta que, si bien existe un objetivo para esta área, es común que se apliquen diversos algoritmos de IA o ML a pasos previos que para la preparación o análisis de los datos que se usarán en el proceso de entrenamiento principal. Por lo cual se puede decir que los diferentes algoritmos para el aprendizaje automático encuentran cabida en los diferentes niveles de procesamiento. De igual manera, la revisión nos indica que el NLP y sus múltiples herramientas es el área de la Inteligencia Artificial que ha permitido el avance en los procesos de análisis de retroalimentación para centros de estudios.

Conclusión

En los últimos años la creciente tasa de abandono de los estudiantes en un curso registrado ha sido una gran amenaza para muchas instituciones educativas o universidades. El estudiante entra en la institución con muchas expectativas y sueños, sin embargo, sus expectativas no se cumplen o ciertos factores como la demografía afectan y hacen que abandonen sus estudios. Como hemos visto, una gran variedad de técnicas de Inteligencia Artificial ha sido adaptadas o desarrolladas para predecir este tipo de situaciones, pero para que estas técnicas sean realmente aprovechadas, deben ser exitosamente adoptadas por las instituciones educativas. Por otro lado, tenemos la aplicación de algoritmos de Inteligencia Artificial dirigidos a tratar de ayudar por retroalimentación a los estudiantes en el mejoramiento de su rendimiento. En este documento se presenta una visión general de soluciones en ambos temas. Estas soluciones se benefician de los nuevos avances en Inteligencia Artificial ya que estos aumentan la efectividad de los sistemas dirigidos a las temáticas antes mencionadas, permitiéndoles mejores resultados. A pesar del activo desarrollo de la tecnología de predicción de deserción estudiantil y ayuda al mejoramiento del rendimiento de los estudiantes, todavía hay trabajo por hacer.

De hecho, las soluciones actuales no proporcionan soluciones ideales a todas las necesidades de los estudiantes e instituciones, pero los resultados son muy prometedores.

Agradecimientos

Edmanuel Cruz y José Carlos Rangel son apoyados con fondos del Sistema Nacional de Investigación de la SENACYT.

Referencias

- [1] OECD, E. A. Hanushek, and L. Woessmann. Universal Basic Skills. 2015
- [2] D. M. West and J. R. Allen. How artificial intelligence is transforming the world, Apr 2020.
- [3] F. Galbusera, G. Casaroli and T. Bassani Artificial intelligence and machine learning in spine research. JOR SPINE, 2(1), p.e1044. 2019
- [4] B. M. Kehm, M. Rode Larsen, and H. Bjørnøy Sommersel. Student dropout from universities in europe: A review of empirical literature. Hungarian Educational Research Journal, 9(2):147–164, 2019
- [5] J. L. Rastrollo-Guerrero, J. A. Gómez-Pulido, and A. Durán - Domínguez. Analyzing and predicting students' performance by means of machine learning: A review. Applied Sciences, 10(3):1042, 2020.
- [6] B. Prenkaj, P. Velardi, G. Stilo, D. Distanto, and S. Faralli. A survey of machine learning approaches for student dropout prediction in online courses. ACM Computing Surveys (CSUR), 53(3):1–34, 2020.
- [7] F. Dalipi, A. Shariq Imran, and Z. Kastrati. Mooc dropout prediction using machine learning techniques: Review and research challenges. In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), pages 1007–1014. IEEE, 2018.
- [8] S. Thulasi Bharathi. Analysis on massive open online course (mooc) dropout prediction using machine learning techniques-the state of the art.
- [9] N. Mduma, K. Kalegele, and D. Machuve. A survey of machine learning approaches and techniques for student dropout prediction. 2019.
- [10] M. Alban and D. Mauricio. Predicting university dropout through data mining: A systematic literature. Indian Journal of Science and Technology, 12(4):1–12, 2019.
- [11] S. Ulfa, R. Bringula, C. Kurniawan, and M. Fadhli. Student feedback on online learning by using sentiment analysis: A literature review. In 2020 6th International Conference on Education and Technology (ICET), pages 53–58, 2020.
- [12] M. Edalati. The potential of machine learning and nlp for handling students' feedback (a short survey), 2020.
- [13] C. Stăiculescu and R. Nastase E. Ramona. University dropout. Causes and solution. Mental Health: Global Challenges Journal, 1(1):71–75, 2018.
- [14] M. Fei and D. Y. Yeung. Temporal models for predicting student dropout in massive open online courses. In 2015 IEEE International Conference on Data Mining Workshop (ICDMW), pages 256–263. IEEE, 2015.
- [15] M. Alban and D. Mauricio. Neural networks to predict dropout at the universities. International Journal of Machine Learning and Computing, 9(2):149–153, 2019.
- [16] A. F. Cabrera, A. Nora, and M. B. Castaneda. The role of finances in the persistence process: A structural model. Research in higher education, 33(5):571–593, 1992.
- [17] M. Xenos, C. Pierrakeas, and P. Pintelas. A survey on student dropout rates and dropout causes concerning the students during informatics of the hellenic open university. Computers & Education, 39(4):361–377, 2002.
- [18] A. Wolff, Z. Zdrahal, A. Nikolov, and M. Pantucek. Improving retention: predicting at-risk students by analyzing clicking behavior in a virtual learning environment. In Proceedings of the third international conference on learning analytics and knowledge, pages 145–149, 2013
- [19] I. El Naqa and M. J. Murphy. What is machine learning? In Machine Learning in Radiation Oncology, pages 3–11. Springer, 2015.
- [20] W. James Murdoch, C. Singh, K. Kumbier, R. Abbasi-Asl, and B. Yu.

- Definitions, methods, and applications in interpretable machine learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(44):22071–22080, Oct 2019.
- [21] L. Aulck, N. Velagapudi, J. Blumenstock, and J. West. Predicting student dropout in higher education. *arXiv preprint arXiv:1606.06364*, 2016.
- [22] S. Sivakumar, S. Venkataraman, and R. Selvaraj. Predictive modeling of student dropout indicators in educational data mining using improved decision tree. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(4):1–5, 2016.
- [23] J. R. Quinlan. *Discovering rules by induction from large collections of examples. Expert systems in the microelectronics age*, 1979.
- [24] J. Ross Quinlan. Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1):81–106, 1986.
- [25] A. Renyi et al. On measures of entropy and information. In *Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Contributions to the Theory of Statistics*. The Regents of the University of California, 1961.
- [26] Y. Chen and M. Zhang. Mooc student dropout: Pattern and prevention. In *Proceedings of the ACM Turing 50th Celebration Conference-China*, pages 1–6, 2017.
- [27] J. Whitehill, K. Mohan, D. Seaton, Y. Rosen, and D. Tingley. Delving deeper into mooc student dropout prediction. *arXiv preprint arXiv:1702.06404*, 2017.
- [28] V. Hegde and PP Prageeth. Higher education student dropout prediction and analysis through educational data mining. In *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, pages 694–699. IEEE, 2018.
- [29] M. Xenos, C. Pierrakeas, and P. Pintelas. A survey on student dropout rates and dropout causes concerning the students during informatics of the hellenic open university. *Computers & Education*, 39(4):361–377, 2002.
- [30] V. Hegde. Dimensionality reduction technique for developing undergraduate student dropout model using principal component analysis through r package. In *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [31] B. Perez, C. Castellanos, and D. Correal. Applying data mining techniques to predict student dropout: a case study. In *2018 IEEE 1st Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence (CoCACI)*, pages 1–6. IEEE, 2018.
- [32] N. Mduma, K. Kalegele, and D. Machuve. Machine learning approach for reducing student's dropout rates. 2019.
- [33] L. Kemper, G. Vorhoff, and B. U. Wigger. Predicting student dropout: A machine learning approach. *European Journal of Higher Education*, 10(1):28–47, 2020.
- [34] F. A Bello, J. K'ohler, K. Hinrichsen, V. Araya, L. Hidalgo, and J. L. Jara. Using machine learning methods to identify significant variables for the prediction of first-year informatics engineering students' dropout. In *2020 39th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*, pages 1–5. IEEE, 2020.
- [35] A. F. Núñez - Naranjo, M. Ayala-Chauvin, and G. Riba-Sanmartí. Prediction of university dropout using machine learning. In Álvaro Rocha, Carlos Ferras, Paulo Carlos López- López, and Teresa Guarda, editors, *Information Technology and Systems*, pages 396–406. Cham, 2021. Springer International Publishing.
- [36] C. Márquez-Vera, A. Cano, C. Romero, A. Y. M. Noaman, H. Mousa Fardoun, and S. Ventura. Early dropout prediction using data mining: a case study with high school students. *Expert Systems*, 33(1):107–124, 2016.
- [37] A. Cano, A. Zafra, and S. Ventura. An interpretable classification rule mining algorithm. *Information Sciences*, 240:1–20, 2013.
- [38] C. Cortes and V. Vapnik. Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3):273–297, September 1995.
- [39] J. Platt. Sequential minimal optimization: A fast algorithm for training support vector machines. 1998.
- [40] W. W Cohen. Fast effective rule induction. In *Machine learning proceedings 1995*, pages 115–123. Elsevier, 1995.
- [41] L. Cai and G. Zhang. Prediction of moocs dropout based on wolsrt model. In *2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, volume 5, pages 780–784, 2021.
- [42] W. Wang, H. Yu, and C. Miao. Deep model for dropout prediction in moocs. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Crowd Science and Engineering*, pages 26–32, 2017.
- [43] KDD Cup. Kdd cup 2015: Predicting dropouts in mooc, 2015.
- [44] Y. Zheng, Z. Gao, Y. Wang, and Q. Fu. Mooc dropout prediction using fwts-cnn model based on fused feature weighting and time series. *IEEE Access*, 8:225324–225335, 2020.
- [45] T. R Liyanagunawardena, P. Parslow, and S. Williams. Dropout: Mooc participants' perspective. 2014.
- [46] F. A da S Freitas, F. FX Vasconcelos, S. A Peixoto, M. Mehedi Hassan, M Dewan, V. Hugo C de Albuquerque, et al. Iot system for school dropout prediction using machine learning techniques based on socioeconomic data. *Electronics*, 9(10):1613, 2020.
- [47] R. R. Halde. Application of machine learning algorithms for betterment in education system. In *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, pages 1110–1114, 2016.
- [48] M. Aly and M. Rashedul Hasan. Improving stem performance by leveraging machine learning models. In *2019 International Conference in Frontiers in Education: CS and CE*, 2019.
- [49] M. Hasan and M. Aly. Get more from less: A hybrid machine learning framework for improving early predictions in stem education. In *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pages 826–831, 2019.
- [50] X. Xu, J. Wang, H. Peng, and R. Wu. Prediction of academic performance associated with internet usage behaviors using machine learning algorithms. *Computers in Human Behavior*, 98:166 – 173, 2019.
- [51] R. R. Halde, A. Deshpande, and A. Mahajan. Psychology assisted prediction of academic performance using machine learning. In *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information Communication Technology (RTEICT)*, pages 431–435, 2016.
- [52] C. Robinson, M. Yeomans, J. Reich, C. Hulleman, and H. Gehlbach. Forecasting student achievement in moocs with natural language processing. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics and Knowledge, LAK 16*, page 383–387, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [53] C.E. Weinstein and D.R. Palmer. *LASSI-HS User's Manual*. H & H Pub., 1990.
- [54] V. Dhanalakshmi, D. Bino, and A. M. Saravanan. Opinion mining from student feedback data using supervised learning algorithms. In *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, pages 1–5, 2016.
- [55] M. Sivakumar and U. S. Reddy. Aspect based sentiment analysis of students opinion using machine learning techniques. In *2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*, pages 726–731, 2017.
- [56] P. X. V. Nguyen, T. T. T. Hong, K. V. Nguyen, and N. L. Nguyen. Deep learning versus traditional classifiers on Vietnamese students' feedback corpus. In *2018 5th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, pages 75–80, 2018.
- [57] D. Deeksha Dsouza, D. P Nayak Deepika, E. Jenisha Machado, and ND Adesh. Sentimental analysis of student feedback using machine learning techniques. *IJRTE*, ISSN, pages 2277– 3878.
- [58] Z. Nasim, Q. Rajput, and S. Haider. Sentiment analysis of student feedback using machine learning and lexicon-based approaches. In *2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*, pages 1–6, 2017.
- [59] K. V. Nguyen, V. D. Nguyen, P. X. V. Nguyen, T. T. H. Truong, and N. L. Nguyen. Uit-vsfc: Vietnamese students' feedback corpus for sentiment analysis. In *2018 10th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, pages 19–24, 2018.
- [60] S. Katragadda, V. Ravi, P. Kumar, and G. J. Lakshmi. Performance analysis on student feedback using machine learning algorithms. In *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, pages 1161–1163, 2020.
- [61] https://aws.amazon.com/es/education/ml-in-education/?nc1=h_ls
- [62] <https://www.twaweza.org/go/uwezo-datasets>
- [63] <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

La flexibilidad y otros retos de la integración masiva de generación eólica y solar en los sistemas de potencia

Ana Ríos^a , Carlos A. Medina C. ¹ ,
Guadalupe González¹ 

¹ Grupo de Investigación para la Simulación, Modelaje y Análisis de Redes, Tecnologías y Sistemas Energéticos (SMARTS-E), Universidad Tecnológica de Panamá

{ana.rios2; carlos.medina; guadalupe.gonzalez}@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3229



Resumen: Con la integración masiva de fuentes de energía renovable, principalmente eólica y solar, la flexibilidad de los sistemas de potencia tiene especial importancia, pues es necesaria para responder a la naturaleza variable e intermitente de estas fuentes. Además de la flexibilidad, la integración masiva de fuentes renovables trae consigo otros retos y requerimientos en la planificación y operación habitual del sistema de potencia. Los mismos son de naturaleza, no solo técnica, sino también económica, regulatoria y socio-ambiental.

Este trabajo de divulgación tecnológica, basado en una revisión de literatura especializada, proporciona una visión general de los retos y posibles soluciones que se tienen con la integración masiva de fuentes de energía renovable variables, principalmente, eólica y solar a nivel de grandes generadores. Particularmente, se trata el reto de la flexibilidad y sus problemas asociados, así como sus posibles soluciones de carácter técnico.

De la visión general expuesta, se extraen varias ideas conclusivas en este trabajo, resaltando que para una integración de energías renovables efectiva y eficiente en los sistemas de potencia es necesario aumentar la flexibilidad de los mismos, lo que exige repensar la planificación, el diseño, y la operación de los sistemas de una forma holística incluyendo elementos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

Palabras claves: integración de energía renovable, sistema de potencia, flexibilidad, energía eólica, energía solar.

Title: Flexibility and other challenges in the large-scale integration of wind and solar generation into the power systems

Abstract: With the massive integration of renewable energy sources, mainly wind and solar, the flexibility of power systems has special importance, as it is necessary to respond to the variable and intermittent nature of these sources. In addition to flexibility, the massive integration of renewable sources brings with it other challenges and requirements in the planning and

routine operation of the power system. They are not only of technical nature but also of economic, regulatory, and social-environmental nature.

Based on a review of specialized literature, this technological dissemination work provides an overview of the challenges and possible solutions that exist with the massive integration of variable renewable energy sources, mainly wind and solar at the level of large generators. In particular, it deals with the challenge of flexibility, its associated problems, and some possible technical solutions.

From the general vision presented, several conclusive ideas are extracted in this work, highlighting that for an effective and efficient integration of renewable energies in power systems, it is necessary to increase their flexibility, which requires rethinking the planning, design, and operation of the systems in a holistic way including technical, economic, environmental and social elements.

Key words: renewable energy integration, power system, flexibility, wind energy, solar energy.

Tipo de artículo: investigación.

Fecha de recepción: 25 de agosto de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Introducción

A nivel mundial, la implementación de una estrategia de energía limpia tiene particular importancia y urgencia. Temas asociados a los efectos de invernadero por emisiones de gases, eficiencia energética y descarbonización son aspectos prioritarios en las políticas globales. Ejemplo de esto es el Acuerdo de París, ratificado por 196 países, y los objetivos de varios países como los de Estados Unidos de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 50% para el año 2030 y generar el 100% de su electricidad sin contaminación de carbono para el año 2035 [1], o la Unión Europea, que propone reducir al menos el 55% de las emisiones de carbono para esa fecha, y contar con al menos un 32% de generación con energías renovables [2], o China y Japón, que también esperan llegar a la neutralidad de carbono para el 2060 y 2050, respectivamente [3].

En estas estrategias de energía limpia, uno de los elementos de mayor impacto es la descarbonización del sector eléctrico, para lo cual la integración de fuentes de energía renovable es una de las acciones prioritarias. Así, vemos que la generación basada en fuentes renovables, principalmente solar, eólica e hídrica, ha tenido un crecimiento en las últimas décadas, aumentando su capacidad, en el año 2020, en un 10.3%, con lo que representó el 82% en la expansión de la capacidad instalada a nivel mundial [4].

Tradicionalmente, los estándares de operación y planificación de los sistemas de potencia se han basado en supuestos de recursos centralizados, de alta inercia y con disponibilidad controlada. Pero ahora, con la integración de más fuentes de energía renovable no solo se afecta las condiciones de planificación y operación anteriores, sino que se introducen otras variables que afectan el control y el pronóstico, así como la

confiabilidad y seguridad de los sistemas de potencia, entre otros elementos [5].

La integración de fuentes renovables, particularmente las variables, i.e., solar y eólica, presenta muchos retos, pero también grandes oportunidades. Estos retos y oportunidades, no solo residen en las propias tecnologías de energía renovable, sino en la armonización de estas con otros componentes del sistema de potencia. Incrementar la flexibilidad de las redes de potencia actuales es uno de los retos principales para lograr una integración significativa de fuentes de energía renovable variables (ERV) [5-7]. En Panamá, la Secretaría de Energía reconoce la flexibilidad como una forma esencial de acomodar las cantidades crecientes de energías renovables, considerando este elemento una línea de acción prioritaria para la innovación del Sistema Interconectado Nacional (SIN), como parte de la Agenda de Transición Energética [8].

En consecuencia, se requiere una revisión de la estructura y operación de las redes existentes y un enfoque integral desde la planeación a la operación de las redes que incorporen fuentes ERV. Estas tienen ciertas características que requieren medidas particulares para su integración: i) variabilidad debido a la disponibilidad temporal de recursos; ii) incertidumbre debida a cambios inesperados en la disponibilidad de recursos; iii) propiedades específicas de la ubicación debido a la disponibilidad geográfica de recursos; y iv) bajos costos marginales ya que los recursos están disponibles gratuitamente [5].

La integración de generación renovable puede darse de dos maneras: como generación distribuida o como generación centralizada. La primera se refiere a la instalación de pequeñas unidades de generación, típicamente de 5 a 500 kW, a nivel de la red de distribución que usualmente son instaladas para el uso directo del consumidor en su propiedad. La generación distribuida también se refiere a pequeñas centrales, de 500 kW a 5 MW para el consumo de una comunidad, conectadas próximas al centro de consumo y directamente a la red de distribución. Por otro lado, la generación centralizada se refiere a la instalación de grandes centrales, de varios a cientos de mega watts, generando a alta tensión y conectadas a la red de transmisión para su transporte hacia los centros de consumo donde utilizan las redes de distribución para la entrega [9].

Ambos esquemas de integración de energías renovables suponen transformaciones sustanciales para las redes de transmisión y distribución, y requieren cambios importantes en la planificación y operación habituales, así como sistemas adicionales para garantizar la confiabilidad y seguridad de la red y del suministro.

En el caso de Panamá, en la Agenda de Transición Energética se consideran estrategias de innovación en las redes de transmisión y distribución. Asimismo, la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA), como parte del Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional, ha establecido un Plan de Expansión de Transmisión, que contempla introducir mejoras en el sistema de transmisión en cuanto a capacidad, comunicación, seguridad y actualización del sistema [10].

La integración de fuentes ERV debe tomar en consideración aspectos técnicos, como la combinación o complemento de la

misma con tecnologías de redes inteligentes, almacenamiento de energía y generación flexible; aspectos económicos, como el ajuste de las normas necesarias para tener en cuenta la nueva estructura de costos, permitir nuevos servicios y canales de ingresos, y para respaldar nuevos modelos de negocio; aspectos normativos de regulación, como estándares, códigos, otros, y elementos ambientales-sociales como uso de tierras, salud, contaminación visual, otros. En la figura 1 se indican los principales tipos de retos y algunas de las múltiples soluciones a los mismos que enfrentan los sistemas de potencia para lograr una integración masiva de ERV de gran escala.

De lo anterior resulta importante que los responsables de la formulación de políticas adopten una visión a largo plazo para la transición hacia una integración masiva – casi total – de las energías renovables en la generación eléctrica. Además, deben establecer marcos regulatorios y diseños de mercado que fomenten el desarrollo de las mismas y una gestión cónsona del sistema, incluyendo, por ejemplo, nuevos modelos de mercados para intercambio de energía, servicios auxiliares y señalización de precios.

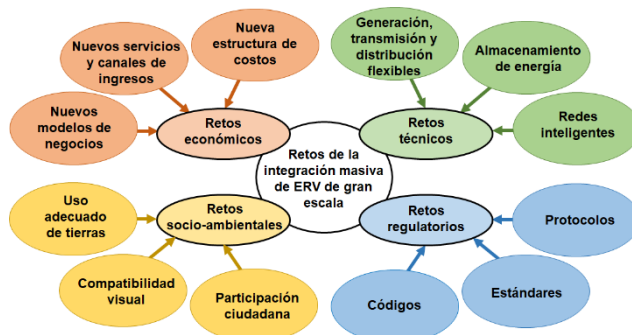


Figura 1. Tipos de retos y algunas soluciones de la integración masiva de ERV en los sistemas de potencia. Fuente: Elaboración propia.

Con este trabajo de divulgación tecnológica, basado en una revisión de literatura especializada, se busca proporcionar una visión general de los retos y posibles soluciones que se tienen con la integración masiva de fuentes de energía renovable variables, particularmente, eólica y solar a nivel de grandes generadores. Se trata principalmente el reto de la flexibilidad y aspectos de planificación, operación, y algunas soluciones técnicas, sin entrar a revisar en detalle otros retos, problemas y soluciones de naturaleza económica, regulatoria y ambiental-social.

A continuación, se provee (i) un resumen de los principales beneficios de las ERV y algunas transformaciones necesarias para la integración de las mismas en los sistemas de potencia, (ii) consideraciones sobre el reto de aumentar y garantizar la flexibilidad de los sistemas de potencia para integrar fuentes renovables, principalmente la planificación y operación flexibles, (iii) una descripción de algunos problemas que se pueden presentar en la calidad de la energía y problemas asociados, particularmente, a la generación eólica y solar fotovoltaica, (iv) una discusión de algunas soluciones técnicas, en especial, tecnologías para una transmisión flexible y sistemas de

almacenamiento, y finalmente (v), un sumario con las principales ideas de este trabajo.

2. Beneficios de las fuentes de energía renovable y transformaciones del sistema de potencia

El uso de energías renovables trae amplios beneficios más allá de los ecológicos, como beneficios económicos y sociales. Además, la tendencia en caída de su costo y mejora en su eficiencia hacen de estas tecnologías una alternativa altamente competitiva con los combustibles fósiles y una medida efectiva contra el cambio climático y la reducción de emisiones de carbono.

Algunos de los beneficios de las fuentes de energía renovable para generación eléctrica son:

- Emisión nula o muy baja de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire, ayudando a mitigar el cambio climático. Un estudio en EE. UU. encontró que un 35% de penetración de energías renovables reduciría las emisiones de CO₂ en un 25-45% [11].
- Generación eléctrica a costos bajos, evitando la volatilidad en los precios de los combustibles y aprovechando la tendencia de caída en los costos de tecnologías renovables. En los últimos 10 años, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido en un 85% y la energía eólica en un 48%, llegando a niveles altamente competitivos con los combustibles fósiles e incluso a costos menores [12].
- Las plantas solares y eólicas pueden ser construidas con un impacto ambiental mínimo. Los proyectos eólicos tienen el menor impacto ambiental de todas las tecnologías y pueden brindar beneficios al permitir usar las tierras para pastoreo. Las plantas solares pueden ser construidas de tal manera que protejan la vida silvestre, mejoren la salud del suelo y promuevan la retención de agua. Además, estas plantas no requieren del uso de oleoductos o camiones para el transporte de combustible, los cuales producen impactos negativos en el ambiente [13].
- Las plantas eólicas y solares pueden operar por décadas y se desarrollan en menos tiempo que otras tecnologías. Las turbinas eólicas tienen una vida útil de alrededor de 20 años y los paneles solares de 25-40 años. Además, estas plantas pueden ser puestas en operación en menos de dos años, mientras que otras plantas que utilizan combustibles fósiles requieren hasta cuatro años para ser puestas en marcha [14].
- Las energías renovables hacen al sistema más seguro y resiliente al no depender de fuentes de energía externas y aprovechar los recursos locales.
- Ayudan a reducir la pobreza y apoyar el desarrollo económico local, estas tecnologías atraen nuevas industrias y negocios, creando así nuevas plazas de trabajo y permitiendo el alcance de la energía a más personas [14].

Pero la integración significativa de energías renovables variables en las redes eléctricas requiere una transformación sustancial de las mismas para [5]:

- establecer mecanismos eficientes de gestión de la red y la demanda de electricidad, que permitan tratar con la creciente complejidad, reducir las cargas pico, mejorar la flexibilidad de la red, la capacidad de respuesta y la seguridad del suministro, enfrentando una mayor variabilidad del sistema;
- mejorar la interconexión de redes a nivel nacional, regional e internacional, con el objetivo de incrementar la flexibilidad, capacidad, confiabilidad y estabilidad de las redes;
- introducir tecnologías y procedimientos que garanticen la estabilidad y el control adecuados del funcionamiento de la red, así como la flexibilidad de la misma;
- permitir un flujo bidireccional de energía – del sistema a los usuarios finales y de los usuarios a la red (como suministradores de electricidad) con el objetivo de garantizar la estabilidad de la red al instalar generación distribuida;
- introducir sistemas de almacenamiento de energía para guardar los excedentes sobre la demanda, aumentar la flexibilidad del sistema y asegurar el suministro.

Desde el punto de vista tecnológico, lo anterior puede lograrse con el uso de tecnologías de redes inteligentes (Smart Grid) que incorporan tecnologías modernas de información, comunicación, computación y control para mejorar la funcionalidad del sistema de energía. Esto permitirá una amplia gama de capacidades autónomas de supervisión, control y gestión para aumentar la flexibilidad, mejorar la confiabilidad y respaldar la integración masiva de las energías renovables.

3. El reto de la flexibilidad en la integración de energías renovables

Entre los retos más importantes que se tienen para lograr una alta penetración de energías renovables, particularmente variables, en los sistemas de potencia, está mejorar la flexibilidad del sistema [6]. Otros retos son: el acceso a las fuentes, mejorar la estabilidad y la confiabilidad, y aumentar la resiliencia del sistema. Además, se observan distintos fenómenos o problemas específicos debido a una alta penetración de distintas tecnologías, particularmente eólica y solar.

Podemos definir la flexibilidad como la capacidad de un sistema de energía para gestionar de forma fiable y rentable la variabilidad e incertidumbre de la generación y la demanda en reacción a una variabilidad anticipada o imprevista y sostener el suministro durante desbalances grandes y transitorios en todas las escalas de tiempo relevantes [15].

A medida que la penetración de energías renovables aumenta, la variabilidad se vuelve un parámetro más difícil de controlar. Para contener la variabilidad y mejorar la flexibilidad, se pueden tomar múltiples acciones como: aumentar la generación por medio de reservas convencionales de rápida acción cuando se espera que la generación de energía renovable decrezca; utilizar tecnologías de almacenamiento de energía, expandir y reforzar la interconexión de las redes, aumentar la integración de diversas fuentes en áreas espacialmente extendidas, usar sistemas de predicción de riesgos – identificación de fluctuaciones críticas, mejorar los algoritmos de predicción de la

generación y la carga, reestructurar los mercados para remunerar la flexibilidad, entre otros [16].

Operadores y reguladores de sistemas de potencia reconocen que para transformar estos sistemas y lograr una penetración masiva de fuentes ERV, es necesario mejorar y aprovechar la flexibilidad en todas sus partes. Esto abarca desde una generación más flexible (con plantas de energía que puedan aumentar y disminuir la generación de manera rápida y eficiente y funcionar a niveles bajos de producción) hasta sistemas de transmisión y distribución más robustos (con capacidad suficiente y tecnología de redes inteligentes), sistemas de almacenamiento, recursos del lado de la demanda más flexible (que incorporen redes inteligentes, generación distribuida, control directo de carga, entre otros) y operaciones flexibles del sistema. Algunos requerimientos para lograr la flexibilidad de un sistema con ERV se resumen en la figura 2. A continuación se tratan algunas de estos temas.

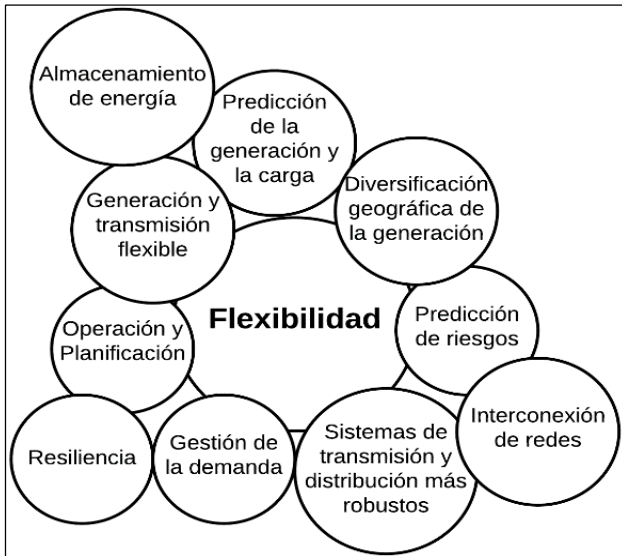


Figura 2. Elementos para aumentar la flexibilidad de un sistema de potencia con ERV de gran escala. Fuente: propia.

4. Retos en la planificación y operación del sistema

La integración de recursos eólicos y solares agrega un grado de complejidad a la planificación y operación de los sistemas de potencia. Como se ha indicado, esto se debe, principalmente, a una mayor variabilidad e incertidumbre asociadas con estos recursos. Por eso, se requiere de estudios de planificación adecuados que incluyan estudios de integración para identificar los requisitos de flexibilidad necesarios y el impacto en la operación, con el objetivo de lograr un funcionamiento confiable y económico del sistema de potencia.

Considerar la flexibilidad en la planificación y operación del sistema de potencia resulta crítico ya que de otra forma al aumentar la inclusión de fuentes ERV, pueden aparecer problemas de flexibilidad y necesitarse, entonces, soluciones urgentes costosas y poco eficientes.

4.1 Planificación

Los modelos de planificación de sistema utilizados tradicionalmente no son aplicables a sistemas que pasan por una transformación que incluye la penetración de energías renovables variables. Por eso, la planificación de la flexibilidad tiene que ser un proceso continuo basado en herramientas y métodos sofisticados que debe responder a un entorno dinámico y tomar en cuenta los desarrollos y requerimientos en las áreas no solo de tecnología y ciencia, sino también de política, economía y sociedad. Para la planificación adecuada, se deben tomar en cuenta todas las variaciones producto de la generación variable, desde la demanda, hasta la entrega y conversión de la energía [17].

Así, los nuevos modelos deben considerar cambios en las tecnologías de generación, en los datos recopilados durante la operación, en la escala de tiempo, nuevas restricciones en la planificación y en los resultados de la operación general del sistema. Los cambios a considerar en la planificación de sistemas con alta penetración de energía renovable se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Cambios para la planificación con alta penetración de energía renovables

	Planificación tradicional	Nueva planificación
Tecnologías de generación	Hídrica, térmica, eólica, solar, biomasa, etc.	Hídrica, térmica, eólica, solar, biomasa, etc. Más recursos de flexibilidad: unidades gestionables (controlables), sistemas de almacenamiento, otros sistemas auxiliares
Datos	Demanda, parámetros tecno-económicos	Demanda, información meteorológica, producción de energía variable horaria, parámetros tecno-económicos
Escala de tiempo	Anual	Horaria o mayor granularidad
Restricciones	Expansión de la capacidad de generación y transmisión, generación, balance, emisiones de CO ₂	Expansión de la capacidad de generación y transmisión, generación, balance, emisiones de CO ₂ Más restricciones de operación: generación gestionable, transacciones de energía, almacenamiento de energía
Resultados	Costo del sistema, esquema de expansión de capacidad, emisiones de CO ₂	Costo del sistema, esquema de expansión de capacidad, operación horaria del sistema, estrategias de flexibilidad, emisiones de CO ₂

Fuente: adaptado de [16]

4.2 Operación

La principal característica de las energías renovables es la variabilidad de los recursos, lo que genera incertidumbre en la generación en la escala de segundos, horas y días. Debido a la característica intermitente de estos recursos, se vuelve difícil el uso de las energías renovables para la operación y regulación del sistema como plantas normales, lo que afecta la operación segura y estable del sistema [18].

Un problema del aumento de la penetración de las fuentes ERV, es que la variabilidad se vuelve más difícil de compensar y se acaba por abrumar la capacidad de los recursos convencionales de contrarrestar la variabilidad, por lo que se hace necesario capturar la energía solar, eólica y de otras fuentes renovables para su uso posterior [19].

Otro reto que se enfrenta con las energías renovables es el recorte de la generación. Debido a la intermitencia de los recursos solares y eólicos, las plantas son sobredimensionadas para poder suplir la demanda, pero en ocasiones cuando hay mayor disponibilidad del recurso, no es viable aprovechar toda la generación, por lo que el exceso de energía debe ser recortado [12],[20].

Con una alta penetración de energía renovable se crean problemas para mantener el balance del sistema, volviéndose este más complejo y costoso, lo que puede ser otra razón para recortar la generación debido a congestión en el sistema de transmisión, por límites de capacidad o temperatura, lo que provoca que el operador del sistema deba reemplazar generación menos costosa, usualmente eólica o solar, por plantas más costosas [21], aumentando el costo de la energía para ese instante.

Otros impactos negativos resultantes de la generación renovable en la operación del sistema incluyen problemas de estabilidad debido a desbalances entre generación y demanda, incremento en la necesidad de servicios auxiliares, y un despacho de unidades ineficiente, así como precios reducidos o negativos de la energía [22].

Por lo tanto, la integración de energía renovable requiere adecuar la operación del sistema, particularmente la capacidad de reserva, el manejo del balance y el pronóstico a muy corto plazo del viento y la irradiación solar.

Así, se requiere flexibilidad operativa que permita que un sistema de energía responda de manera eficiente a los cambios en la oferta y la demanda para garantizar la confiabilidad en todas las escalas de tiempo. Los beneficios de la flexibilidad pueden incluir una reducción en recorte de las energías renovables, una menor variabilidad de precios, mejores retornos de la inversión y beneficios ambientales relacionados con una mayor utilización de las energías renovables.

5. Impacto en la calidad del suministro

La alta penetración de energía renovable afecta diversos aspectos de calidad de la energía del sistema, como el voltaje, la frecuencia y la inyección de armónicos al sistema [18], [23].

Fluctuaciones de voltaje y “flicker”: La mayoría de los generadores de energía intermitentes se integran al sistema de tal manera que se crea un gran impulso de corriente cuando empiezan a generar. Por ejemplo, cuando la velocidad del viento es mayor a la velocidad de corte de la turbina, los generadores detienen automáticamente la operación. Si las turbinas de una planta eólica se detienen simultáneamente, resultará una fluctuación de voltaje y parpadeo.

Contaminación de armónicos: Al utilizar convertidores electrónicos de potencia, la generación a partir de fuentes

intermitentes trae armónicos al sistema lo que puede crear distorsión de la onda de voltaje y corriente. En circuitos sinusoidales, la corriente y voltaje armónicos con la misma frecuencia producen potencia activa y reactiva a la misma frecuencia, lo que reduce el voltaje en la red. La contaminación de armónicos es un grave problema de calidad de la energía y resulta en la degradación de los sistemas de la red y los componentes conectados a esta.

Estabilidad de la frecuencia: La influencia de la energía intermitente en la frecuencia del sistema depende de la capacidad de generación intermitente relativa a la capacidad total del sistema. Cuando la proporción de generación variable es grande, la volatilidad de la generación tiene un gran impacto en la frecuencia del sistema, lo que afecta la calidad de la energía y la operación de carga sensible a la frecuencia.

Por otro lado, la ausencia de inercia en la generación eólica y solar reduce la inercia total del sistema, provista por las máquinas rotatorias. Cuando la demanda sobrepasa la generación en un instante o una máquina se desconecta, la energía faltante es suplida por la energía cinética de los rotores de los generadores, lo que ocasiona que la frecuencia del sistema se reduzca. Cuando la generación supera la demanda la frecuencia del sistema aumenta. Si la frecuencia se excede de ciertos límites, las máquinas se desconectan para evitar daños, lo que puede ocasionar una interrupción del suministro. Este fenómeno ocurre más frecuentemente con la presencia de energías renovables, pues aumentan la impredecibilidad de la generación y hacen más difícil gestionar la operación [6].

6. Problemas particulares de una alta penetración de generación eólica y solar

A pesar del impulso para lograr una alta penetración de generación eólica y solar, su inclusión en las redes de potencia y sus impactos siguen siendo un tema complejo. Y es que su naturaleza y los costos asociados aún no están bien definidos y no se tienen marcos regulatorios completos establecidos.

A pesar de los múltiples y claros beneficios, también presentan varios retos y problemas. Por ejemplo, actualmente existe el debate sobre los costos de estas plantas en términos de un funcionamiento menos eficiente y más desgaste de los equipos dentro del sistema que tienen que, por ejemplo, aumentar y disminuir la generación (plantas tradicionales) de manera rápida para compensar la variabilidad, lo que significa potencialmente más emisiones y mayores costos.

A continuación se tratan algunos de los problemas más comunes asociados con la generación eólica y solar fotovoltaica.

6.1 Generación eólica

La naturaleza aleatoria del recurso eólico provoca que las plantas eólicas generen energía fluctuante, lo que tiene un impacto negativo en la estabilidad del sistema y en la calidad de la energía. Alteraciones en el viento provocan variaciones en la velocidad de las turbinas, lo que altera la potencia inyectada al sistema conduciendo a variaciones del voltaje. Esta alteración se propaga en el sistema y se produce el fenómeno de “flicker” o parpadeo [24].

Los sistemas eólicos tienen problemas para mantener el perfil de voltaje y la mayoría de las turbinas no pueden mantener la potencia reactiva del sistema. Además, la alta penetración de la generación eólica provoca más estrés en los “breakers”, la línea de transmisión y en las barras al momento de una falla, debido a la baja capacidad de los generadores de soportar fallas.

De acuerdo con un estudio, la penetración de energía eólica de 10% aumentó la necesidad de reserva en un 1.5-4% de la capacidad instalada eólica y determinó que mientras menor sea la mínima potencia de salida que pueda cubrir la demanda, mayor será la penetración de energía renovable que podrá ser alojada en el sistema sin la necesidad de apagar plantas [25].

6.2 Generación solar

Los problemas relacionados con la generación solar son: alto costo de instalación de los paneles, baja capacidad de generación, incertidumbre de la irradiación solar y fluctuaciones en la generación debido al comportamiento intermitente de la luz solar [24]. La alta penetración de energía solar afecta el perfil del voltaje y la respuesta en frecuencia del sistema. Además, estos sistemas no proporcionan ningún soporte al momento de una falla y dado que no tienen inercia se requiere de sistemas adicionales para mantener la oscilación de frecuencia.

Un estudio encontró que el parámetro que se ve más afectado debido a la alta penetración de energía solar es la magnitud de voltaje, observando sobre voltajes en las barras de las líneas de transmisión, especialmente a una penetración de 20% o más [26]. Simulaciones muestran que a ese nivel de penetración la estabilidad de la frecuencia del sistema es afectada negativamente [27].

Además, la capacidad de una planta solar puede verse afectada significativamente por nubes que pasan durante el día, y que provocan fluctuaciones de potencia.

7. Requerimientos de las plantas para su interconexión al sistema de potencia

Los requerimientos técnicos para la integración de ERV al sistema de potencia son determinados por el diseño y capacidad de la planta, así como por otros factores, incluyendo el perfil de la red y el mercado eléctrico, además del nivel de penetración de ERV.

Los principales requerimientos impuestos para la integración de ERV son [28]:

Reserva rodante: las unidades de generación deben tener la capacidad de proveer suministro con alta flexibilidad y sensibilidad a la frecuencia del sistema. Así, en un sistema con alta penetración de ERV, es necesario contar con la capacidad de cuantificar, dinámica y proporcionalmente las reservas rodantes para la generación esperada.

Inercia sintética: ya que los generadores de ERV no proveen inercia al sistema, se vuelve necesaria la introducción de inercia sintética o virtual para mejorar la estabilidad y confiabilidad del sistema.

Pronóstico y análisis: la alta variabilidad de las ERV vuelve crítica el pronóstico del tiempo y de la generación para mantener

la estabilidad y confiabilidad de la red, además de ser necesaria para facilitar y mejorar la integración a gran escala de ERV.

Arranque autónomo (black start): se refiere al proceso de restablecer una planta sin depender de la red de transmisión luego de un corte del suministro. Los principales requerimientos para el arranque autónomo con ERV incluyen la capacidad de proveer altas corrientes de arranque necesarias para un arranque frío, la capacidad de mantener el voltaje dentro de límites aceptables y la capacidad de proveer soporte para el arranque autónomo por un período suficiente para no perjudicar el restablecimiento del sistema.

8. Algunas soluciones técnicas

Hay varias soluciones técnicas, incluyendo tecnologías y regulaciones, que pueden ayudar a integrar ERV en la red del sistema de potencia y mejorar la flexibilidad del mismo, así como resolver problemas específicos. Entre las múltiples soluciones técnicas, a continuación se tratan las redes inteligentes, las extensiones e interconexión de redes de transmisión y tecnologías para transmisión flexible, los sistemas de almacenamiento de energía, la generación distribuida, y los protocolos y códigos de conexión y operación para limitar posibles problemas técnicos.

8.1 Redes inteligentes

Una red inteligente es una red eléctrica con una nueva arquitectura integrada de generación, transmisión, distribución e incluso consumo, basada en tecnologías de información, comunicación, computación y control que permiten una amplia gama de funcionalidades y capacidades autónomas de supervisión, control y gestión.

Estas redes están destinadas a mejorar la eficiencia energética general del sistema de energía, garantizar la confiabilidad y utilización de la red, reducir las interrupciones, minimizar los costos, mejorar los mercados, e incrementar el rendimiento financiero de las inversiones.

Así, las redes inteligentes pueden desempeñar un papel crucial para la integración masiva de energías renovables variables y soportar la generación distribuida, mejorando la flexibilidad del sistema de potencia. Por ejemplo, con una red inteligente se podrían gestionar y coordinar, en tiempo real, las fuentes ERV con los sistemas de almacenamiento y las cargas evitando los efectos de la incertidumbre e intermitencia propias de las ERV y la demanda, o utilizar información detallada de la interacción de las fuentes ERV con los sistemas de transmisión y distribución para mejorar la confiabilidad y reducir costos.

8.2 Mejoras en el sistema de transmisión

La mejora del sistema de transmisión es primordial para aumentar la flexibilidad de los sistemas de potencia y permitir la integración masiva de energías renovables [29],[30]. En este aspecto, se destacan las tecnologías de transmisión a corriente continua de alta tensión (HVDC) y los sistemas de transmisión de corriente alterna flexibles (FACTS), así como otras tecnologías y prácticas que mejoran la eficiencia del uso de la red de transmisión.

HVDC: La tecnología de transmisión por alto voltaje DC (HVDC), utilizada anteriormente para transportar grandes cantidades de energía a largas distancias, resulta una excelente alternativa para transportar generación eólica desde áreas alejadas, como las áreas costeras, que tiene un recurso eólico de alta calidad. Esta tecnología podría mitigar los problemas de operación que resultan de la generación solar y eólica como el desbalance en generación en relación con la necesidad de servicios auxiliares asociada a las energías renovables.

Entre las ventajas de la transmisión HVDC están: menores costos de operación en comparación a líneas de corriente alterna, menores pérdidas de efecto piel, menores pérdidas de energía a largas distancias a voltajes similares a sistemas de corriente alterna. La principal desventaja de estos sistemas es que solo se vuelven más económicamente rentables que los sistemas de corriente alterna cuando superan los 200 km de longitud [31].

FACTS: Los sistemas de transmisión AC flexible (FACTS – Flexible AC Transmission Systems) son una tecnología basada en dispositivos de electrónica de potencia que permiten mejorar la capacidad, estabilidad y flexibilidad de los sistemas de transmisión AC. Además, posibilitan la transmisión de grandes cantidades de energía renovable.

Entre los dispositivos FACTS se incluyen, entre otros, los capacitores en serie controlados por tiristores (TCSC), los compensadores síncronos estáticos (STATCOM) y los reactores de derivación controlables (CSR).

Los TSC pueden ser conectados a las líneas de transmisión para controlar el flujo de energía, aumentar los límites de transmisión, mejorar la estabilidad de transitorios y mitigar las oscilaciones. Otros elementos como SVC, STATCOM y CSR, pueden ser instalados en derivación en las barras de una subestación para resolver la compensación de potencia reactiva y problemas de control de voltaje. Los SVC o STATCOM también pueden ser utilizados para mejorar el desempeño de plantas de generación renovable para alcanzar los requerimientos de control de voltaje y potencia reactiva [32].

Capacidad dinámica de línea: La tecnología de capacidad dinámica de línea (DLR – Dynamic Line Rating) es una solución ante la congestión debido al límite de temperatura de los componentes de la red. Se refiere a la habilidad de variar la capacidad térmica de los cables aéreos de transmisión o distribución, de manera dinámica en tiempo real, dependiendo de las condiciones ambientales variables (temperatura ambiente, radiación solar, velocidad y dirección del viento), con el objetivo de maximizar la carga en todo instante de tiempo y minimizar la congestión de la red [33].

Así, la aplicación de DLR permite responder a la rápida integración de energías renovables en el sistema, promoviendo un mejor uso de la infraestructura actual junto al incremento de la penetración de energías renovables.

Esta solución aparenta ser especialmente beneficiosa al ser aplicada en líneas que transportan energía eólica debido a la alta correlación entre la entrega de esta energía y los efectos refrescantes del viento. Cuando un área con vastos recursos eólicos se encuentra lejos de los centros de consumo, la carga de la línea aumenta al punto que los procedimientos de operación de

la red habituales deben ser modificados para garantizar la seguridad de la red. Sin embargo, la presencia de los vientos puede reducir la temperatura de los cables a través de la convección, también llamado “enfriamiento concurrente” (concurrent cooling). Bajo estas condiciones se estima que se puede incrementar la capacidad de cables de transmisión en un 100%-200% [33].

Así, el DLR facilita la integración de una mayor proporción de generación renovable al aumentar la capacidad efectiva de la red de transmisión o distribución. Los beneficios de esta práctica son la reducción de la congestión en la red y por lo tanto del recorte de la generación y del despacho de la generación costo-efectivo.

8.3 Sistemas de almacenamiento

El almacenamiento de energía es extremadamente importante en sistemas con alta penetración de energías renovables, y puede ser utilizado para una variedad de funciones como regulación, seguimiento de la carga y para añadir o retirar energía del sistema cuando hay una falta o exceso de energía renovable [16].

La instalación de sistemas de almacenamiento facilita el desarrollo y despacho de energías renovables, mitigando la volatilidad de la generación y manteniendo la seguridad y eficiencia del sistema. Estos sistemas pueden ser instalados a nivel de transmisión o distribución.

A nivel de transmisión las opciones incluyen: centrales de bombeo, aire comprimido y volante de inercia. A nivel de distribución se pueden instalar baterías convencionales, baterías de flujo electroquímico y superconductores (SMES). Las baterías también pueden ser acopladas a turbinas eólicas y paneles solares individuales o en pequeños grupos, para mitigar las fluctuaciones y los problemas de calidad de energía [19].

El almacenamiento también puede ayudar a controlar la capacidad de transmisión de recursos de energía eólica. Al añadir capacidad de almacenamiento, las plantas eólicas ubicadas en áreas remotas pueden almacenar energía de períodos pico, permitiendo un menor costo. Ya que la energía generada puede ser almacenada en lugar de ser usada en tiempo real, se reduce la necesidad de líneas de transmisión y también permite a los distribuidores maximizar las ganancias al vender la energía en las horas pico, de mayor costo, que no suelen corresponder con los períodos de generación eólica máxima.

8.4 Generación distribuida

Otra opción para integrar generación renovable sin cargar el sistema de transmisión es la generación distribuida. Este término se refiere a la generación dentro del sistema de distribución, cercano a la carga y usualmente en pequeñas capacidades (500 kW a 1 MW) [34].

Ya que estas instalaciones están más próximas a los centros de consumo, se reducen las pérdidas de transmisión, mejorando la eficiencia del sistema y minimizando la congestión del sistema. La generación distribuida puede posponer la expansión y actualización de los sistemas de transmisión y de nuevas plantas de gran capacidad. Además, aumenta la confiabilidad del sistema,

mejora la calidad y eficiencia de la energía y pueden servir como suministro de emergencia y proveer soporte de voltaje [35].

Cuando se instalan en ubicaciones óptimas, la generación distribuida puede ayudar a reducir la congestión en el sistema de transmisión y así minimizar el costo de la energía en ese instante. Además, las instalaciones de generación distribuida pueden servir como respaldo en caso de fallas y tienen la ventaja de ser instaladas con menor riesgo y cambio en la infraestructura existente.

8.5 Regulación

La actualización de protocolos, procedimientos y códigos a través del sistema es importante para controlar la variabilidad e impredecibilidad de la generación variable y para lograr que el sistema sea capaz de responder ante cualquier evento o falla, evitando un apagón.

Diversos países han realizado modificaciones a sus códigos respecto a los requerimientos para la conexión de plantas de generación variable. Entre ellos están Alemania, China, Estados Unidos y Sudáfrica. Los requerimientos establecidos se han basado principalmente en cuatro categorías: soporte de falla (Fault ride through – FRT), límites de voltaje y frecuencia, control de potencia activa y frecuencia, y control de voltaje y potencia reactiva [36].

FRT: Este requerimiento se refiere a la variación de voltaje que las plantas deben soportar por un determinado tiempo durante una falla antes de poder ser desconectadas.

Los códigos establecen el nivel de caída de voltaje que las plantas deben soportar durante un tiempo antes de poder ser desconectadas. Igualmente, establecen los niveles de sobrevoltaje que deben ser capaces de soportar y su duración, además del tiempo de recuperación para regresar al valor nominal.

Límites de voltaje y frecuencia: Establece los rangos de voltaje a los que las plantas deben permanecer durante su operación continua. En su mayoría establecen que las plantas deben operar entre un 90-110% del voltaje nominal.

Respecto a la frecuencia, establecen los límites de frecuencia dentro de los cuales deben operar y en caso de ocurrir elevaciones de frecuencia, establecen el tiempo que deben soportar la condición antes de ser desconectadas.

Control de potencia activa y frecuencia: Regulan el control de la potencia activa que debe igualar la variabilidad de la energía solar durante el día y los requerimientos de la red.

El control de potencia activa se refiere a tres requerimientos: la producción absoluta, es decir el valor de potencia activa que el operador requiere que la planta entregue; la producción delta, que determina la reserva de potencia activa, que es un porcentaje de la potencia absoluta que la planta puede entregar en condiciones normales; y el gradiente de potencia, que indica el nivel al que la planta debe incrementar o reducir la potencia activa en valores de MW por minuto.

Control de voltaje y potencia reactiva: Las plantas deben operar en un rango del $\pm 10\%$ del voltaje nominal, para lo que dependen de las características de soporte de potencia reactiva del inversor.

Así, los códigos enfocan el control del voltaje en tres requerimientos: regulación de voltaje, que controla el valor de voltaje; regulación del factor de potencia, que controla la potencia reactiva dependiendo del valor de la potencia activa; y el control de potencia reactiva, que regula esta potencia directamente en la planta.

Conclusión

Sobre la base de la literatura revisada, en este artículo se identifican los retos de la integración de fuentes de energía renovable variables en los sistemas de potencia, estudiando particularmente la flexibilidad, y se describen algunas posibles soluciones técnicas disponibles. De la visión general expuesta, se pueden extraer varias ideas conclusivas de este documento.

- La integración de energías renovables es imprescindible para lograr los objetivos de descarbonización mundial y mitigar los efectos del cambio climático. Además, la introducción de generación renovable trae diversos beneficios a nivel ecológico, económico y social.
- Una transición hacia una alta participación de ERV requiere repensar el diseño, la operación y la planificación de los sistemas de energía desde un punto de vista técnico, económico y ambiental.
- Para gestionar eficazmente las ERV a gran escala, es necesario establecer una serie de fuentes de flexibilidad en el sistema de potencia.
- La flexibilidad debe aprovecharse en todos los sectores del sistema energético, desde la generación hasta la transmisión, distribución, y el usuario final.
- Es necesaria la actualización de los códigos de operación del sistema que establezcan los requerimientos técnicos necesarios para la conexión y operación continua, segura y confiable de las nuevas instalaciones de generación renovable.
- Es imprescindible la expansión e interconexión de las redes de transmisión para soportar la integración masiva de ERV.
- Diversas tecnologías como FACTS, HVDC y DLR están ya disponibles y pueden ser integrados a los sistemas para mejorar la flexibilidad y la eficiencia de la operación de las redes existentes.
- La generación distribuida permite integrar ERV próxima al centro de consumo, liberando así la red de transmisión y disminuyendo las pérdidas y la congestión en las líneas.
- El almacenamiento de energía es indispensable para garantizar la seguridad del suministro, mitigar la variabilidad de la generación y responder ante fallas en el sistema.

Reconocimiento

El apoyo financiero para la investigación de la que este documento es producto fue proporcionado por la SENACYT (Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá) bajo el proyecto FID17-113; CxM 164-2018 – Impacto de la Integración Masiva de Recursos Renovables en el Sistema Nacional de Transmisión Eléctrica.

Referencias

- [1] The White House, *FACT SHEET: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs and Securing U.S. Leadership on Clean Energy Technologies*, The White House, April 22, 2021. Último acceso: Julio 2021. [En Línea]. Disponible: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-president-biden-sets-2030-greenhouse-gas-pollution-reduction-target-aimed-at-creating-good-paying-union-jobs-and-securing-u-s-leadership-on-clean-energy-technologies/>
- [2] European Commission, *2030 climate & energy framework*, European Union. Último acceso: Julio 2021. [En Línea]. Disponible: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
- [3] O. Wallach, *Race to Net Zero: Carbon Neutral Goals by Country*, Visual Capitalist, June 8, 2021. Último acceso: Julio 2021. [En Línea]. Disponible: <https://www.visualcapitalist.com/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/>
- [4] International Renewable Energy Agency, *Renewable capacity highlights*, IRENA, March 31, 2021.
- [5] IEA-ETSAP and IRENA, *Renewable Energy Integration in Power Grids, Technology Brief E15 – April 2015*.
- [6] M. Di Silvestre, S. Favuzza, E. Riva, G. Zizzo, "How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 93, pp. 483-498, 2018.
- [7] E. Lannoye, D. Flynn and M. O'Malley, "Transmission, Variable Generation, and Power System Flexibility," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 30, No. 1, pp. 57-66, Jan. 2015.
- [8] Secretaría Nacional de Energía, *Lineamientos estratégicos Agenda de transición energética 2020-2030*, Gaceta Oficial, Ciudad de Panamá, No. 29163-B, 26 de noviembre, 2020.
- [9] K. Cleary y K. Palmer, "Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid," *Resources for the Future*, April 15, 2020.
- [10] Gerencia de Planificación, *Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2019 – 2033 Tomo III Plan de Expansión de Transmisión*, ETESA, Ciudad de Panamá, julio 2020.
- [11] The National Renewable Energy Laboratory, "Western Wind and Solar Integration Study: Executive Summary," NREL, May 2010.
- [12] REN21, *Why is renewable energy important?*, REN21, May 28, 2019. Último acceso: Julio, 2021. [En Línea]. Disponible: <https://www.ren21.net/why-is-renewable-energy-important/#key-benefits>
- [13] S. Tierney y L. Bird, "Setting the Record Straight About Renewable Energy," World Resources Institute, May 12, 2020.
- [14] REN21, "Renewables in cities 2021 Global Status Report," REN21, Paris, France, 2021. Último acceso: Julio 2021. [En Línea]. Disponible: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REC_2021_full-report_en.pdf
- [15] O. M. Babatunde, J.L. Munda y Y. Hamam, "Power system flexibility: A review," in *CPESE 2019*, Japan, Vol. 6, No. 9, pp. 101-106, 2019.
- [16] B. Kroposki, "Integrating high level of variable renewable energy into electric power systems," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 5, pp. 831–837, Nov 2017.
- [17] X. Deng y T. Lv, "Power system planning with increasing variable renewable energy A review of optimization models", *Cleaner Production*, Vol. 246, Feb 10, 2020.
- [18] M. Ni, F. Xue, Z. Meng, "Integration of Large-Scale Renewable Energy: Experience and Practice in China," *Integration of Large-Scale Renewable Energy into Bulk Power Systems*. Springer, Chap. 2, pp. 27-77, 2017.
- [19] American Physics Society, "Integrating Renewables on the Grid: A Report by the APS Panel on Public Affairs," Jan 1, 2011.
- [20] B. Kroposki, B. Johnson, Y. Zhang, V. Gevorgian, P. Denholm, B. Hodge et al., "Achieving a 100% Renewable Grid," *IEEE Power & Energy Magazine*, March/April, pp. 61-73, 2017.
- [21] L. Bird, D. Lew, M. Milligan, D. Flynn et al., "Wind and solar curtailment: a review of international experience," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, pp. 577-586, Nov, 2016.
- [22] U.S. Energy Information Administration, "Assessing HVDC Transmission for Impacts of Non-Dispatchable Generation", EIA, Washington D.C., U.S.A, June, 2018.
- [23] G. Shafiullah, "Impacts of renewable energy integration into the high voltage (HV) networks," *4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, pp. 1-7, 2016.
- [24] M. Sandhu, T. Thakur, "Issues, Challenges, Causes, Impacts and Utilization of Renewable Energy Sources – Grid Integration," *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4, No. 3, pp. 636-643, Mar. 2014.
- [25] H. Holtinen, "Impact on hourly wind power variations on the system operation in the Nordic countries," *Wind Energy: An International Journal for Progress and Application in Wind Power Conversion Technology*, vol. 8, pp. 197-218, 2005.
- [26] S. Eftekharijad, V. Vittal, G. T. Heydt, B. Keel and J. Loehr, "Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 28, No. 2, pp. 893-901, 2013.
- [27] T. Alquthami, H. Ravindra, M. Faruque, M. Steurer y T. Baldwin, "Study of Photovoltaic Integration Impact on System Stability Using Custom Model of PV Arrays Integrated with PSS/E," *North American Symposium*, págs. 1-8, 2010.
- [28] The World Bank, "Grid Integration Requirements for Variable Renewable Energy," World Bank, Washington DC, U.S., 2019.
- [29] E. Martinot, "Grid Integration of Renewable Energy: Flexibility, Innovation, and Experience," *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 41, No. 1, pp. 223-251, Nov. 2016.
- [30] M. Milligan, B. Kirby, T. Acker, M. Ahlstrom, B. Frew, M. Goggin, et al., "Review and Status of Wind Integration and Transmission in the United States: Key Issues and Lessons Learned," *National Renewable Energy Laboratory*, Mar. 2015.
- [31] U.S. Energy Information Administration, "Assessing HVDC Transmission for Impacts of Non-Dispatchable Generation, EIA, Washington D.C., U.S.A, June 27, 2018.
- [32] S. Oyedepo, A. Agbetuyi y M. Odunfa, "Transmission Network Enhancement with Renewable Energy", *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, Vol. 5, No. 1, 2014.
- [33] International Renewable Energy Agency, *Innovation landscape brief: Dynamic line rating*, IRENA, 2020.
- [34] T. Ackermann, G. Andersson y L. Söder, "Distributed generation: a definition," *Electric Power Systems Research*, Vol. 57, No. 3, pp. 195-204, Apr. 20, 2001.
- [35] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis," *2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, pp. 1-5, 2005.
- [36] A. Cabrera-Tobar, E. Bullich-Massagué, M. Aragüés-Peñalba, O. Gomis-Bellmunt, "Review of advanced grid requirements for the integration of large scale photovoltaic power plants in the transmission system", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 62, pp. 971-987, 2016.

Dr. Ángel Rubio: Padre de la Geografía en Panamá

Carmen Castillo¹ , Ruby Vallarino² 

¹Universidad de Panamá, Facultad de Humanidades

²Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil

¹carmen.castillov@up.ac.pa; ²ruby.vallarino@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3031



Resumen: Ángel Rubio fue un destacado geógrafo, docente e investigador, considerado como padre de la geografía en Panamá. En la academia sus contribuciones en la geografía aplicada sobre el territorio panameño fueron de gran valor, fue el precursor de la carrera universitaria en geografía de la Universidad de Panamá y de las necesidades en esta rama del conocimiento en el país istmeño. También fue un importante asesor y diplomático a quien se le atribuyen hechos como la extensión a 12 millas náuticas del mar territorial panameño. Sus destacados aportes lo resaltan como una de las figuras más importantes en la introducción de la geografía en Panamá.

Palabras claves: cartografía, geografía, Panamá.

Title: Dr. Ángel Rubio: Father of Geography in Panama

Abstract: Ángel Rubio was a prominent geographer, professor, and researcher, considered the father of geography in Panama. In the academy, his contributions in applied geography on the Panamanian territory were of great value, he was the forerunner of the university career in geography at the University of Panama and of the needs in this branch of knowledge in the isthmus country. He was also an important advisor and diplomat who is credited with events such as the 12-nautical-mile extension of the Panamanian territorial sea. His outstanding contributions highlight him as one of the most important figures in the introduction of geography in Panama.

Key words: cartography, geography, Panama.

Tipo de artículo: histórico.

Fecha de recepción: 20 de julio de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

1. Vida familiar y primeros años en España

Ángel Rubio nació el 27 de junio de 1901 en Córdoba, España. Curso estudios primarios en su ciudad natal y sus estudios secundarios los realizó en el Instituto General y Técnico de Sevilla, España. En 1922, obtuvo la titulación de Licenciado en Filosofía y Letras, Sección Historia, en la Universidad de Sevilla. Continuando de 1922 a 1924 sus estudios de postgrado en la



Figura 1. Dr. Ángel Rubio. Foto tomada en la galería de directores del departamento de geografía de la Facultad de Humanidades, Universidad de Panamá.

Universidad de Sevilla, donde logro formar parte del Cuerpo Facultativo de Archiveros, Bibliotecarios y Arqueólogos. [1], [2]

Entre los años 1922 y 1936 desempeño el cargo de investigador y paleógrafo en el Archivo General de Indias de Sevilla, de la mano de su padre, don Luis Rubio Moreno, quien para entonces ejercía como segundo jefe en la institución; fue profesor en la cátedra de Geografía e Historia en el Instituto de Teruel, el Instituto General y Técnico de Cáceres, y el Instituto Maragall de Barcelona. Además, fue catedrático en Geografía en la Universidad de Barcelona, Miembro de la Sociedad Geográfica Catalana y de la Real Academia Hispanoamericana de Ciencias y Artes. [1], [3]

Durante su paso en el Archivo General de Indias de Sevilla estuvo interesado en América, lo que inició sus primeras obras con contenido histórico, entre las cuales se destacan: Mapas de las correlaciones toponímicas entre Extremadura y América, La emigración extremeña a Indias, La conquista espiritual de América y Extremadura, y Curso de Geografía General, siendo esta última su primera obra orientada a la geografía. [4]

Los primeros vínculos de Ángel Rubio con Panamá tienen su origen en su matrimonio con doña María Eusebia Lasso de la Vega, hija del educador y Embajador de Panamá en España don Melchor Lasso de la Vega; quien ejerció influencia en la trayectoria del geógrafo de origen hispano. En 1937, el escenario ocasionado por la Guerra Civil Española obligo al matrimonio a trasladarse a Panamá, donde se establecerían de manera definitiva y tendrían tres hijas. [2], [5]

2. Obra y legado en Panamá

Los aportes del Dr. Ángel Rubio a la geografía panameña han quedado plasmados de forma significativa en la academia y en la administración de la República de Panamá. Estas contribuciones podemos detallarlas a continuación:

2.1 Academia

Entre 1937 a 1939, Ángel Rubio ejerció la docencia como profesor de Geografía en el Instituto Nacional de Panamá. En 1939, fue nombrado profesor en la cátedra de Geografía de la Universidad de Panamá, siendo esta institución en donde desarrollaría sus más influyentes obras en el campo de la docencia e investigación. [6]

En la Universidad de Panamá fue fundador y profesor de la carrera de Geografía e Historia, así como también director del Departamento de Geografía (ver figura 2). También realizó aportes curriculares que contenían una concepción diferente a la geografía tradicional, donde buscaba plasmar en sus estudiantes la búsqueda por comprender mejor el mundo, junto con las particularidades regionales y nacionales. Entre sus numerosos aportes como textos y material didácticos se destacan: Curso de Iniciación de Geografía (1946 y 1950) y el Atlas Geográfico Elemental de Panamá (1947-48, 1950). [5], [6]



Figura 2. Departamento de Geografía. Foto tomada en la Facultad de Humanidades, Universidad de Panamá.

El interés en el desarrollo de temas relacionados a la geografía panameña lo llevo a abordar diferentes aspectos como la producción, recursos naturales, población, estructura física y división política de Panamá. Realizando aportes en distintas ramas como en la geografía física con Regiones y Comportamientos Morfológicos del Istmo de Panamá (1946) y Los Ríos Panameños (1956); en la geografía de la población, La Dispersión Demográfica en Panamá (1946); en geografía económica, Puertos y Transportes Marítimos de Panamá (1946); entre muchas otras más. [6]

Las contribuciones realizadas por el Dr. Ángel Rubio en la rama de la geografía física son de gran valor puesto que abordó aspectos que incluyen las regiones climáticas, hidrográficas y

vegetales de Panamá, así como su morfología. Los resultados de sus investigaciones en conjunto con el material cartográfico fueron publicados en diferentes artículos científicos, así como en folletos y libros. Adicionalmente, colaboro en publicaciones para la Revista de Geografía Americana y Boletín de la Academia Panameña de Historia, Ingeniería y Arquitectura, destacando su participación en 1955 en la elaboración del estudio ¿El territorio del Istmo de Panamá, en que se encuentra la República de Panamá, pertenece geográficamente a América Central o a América del Sur?; estudio en el que pudo concluir que desde el aspecto geológico y geográfico Panamá es parte de América Central, y basado en el aspecto arqueológico e histórico tiene una mayor similitud con la región noroeste de América del Sur. [4], [7]

2.2 Asesoría y diplomacia

Además de su amplio aporte en la academia, su posición como defensor de la geografía aplicada lo llevo a trabajar de la mano con la administración panameña en numerosas ocasiones, en donde participo como asesor cartográfico para la oficina de Censo Nacional de Panamá en 1940. Entre 1944 a 1951, fue director de la Sección de Informática, Estadística y Archivos del Banco de Urbanización y Rehabilitación de Panamá, realizando estudios sobre viviendas, barrios y ciudades; y paralelamente realizó esfuerzos para poner a disposición de otros colegas profesionales fichas y notas para la preparación de mapas y cartogramas. [3], [6]

Siendo una de las figuras más destacadas de la geografía en Panamá, participo en múltiples congresos internacionales, entre las cuales se resalta su presencia como miembro de la Delegación de Panamá en las conferencias de Ginebra, Suiza sobre el Derecho del Mar realizado por las Naciones Unidas en los años 1958 y 1960; donde defendió la promulgación de la Ley 18 de 1958 que extendió la anchura del mar territorial panameño a 12 millas náuticas. Durante sus últimos años de vida (1961-1962) se dedicó al estudio del mar territorial, aguas interiores y la plataforma continental del dominio marítimo panameño. Dirigió estudios de graduación que trazaban sobre cartas náuticas los límites del mar territorial panameño, sus líneas de base y aguas interiores; además de efectuar mediciones precisas de la extensión de costas panameñas y superficie de numerosas islas. [4]-[6]

El Dr. Ángel Rubio a nivel nacional fue Miembro Asesor de la Primera Comisión del Plan Vial de Panamá en 1957 y Asesor Geográfico del Ministerio de Relaciones Exteriores. Sus conocimientos lo llevaron a representar a Panamá en 17 congresos internacionales y fue miembro de 24 sociedades geográficas internacionales con sede en España, Costa Rica, Estados Unidos, Perú, Brasil, México, Uruguay, Chile y Panamá. También perteneció al Instituto Panamericano de Geografía e Historia desde 1944 hasta su muerte. [4]-[6]

2.3 Legado tras su fallecimiento

A pesar de su fallecimiento el 30 de noviembre de 1962, las contribuciones del Dr. Ángel Rubio a la geografía panameña se siguieron proyectando en importantes obras como lo son la elaboración del Atlas de Panamá que incluye mapas y textos

especializados en geografía política, geomorfología y climatología, idea que inicio con iniciativas como “El Pequeño Atlas Geográfico de Panamá”, que publico en México en 1958; así como el “Diccionario Geográfico de Panamá”, obra original e innovadora en el entorno Centroamericano; ambas ideas fueron materializadas por el empeño de sus destacadas discípulas las profesoras Raquel María de León y Consuelo Tempone. [5], [6]

Durante sus años de vida expreso la necesidad de un instituto geográfico y estadístico, presentando en 1953 ante el Congreso Nacional de Ingenieros y Arquitectos la ponencia denominada “El Instituto Geográfico, una necesidad nacional”. Esta idea se logró materializar con el Decreto de Gabinete N° 8 de 16 de enero de 1969 que crea el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.[4], [6]

3. Reconocimientos

En el año 1960 se le otorgo la Orden Vasco Núñez de Balboa por parte del Gobierno de la República de Panamá, en reconocimiento por sus aportes a la geografía panameña y los servicios que ejerció en el país. [4]

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia de la Organización de Estados Americanos le concedió en 1961 la Medalla Panamericana de Geografía e Historia por las valiosas aportaciones geográficas. [6]

Después de su fallecimiento, el legado y memoria de este prestigioso investigador y docente quedaron plasmadas en sus numerosas obras y contribuciones a la geografía panameña, en la creación de la Catedra Ángel Rubio en el departamento de geografía y centro de investigaciones en la Universidad de Panamá (ver figura 3 y 4). Además, en la Biblioteca Central Simón Bolívar de esta casa de estudios descansan su colección de publicaciones, mapas y apuntes. [4], [5]

También, en honor a su memoria se estableció una calle con su nombre y se creó el Instituto Profesional y Técnico Ángel Rubio de Panamá. [4]



Figura 3. Centro de investigaciones geográficas Ángel Rubio. Foto tomada en la Facultad de Humanidades, Universidad de Panamá.



Figura 4. Catedra Ángel Rubio. Foto tomada en la Facultad de Humanidades, Universidad de Panamá.

Referencias

- [1] M. Maldonado-Koerdell, “Ángel Rubio,” *Revista Geográfica*, vol. 31, 1962.
- [2] Real Academia de la Historia, “Ángel Rubio Muñoz Bocanegra,” 2018. <http://dbe.rah.es/biografias/5273/angel-rubio-munoz-bocanegra>
- [3] J. R. Fernandez de Cano, “Rubio, Ángel,” *La web de las biografias*. <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=rubio-angel>
- [4] EcuRed, “Ángel Rubio Bocanegra.” https://www.ecured.cu/Ángel_Rubio_Bocanegra
- [5] Revista Lotería, “Revista Cultural Lotería,” *Revista Cultural Lotería*, vol. 438, pp. 59–73, 2001.
- [6] Autoridad del Canal de Panamá, *Ángel Rubio - La ciudad de Panamá*. 1999.
- [7] Wikipedia, “Ángel Rubio Muñoz-Bocanegra,” 2020. https://es.wikipedia.org/wiki/Ángel_Rubio_Muñoz-Bocanegra

Dr. José Antonio Price: pionero de la medicina republicana en Bocas del Toro

Ariel Pérez Price 

Coordinador Regional para Centroamérica, Cuba y República Dominicana -
Departamento de Comercio Internacional (DIT)
perezprice@gmail.com
DOI: 10.33412/pri.v13.1.3471



Resumen: José Antonio Price fue un pionero de la medicina panameña asentado en la provincia de Bocas del Toro. Su graduación como médico cirujano en el año 1913, lo convierte en el primer médico afrodescendiente del que se tenga registro dentro del período histórico inaugurado por la república. Price impulsó, decididamente, el desarrollo de la medicina privada en el Caribe panameño, contribuyendo también a la nacionalización del sector público de la salud adelantado desde el año 1924. Fue también un prominente político liberal, electo en múltiples ocasiones presidente del Consejo Municipal, donde sirvió como presidente.

Palabras clave: médico, cirujano, afro-panameño, Bocas del Toro.

Title: José Antonio Price: medicine pioneer in Bocas del Toro's early Republican Period.

Abstract: Jose Antonio Price was a pioneer of modern medicine based in Bocas del Toro province. His graduation as a physician and surgeon in 1913, makes him the first known Panamanian of African descent to obtain a medical degree within the historical period inaugurated by the Republic. Price led the development of private medicine in Panama's Caribbean and contributed to the nationalization process of healthcare launched in 1924. Dr. Price was a prominent Liberal politician elected in multiple occasions to the Municipal Board, serving as president.

Key word: Physician, surgeon, Afro Panamanian, Bocas del Toro,

Tipo de artículo: histórico

Fecha de recepción: 15 de enero de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

Orígenes

La ascendencia de José Antonio Price se ubica en el Caribe Británico. Su madre Hilda Elizabeth Price era originaria de British Honduras, hoy en día Belice [1]. Evidencia dispersa apunta a que su alumbramiento ocurrió en la ciudad de Panamá [2] el 16 de junio de 1890. A temprana edad se trasladó junto a su madre hacia la ciudad de Bocas del Toro,



Figura 1. Dr. José Antonio Price [6]

conocida como *Columbus Island* o *Bocas Town*, puerto internacional desde el año 1890 y donde existe evidencia de su estadía al menos desde 1896 [3]. En Bocas del Toro, Hilda E. Price figura como comerciante, propietaria de un hotel para viajeros y varios inmuebles. La única evidencia historiográfica sobre el progenitor del Dr. Price, aparece en el certificado de defunción de su madre, donde se lee la anotación viuda de Juan Price. [4]

Educación y experiencia en el Sur de los Estados Unidos.

El galeno adelantó su educación elemental en Bocas del Toro, de la mano de maestros procedentes del Caribe y adscritos a la iglesia protestante. Era políglota, dominando a la perfección el inglés, el español y el francés [5]. Al recrudecer el conflicto denominado la «Guerra de los Mil Días», fue enviado a Jamaica, probablemente a la *York Castle High School* donde culminó sus estudios secundarios [6]. A los diecisiete años de edad y con el apoyo del Dr. Carlos Antonio Mendoza, líder del partido Liberal quien vivió en Bocas del Toro entre 1904 y 1907, viajó al Sur de los Estados Unidos con el objeto de realizar estudios universitarios. Allí experimentó un ambiente de total segregación racial, legalizado a través de las leyes del *Jim Crow*. Adelantó estudios en dos entidades privadas fundadas para satisfacer la demanda de profesionales negros, conocidas actualmente por la Academia como «historically black colleges and universities» [7]. En Raleigh, Carolina del Norte, cursó estudios pre-médicos en la *Shaw University* entre los años 1907 y 1909 [8]. Se trasladó luego a Memphis, Tennessee, a la *University of West Tennessee, College of Medicine and Surgery*, institución académica creada por el Dr. Miles V. Link, donde realizó y concluyó sus estudios de medicina, cirugía y farmacia, entre los años 1909 y 1913 [7] [9].

Ejecutoria profesional en los primeros años de la República.

A su retorno a Bocas del Toro, la provincia seguía inmersa en el auge económico prendido por la exportación agrícola y la incorporación de la *United Fruit Company* en 1899. La situación impulsó una variada inmigración dominada por trabajadores provenientes en su mayoría del Caribe Británico y Francés, pero que también incluía a europeos, norteamericanos y asiáticos, que en muchos casos llegaban en busca de fortuna y sin vínculos con la empresa norteamericana, creando una población multicultural que alcanzó los trece mil habitantes en 1911[10]. La relevancia comercial de Bocas del Toro se hace evidente al corroborar la existencia de siete consulados en isla Colón para el año 1917, los cuales representaban a los Estados Unidos, Alemania, el Reino Unido de Gran Bretaña, Portugal, Noruega, Costa Rica y Francia [11].

En el año 1900, La *United Fruit Company* estableció una moderna facilidad médica en isla Solarte, la cual se conoció como *Hospital Poin* [12]. La entidad fue inicialmente concebida para el control de enfermedades tropicales que pudiesen poner en riesgo de cuarentena al puerto y para la atención de sus empleados blancos para quienes se priorizaban los servicios de cirugía y hospitalización [6] [12] [13]. En el año 1904 el nosocomio inaugura una sala segregada para empleados negros; no obstante, la demanda por servicios médicos sobrepasaba las capacidades de la empresa, que contaba para entonces con 6,000 empleados negros entre afrocaribeños y norteamericanos, quienes eran acompañados por 5000 dependientes [12]. La configuración de los servicios médicos brindados colocaba en situación de vulnerabilidad a la población negra y a todo aquel que no mantuviese vínculos laborales con la empresa; situación palpable por la inexistencia hasta 1919 de un hospital público bajo la jurisdicción panameña [14].

Dentro de este contexto, el Dr. Price se convirtió en un pionero de la medicina privada en el Istmo al fundar en el año 1914 la Farmacia Central ubicada sobre la calle IV de isla Colón [2] [15] y posteriormente, en un edificio contiguo, el hospital Santa Fe inaugurado en 1920 [16]. Ambas entidades ayudaron a mitigar la creciente necesidad por servicios médicos de la población, replicando en gran medida el sistema de cobertura médica particular implantado por los afroamericanos en el Sur de los Estados Unidos, luego del fallido período de Reconstrucción que tomó lugar al finalizar la guerra de Secesión. Para la época las enfermedades de mayor prevalencia en Bocas del Toro eran la malaria, neumonía, tuberculosis, nefritis, uncinariasis y las enfermedades venéreas [12]. Un testigo describió la composición física del hospital Santa Fe de la siguiente forma: «En la planta baja se practicaba la medicina general, la ginecología e incluso la odontología. Había una habitación especial donde se practicaban partos e intervenciones quirúrgicas. En la parte superior, se contaba con varias camas ubicadas en una sala abierta donde pernoctaban pacientes provenientes de localidades lejanas o aquellos en estado de gravedad [6]. En la esfera pública, el Dr. Price ocupó variados cargos en Bocas del Toro, entre ellos Médico Forense desde 1914 [6] [17], Médico de Profilaxis entre los años 1915 y 1920 [18], además de director y cirujano del Hospital de Caridad de

la provincia creado en 1919 [19]. Otro aporte de consideración del galeno, fue su papel en el proceso de nacionalización de la salud, la cual se encontraba en gran medida en manos de los norteamericanos desde 1904, campaña iniciada por el presidente Belisario Porras en 1924 [20]. Fue nombrado durante el último período de Porras en los cargos de Médico Oficial de la Sección Oriente de la provincia de Chiriquí [21] y Médico Oficial de la provincia de Darién [22].



Figura 2. Farmacia Central, 1916 [2].

El día 21 de septiembre de 1929, el Dr. Price participó del acto fundacional de la Asociación Médica Nacional. Su presencia es visible en la foto de Carlos Endara que aún reposa en la sede de la organización, aunque bajo la descripción «NO IDENTIFICADO», lo que contradice su firma en el acta fundacional original que cuelga de una de sus paredes. Por alguna razón su nombre como miembro fundador fue excluido del acta protocolizada por la organización ante la Notaría con el objeto de solicitar su personería jurídica ante las autoridades del Poder Ejecutivo. [6]

En investigaciones conducidas entre los años 2011 y 2016, se pudo recabar testimonios de ancianos en la provincia de Bocas del Toro, que dan cuenta de las ejecutorias médicas del Dr. Price en sus últimas décadas como profesional en los años treinta y cuarenta del siglo XX, cuando Bocas del Toro afrontaba una terrible crisis económica producto del cierre de las plantaciones producto del *Mal de Panamá*. El otrora bastión comercial del Caribe languidecía ante la debacle del monocultivo, en tanto que su población sufría de gran aislamiento con respecto a la periferia de la República. En ese contexto las anécdotas recabadas refuerzan una tradición oral que eleva al personaje a un estatus casi legendario. Enrique James Vernaza (1931) señaló describiendo un brote de malaria hemorrágica «*Hubo tres casos de aguas negras; las aguas negras es que orinas sangre viva. Una mujer y dos hombres. Fueron al hospital en Almirante y los médicos gringos les dijeron que no había cura, y se acordaron del Dr. Price y a los tres los salvó. En su clínica tenía unas cuatro camas para los casos graves. Cuando vieron a la señora en Almirante, los médicos se asustaron y preguntaron —¿Quién la curó?— Fue José Antonio Price*» [6]

Existe evidencia que corrobora que para la época el Dr. Price brindaba servicios hospitalarios gratuitos a la población desposeída, servicios que eran anunciados en diarios de la localidad [23].

Vida política

José Antonio Price fue un político liberal de estirpe arrabalera, dados sus vínculos personales con el Dr. Carlos Antonio Mendoza, quien ocupó la presidencia en el año 1913[6]. A su retorno de los Estados Unidos, se involucró con rapidez en la vida política de Bocas del Toro, siendo elegido miembro del Consejo Municipal en múltiples ocasiones desde al año 1914[2] e incluso presidente del mismo[6]. Impulsó iniciativas entre las que resalta el cementerio de isla Colón[6], que aún se mantiene como el principal de la Capital de la provincia. En su recorrido político se le vio participar de diversas encarnaciones del movimiento liberal junto a Belisario Porras, Francisco Arias Paredes y Ernesto de la Guardia. [6][24][25][26]

Muerte y Legado

José Antonio Price falleció de cáncer en la provincia de Bocas del Toro, el 4 de agosto de 1951, a los sesenta y un años de edad [27]. La tarea de determinar, con precisión, si se trata del primer médico afro-panameño en adquirir dicha idoneidad durante la era Republicana es compleja. Las razones pasan por la distorsión de nuestra identidad como pueblo, un problema de carácter generacional que parece haber despojado de su ascendencia étnica a un gran número de personajes históricos, invisibilizando a los afro-panameños en el contexto de la historia [28]. Nuestra investigación, por ejemplo, identificó a José Domingo Espinar (1791-1895), graduado de la Universidad de San Marcos de Lima alrededor de 1840[29]; Mateo Iturralde (1791-1865), egresado de la Universidad de Quito [30] y a Ciro Urriola (1863-1922) con estudios en la Universidad de Bogotá de donde se graduó en 1888, continuando con estudios en Europa antes de regresar al país y convertirse en Constituyente en 1904 y presidente de la República en 1918[30]. Sobre estos personajes puede decirse que fuentes dispersas los catalogan como afrodescendientes bajo la denominación de “mulatos” o “criollos” y en otros casos los centros educativos de donde egresaron han sido identificados por los académicos como universidades para castas o mulatos. Hace falta muchísima investigación para determinar cuántos otros escapan este análisis. Lo cierto es que la evidencia documental aquí mostrada apunta a corroborar, por el momento, que José Antonio Price fue el primero afro-panameño en obtener su título de médico y cirujano dentro de la era republicana inaugurada a partir de 1903.

Referencias

- [1] Escritura Pública No. 225 de 23 de diciembre de 1907 de la Notaría Pública de Bocas del Toro, República de Panamá
- [2] William T. Scoullar, “El libro azul de Panamá/ The Blue Book of Panama”, Imprenta Nacional, 1916. [Online] Available: <http://bdigital.binal.ac.pa/binal/frames/cldetalle.php?id=71&from=1> [Accessed: 19-Mar-2021]. La evidencia es dispersa y testimonial, pues no ha podido ser ubicado certificado de bautismo que de cuenta de su nacimiento.
- [3] Libro de Bautismos de la iglesia Nuestra Señora del Carmen, isla Colón, Bocas del Toro, pag. 218, entrada 771 de 1896.

- [4] Partida No. 108, Tomo No. 3 de inscripciones de defunciones de la provincia de Bocas del Toro, República de Panamá, a nombre de Hilda E. Price fallecida el 22 de octubre de 1921.
- [5] The Gleaner, 15 of April 1915.
- [6] Ariel Pérez Price, “Memorias de Bocas Town: La vida y tiempo de José Antonio Price, Miss Hilda Press, 2019.
- [7] Todd L. Savitt, “Race & Medicine in Nineteenth and Early Twentieth Century America”, The Kent State University Press, 2007.
- [8] Shaw University, Annual Catalogue of Officers and Students, 1907-1908; 1908-1909. Shaw University Annual Catalogue of the Officers and Students, 1907-1908; 1908-1909. [Online]. Available: <https://archive.org/details/shawuniversityii19081910B> [Accessed: 19-Mar-2021].
- [9] Dado su estatus como entidad educativa extinta, no existen archivos concentrados de la University of West Tennessee College of Medicine and Surgery. No obstante, un artículo sobre su fundador, Miles V. Link, aparecido en el Tri Star Defender de la ciudad de Memphis con fecha 1 de enero de 1959, publica una lista completa de sus egresados, entre quienes figura J.A. Price, oriundo de Bocas del Toro y egresado en 1913. El listado es reproducido por Todd Savitt en la obra descrita a cita [7].
- [10] Censo demográfico de la provincia de Bocas del Toro, 1920. Editorial Imprenta Nacional, 1924.
- [11] Panama Canal Records, 1917. [Online]. Available: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-W79-930c03418a3ef1dfbcb609a4267c82a6/pdf/GOVPUB-W79-930c03418a3ef1dfbcb609a4267c82a6.pdf> [Accessed: 19-Mar-2021].
- [12] Clyde Stephens, “History of Hospital Point, Pioneer Medical Center, 1899-1920”, Leesburg Printing Co., 1997. W
- [13] The Gleaner, 7 of May, 1908.
- [14] Gaceta Oficial 3150 de 2 de agosto de 1919. [Online] Available: https://www.gacetaoficial.gob.pa/gacetitas/03150_1919.pdf [Accessed: 19-Mar-2021].
- [15] El Progreso, 26 de julio de 1914.
- [16] The Star & Herald, 16 of April, 1920.
- [17] Diario Crítica, 2 de diciembre de 2003. [Online] Available: <https://portal.critica.com.pa/archivo/02122003/suc15.html> [Accessed: 19-Mar-2021].
- [18] The Star & Herald 16 de enero de 1921.
- [19] The Star & Herald 4 de marzo de 1920.
- [20] Luis Manuel Comejo Alemán “Compendio de la historia de la medicina. Editorial Portobelo, 2013.
- [21] Gaceta Oficial 4378 del 4 de abril de 1924. [Online] Available: http://gacetitas.procuraduria-admon.gob.pa/04378_1924.pdf [Accessed: 19-Mar-2021].
- [22] Gaceta Oficial 4415 del 30 de mayo de 1924. [Online] Available: https://www.gacetaoficial.gob.pa/gacetitas/04415_1924.pdf Accessed: 19-Mar-2021].
- [23] El Ciudadano, 23 de diciembre de 1934.
- [24] El Ciudadano, 21 de julio de 1934.
- [25] La Estrella de Panamá, 6 de junio de 1936.
- [26] Academia Panameña de la Historia, “Homenaje al autor del acta de independencia de 1903, Dr. Carlos A. Mendoza”, Imprenta Renocación, 1978. La obra transcribe un cablegrama recibido en Bocas del Toro por motivo del fallecimiento de Mendoza. Entre los firmantes líderes del Partido Liberal figura el Dr. José Antonio Price.
- [27] Partida No. 898, Tomo No. 8 de inscripciones de defunciones de la provincia de Bocas del Toro, República de Panamá, a nombre de José Antonio Price fallecido el 4 de agosto de 1951.
- [28] Marixa Lasso, “¿De qué color era José Domingo Espinar y por qué importa esa pregunta?”, La Prensa, 8 de octubre de 2020.
- [29] Argelia Tello Burgos, “José Domingo Espinar: un panameño frente a sus circunstancias”, Revista Lotería, No. 334-335, Enero-Febrero 1984, pág. 5-15. [Online] Available: <http://200.115.157.117/RevistasLoteria/335.pdf> Accessed: 19-Mar-2021]. Tello discrepa con Castillero quien afirma que Espinar estudió en la Universidad de Quito.
- [30] “Tres eminentes médicos criollos”, Revista Lotería, No. 61, Junio de 1946, segunda página de la cubierta. [Online] Available: <http://200.115.157.117/RevistasLoteria/61.pdf> Accessed: 19-Mar-2021].

José María Figueroa Oreamuno: hombre de ciencia, historia y arte costarricense

¹MSc. Henry Hernández Vega ; ²MSc. Ileana D'Alolio Sánchez 

¹Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Civil; ²Universidad de Costa Rica. Escuela de Estudios Generales
henry.hernandezvega@ucr.ac.cr; ileana.dalolio@ucr.ac.cr
DOI: 10.33412/pri.v13.1.3472



Resumen: José María Figueroa Oreamuno, se destacó por su labor en diferentes áreas durante el siglo XIX. Además de explorador se destacó en las áreas de etnografía, historia y cartografía. Además, sobresale como ilustrador y caricaturista. Su investigación genealógica no tiene igual en la Centroamérica de su época. Su trabajo histórico recopila información de cuatro siglos diferentes. El aporte de José María Figueroa es un monumento a la historia y cultura de Costa Rica.

Palabras clave: etnografía, historia, genealogía, Costa Rica, cartografía, Álbum Figueroa, Figueroa.

Title: José María Figueroa Oreamuno: Costa Rican man of art, history and science.

Abstract: José María Figueroa Oreamuno, stood out for his work in different areas during the 19th century. In addition to being an explorer, his work highlighted in the areas of ethnography, history and cartography. In addition, his genealogical research stands out, which in his time had no equal in Central America. His historical work collects information from four different centuries. José María Figueroa's contribution is a monument to the history and culture of Costa Rica.

Key word: mosquito, medical, Aedes aegypti, yellow fever

Tipo de artículo: histórico.

Fecha de recepción: 15 de junio de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

Familia

José María Figueroa (1820 – 1900) fue cartógrafo, naturalista y hombre de arte costarricense. Hijo del español Antonio Figueroa Oreamuno y de Ramona Oreamuno Jiménez [1].

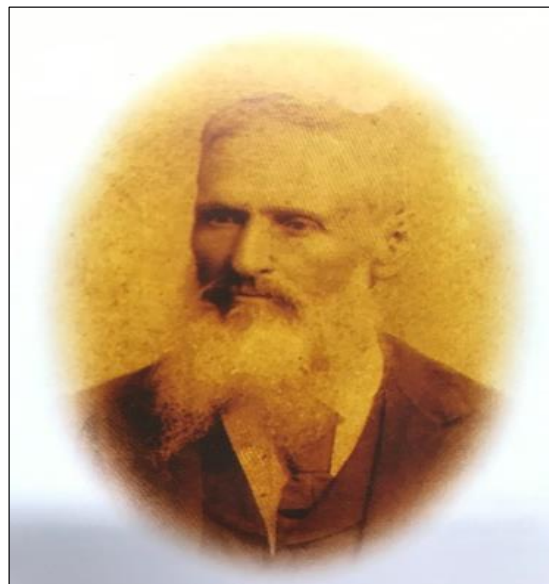


Figura 1. José María Figueroa [10]

Sus inicios

José María, a pesar de su buena educación nunca obtuvo un título profesional. Durante su juventud su carácter bohemio y rebelde le llevó a confrontar las normas sociales de la época.

Esto contrastaba con los principios capitalistas que respondían a la aspiración de una sociedad costarricense que buscaba el progreso a partir de un modelo agroexportador centrado en la producción del café. Por ejemplo, en un extracto de sus versos se puede leer lo siguiente [1]:

*“El fanatismo entero
quisiera desvanecer
para no iyr [huir] ni temer
y no estar con desvelo.”*

El joven Figueroa hizo sus primeras exploraciones a Chiriquí, Panamá y Talamanca, Costa Rica. En su edad adulta, se dedicó a la denuncia de tierras en Costa Rica para su colonización o exploración minera. Su experiencia en cartografía y geografía la obtuvo en un proyecto de construcción de un camino entre Cartago y lo que hoy es Buenos Aires de Puntarenas. Este proyecto, junto con otras experiencias, lo expuso al contacto con la población indígena de Costa Rica de la cual documentó su cotidianidad [1].

Los mapas de las diferentes regiones de Costa Rica realizados por Figueroa ayudaron a la consolidación del Estado costarricense ya que fueron publicados por el gobierno costarricense en una época caracterizada por las disputas territoriales con sus países vecinos [1], [2].

A pesar de que José María Figueroa no era un “profesional” en cartografía tenía un amplio conocimiento de la geografía del país a partir de sus diferentes viajes [2]. Los mapas elaborados por Figueroa constituyen un hito en la formación

del Estado costarricense [3]. Su mapa de Costa Rica de 1896 es la "obra cartográfica más exacta del país" para su época y también destacan sus dibujos de las sabanas de Buenos Aires, Ujarrás, Paso Real y el Valle de Santa Cruz [2].



Figura 2. Mapa de la península de Nicoya, Costa Rica [1].

De su labor etnográfica destaca el registro de la cotidianidad de la población indígena del país que percibió a través de sus viajes [4]. Además logra documentar las costumbres de la población de la época [1].

Por otro lado, Figueroa también se destacó en la investigación de la genealogía costarricense y su estudio no tiene "comparación en todo el siglo XIX para el caso centroamericano". Se basó en entrevistas como fuente primaria y probablemente en la revisión de archivos de la época [5].

Adicionalmente, generó una serie de dibujos satíricos a partir de la fabulación animal como crítica a la corrupción y al modelo político que regía al país a finales del siglo XIX [6], [7]. Asimismo, Figueroa logró documentar las relaciones socioambientales de la época y fenómenos hidrometeorológicos como el de la inundación de media ciudad de Cartago en 1891 [8].

Uno de los principales aportes de Figueroa consiste en el documento denominado "Álbum de Figueroa", donde se recopila información que va desde la época de la colonia hasta los primeros años de la vida republicana. Dicho álbum es considerado "enciclopédico porque registra información sobre geología, geografía, botánica, historia y antropología entre otras" y forma parte de la historia de Costa Rica [9].

Por otro lado su trabajo recopila información de cuatro siglos de historia nacional [3].

El Álbum de Figueroa es un documento base para la investigación en diferentes disciplinas y su aporte es reconocido tanto nacional como internacionalmente [11]. El Álbum de Figueroa es un documento sin comparación por su valor cultural e histórico y que forma parte de la memoria nacional [12].

Otras de sus obras destacadas fueron los cuadernos, en los cuales plasmó su arte y las críticas más mordaces [12]. Por su peculiar forma de ilustración satírica que incorpora la denuncia de los problemas políticos y sociales de su presente, se le reconoce como el primer caricaturista de costarricense [13].

En general, en Costa Rica existe una limitada difusión del aporte de Figueroa dentro de la comunidad costarricense y uno de los retos que tiene el país es una mayor divulgación de sus trabajos de una manera estructurada [11].

José María Figueroa murió en 1900 en la ciudad de Cartago, a la edad de 80 años [1].

Referencias

- [1] Archivo Nacional de Costa Rica. El Álbum de Figueroa: Viaje por las páginas del tiempo, s.f. [Online]. Available: https://www.archivonacional.go.cr/web/educativo/catalogo_figueroa.pdf. [Accessed: 07-May-2021].
- [2] Vargas-Ulate, G. (2021) La Cartografía y el paisaje geográfico en el Álbum de Figueroa. En Dirección Editorial de la UNED (Ed.), *El Álbum de Figueroa Un Viaje por las páginas del tiempo* (pp. 24–45). San José, Costa Rica: Editoriales Universitarias Públicas Costarricenses.
- [3] Arroyo-Pérez, J. (2021) José María Figueroa Oreamuno: el deleite de la provocación. En Dirección Editorial de la UNED (Ed.), *El Álbum de Figueroa Un Viaje por las páginas del tiempo* (pp. 24–45). San José, Costa Rica: Editoriales Universitarias Públicas Costarricenses.
- [4] Shelby, G. S. (2009). Costa Rica: Colonia y Nación en la mirada de José María Figueroa Oreamuno (1820-1900). *Diálogos Revista Electrónica de Historia*, 10(1), 140-146
- [5] Meléndez-Obando, M. (2021) Importancia Genealógica del Álbum de Figueroa. En Dirección Editorial de la UNED (Ed.), *El Álbum de Figueroa Un Viaje por las páginas del tiempo* (pp. 46–67). San José, Costa Rica: Editoriales Universitarias Públicas Costarricenses.
- [6] Arias-Mora, D. (2015). Monstruos que gobiernan, animales que devoran. La crítica al liberalismo desde la zoología política en Costa Rica (1870-1900). *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 219-248
- [7] Calderón Herrera, C. (2020). La construcción de las élites en las ilustraciones del "Cuaderno rojo" de José María Figueroa: 1870-1887. Disponible en: <http://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/81319>
- [8] Goebel-Mcdermont, A. (2021). Historiar con el prisma "verde". El Álbum de Figueroa como fuente para el estudio de la historia ambiental costarricense: temas, problemas y perspectivas. En Dirección Editorial de la UNED (Ed.), *El Álbum de Figueroa Un Viaje por las páginas del tiempo* (pp. 46–67). San José, Costa Rica: Editoriales Universitarias Públicas Costarricenses.
- [9] Dirección General del Archivo Nacional. (2021). Guía de información custodiada en el Departamento de Archivo Histórico. Disponible en: https://www.archivonacional.go.cr/web/dah/guia_fondos_historico.pdf
- [10] Porras-Jara, C. (2010). *Figuras y figurones: José María Figueroa Oreamuno*. San José, Costa Rica: Fundación Escuela para Todos.
- [11] Arias-Eduarte, Jorge. "Estrategias tecnológicas para la difusión del Álbum de Figueroa: comunidades virtuales de aprendizaje." (2007). Disponible en: <https://repositorio.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/542/Arias%20Eduarte%20Jorge.pdf?sequence=1>
- [12] Acuña-Ortega, V. (2021). El Álbum de Figueroa como artefacto cultural de la memoria costarricense. En Dirección Editorial de la UNED (Ed.), *El Álbum de Figueroa Un Viaje por las páginas del tiempo* (pp. 46–67). San José, Costa Rica: Editoriales Universitarias Públicas Costarricenses.
- [13] Calderón-Herrera, C. (2015). La construcción de las élites en las ilustraciones del "Cuaderno Rojo" de José María Figueroa: 1870-1887. CIICLA, UCR. Disponible en Repositorio Kerwa, UCR: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/81319/ELITES%20FIGUEROA%20CUADERNO%20ROJO%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Olimpia R. Altuve: Farmacéutica y Química Bióloga guatemalteca

Licda. Ana Patricia Borrayo Morales 

Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac)

trude360@gmail.com

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3473



Resumen: Altuve fue la primera mujer guatemalteca titulada con el grado de licenciada en la «Universidad Nacional Estrada Cabrera». Un caso extraordinario para la época debido a que eran pocas las mujeres que lograban el ingreso a los estudios universitarios y sobre todo porque irrumpían un espacio que durante siglos había sido exclusivo de los hombres. En consecuencia, como mujer antecesora en la educación superior, le correspondió ser la primera graduada universitaria en Guatemala. Desde finales del siglo XIX, la matrícula estudiantil femenina persistía como una prerrogativa masculina, por lo tanto, el promedio de mujeres inscritas en la educación superior manifestaba una exigua presencia en las aulas universitarias. Fue hasta el 23 de noviembre de 1919 que Olimpia Altuve logró el grado de licenciada en farmacia. Sin duda alguna, un proceso arduo dadas las condiciones sociales para un nuevo quehacer social de las mujeres. No obstante, eran mujeres que provenían de sectores sociales acomodados y además disponían del beneplácito de su entorno social para proseguir los estudios universitarios. En la segunda década del siglo XX, Olimpia logró culminar su carrera universitaria y formó parte de la primera generación de profesionistas guatemaltecas. Además, creó un precedente histórico que generó un camino con nuevos imaginarios para cimentar los espacios necesariamente diferentes para las mujeres.

Palabras clave: historia, educación superior, primera graduada universitaria.

Title: Olimpia R. Altuve: guatemalan Biologist Pharmacist and Chemist.

Abstract: Altuve is was the first Guatemalan woman to graduate with a bachelor's degree from the «National University Estrada Cabrera». An extraordinary case for the time because few women were able to enter university studies and above all because they were breaking into a space that for centuries had been the exclusive preserve of men. Therefore, as a predecesor woman in higher education, she was the first female university graduate in Guatemala. Since the end of the 19th century, female student enrollment persisted as a male prerogative, thus the average number of woman enrolled in higher education manifested a meager presence in university classrooms, therefore, we find that it



Figura 1. Olimpia R. Altuve [6]

was until November 23rd 1919 that Olimpia Altuve achieved a degree in pharmacy. Without a doubt an arduous process given the social conditions for a new social endeavor for women. However, they were women who came from well off social sectors and also had the approval of their social environment to continue university studies. In the second decade of the 20th century, Olimpia managed to complete her university career and was part of the first generation of guatemalan professionals. In addition, it created a historical precedent that shaped a path with new imaginaries to cement the necessarily different spaces for women.

Key Word: history, higher education, first college graduate

Tipo de artículo: histórico

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

Familia

Olimpia Altuve R, nació el 13 de octubre de 1892 en la ciudad de Quetzaltenango, Guatemala. En la introducción de su tesis de grado enunció la siguiente dedicatoria: «*En este acto me sentiría yo completamente feliz si la ausencia de mis padres no fuera como una nube de tristeza que empaña mi alegría*». De igual manera su trabajo de tesis fue dedicado a don Edmundo A. Osborne, doña Lilly Jongh de Osborne y al Licdo. Juan F. Melgar, Vocal 1º de la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia, «Universidad Nacional Estrada Cabrera». A su amigo y compañero de trabajo don Aníbal Carrión. [1].

Sus inicios

Luego de cuatro años de estudios universitarios fue la primera mujer guatemalteca que, a los 27 años de edad, obtuvo el grado de Licenciado en Farmacia [2] en la «Universidad Nacional Estrada Cabrera», [3] actualmente Universidad de San Carlos de Guatemala, [4], el 23 de noviembre de 1919. Además, fue la primera centroamericana graduada de farmacéutica. [5]

El sistema de instrucción pública implementado, en Guatemala, a finales del siglo XIX y el surgimiento de las escuelas normales permitieron a Olimpia Altuve realizar sus estudios secundarios en el Instituto Normal de Señoritas de Occidente, Quetzaltenango, en donde obtuvo el título de Maestra de Educación Primaria y el diploma de Bachiller en Ciencias y Letras, siendo los títulos que le permitieron ingresar a los estudios universitarios, un espacio que durante muchos años fue exclusividad de los hombres. No obstante, su trayectoria estudiantil fue comentada en un diario local: «Hoy sigue la señorita Atuve la carrera de farmacia. Entre el grupo numeroso y selecto de empleados de la farmacia se le ve constantemente trabajando con verdadera vocación y empeño a la competente señorita. La mujer guatemalteca se abre paso cada día dedicándose a diversos trabajos, rompiendo necias preocupaciones de otros tiempos». [7].

En ese largo proceso del acceso de las mujeres a la educación superior su tesis presentada a la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia se tituló: «Contribución al estudio de la Cecropia mexicana (Guarumo)», una investigación realizada bajo la dirección del químico Eduardo Castellanos Crocker y la colaboración del licenciado Tácito Molina y los doctores Sixto Alberto Padilla y Pedro Molina Flores. En su trabajo de tesis refiere que la cecropia mexicana, en Guatemala es llamada Guarumo, y un árbol que antiguamente era conocido por los indígenas de México, América Central, de Gran Colombia, Perú, Brasil, Uruguay y las Antillas, secciones de la América intertropical debido a que su área de vegetación se extiende desde muy cerca de los límites de México con los Estados Unidos hasta el norte de Argentina, dicha planta muy útil para el tratamiento del asma, artritis, diabetes, gota y reumatismo.

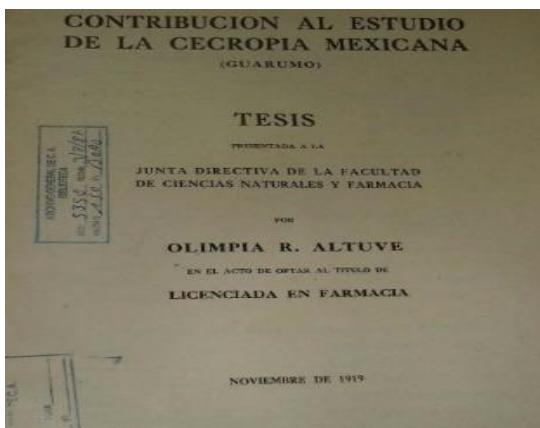


Figura 2. Portada Tesis de graduación de Olimpia R. Altuve

Como primera mujer guatemalteca que se graduó con un título académico en su trabajo de tesis expresó: «Siento indescriptible alegría al franquear el último escalón para llegar a la cima de un ideal que durante cuatro años de lucha constante se mantuvo firme en mi cerebro [...]. cábeme el honor y la inmensa satisfacción de ser una de las primeras de mi sexo que, en Guatemala, haya coronado los estudios de Farmacia, a pesar de las dificultades y falta de costumbre que ha habido entre nosotros para que una mujer siga una carrera científica o profesional». [8].

Con ocasión de su graduación a pesar de haber sido laureada por sus dotes académicas no se le permitió el derecho de uso de la toga universitaria por ser una época en que las mujeres guatemaltecas no gozaban del reconocimiento de sus derechos ciudadanos [9]. Fue hasta el 23 de noviembre de 1967 en un acto solemne promovido por la Asociación de Mujeres Universitarias (AGMU) y realizado el Salón de Honor de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de San Carlos de Guatemala que a Olimpia Altuve se le confirió el derecho del uso de la toga universitaria y el título de Química Bióloga. En su honor por primera vez, se celebró el «El día de la mujer universitaria». [9].



Figura 3. Examen de graduación de Olimpia R. Altuve [10]

Dadas sus calidades académicas y profesionales el presidente Lázaro Chacón (1926-1930) la nombró secretaria del Consulado de Guatemala en Nueva York, Estados Unidos (1928-1932), convirtiéndose en una de las primeras mujeres en trabajar para el servicio exterior guatemalteco. En 1936 participó en el Primer Congreso Farmacéutico de Centroamérica y Panamá celebrado en la ciudad de Guatemala. En la década de los años cuarenta participó activamente en la organización de la campaña presidencial del político Adrián Recinos.

Olimpia Altuve ejerció la profesión en la Farmacia Klée No. 7 ubicada en la ciudad capital, un lugar en donde recibía a estudiantes de farmacia para que realizaran su práctica de recetario. Con rigurosidad académica supervisaba escrupulosamente a cada estudiante y para garantizar la calidad de producto solía decir: «Entre el enfermo y el médico está el farmacéutico, pero entre el farmacéutico y el enfermo, solo dios». [11]

En 2019 el Colegio de Farmacéuticos y Químicos de Guatemala creó la «Medalla Olimpia Altuve» en honor al centenario de su graduación, buscando reconocer

Su vida final

Altuve falleció a los 95 años de edad en 1987 y la Asociación de Mujeres Universitarias (AGMU) organizó un reconocimiento póstumo a su memoria. Olimpia Altuve es sin lugar a dudas, una mujer ejemplar digna de emular, con una actitud que apunta sobre la dignidad humana. Fue una profesional que nos dejó un legado de participación en la vida universitaria y pública en el país.

Referencias

- [1] Olimpia R. Altuve, *Contribución al estudio de la Cecropia Mexicana (Guarumo)*, Guatemala, Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia, 1919, pp. 4, 6 y 7.
- [2] En esa época los títulos profesionales para las mujeres eran otorgados en masculino. Dicha situación cambió al momento que el Consejo Superior Universitario de la Universidad de San Carlos de Guatemala aprobó en punto de Acta No. 44-92, Punto Sexto de fecha 21 de noviembre de 1992 la emisión de los títulos profesionales en género femenino. Cfr. Borrayo Morales, *En el trazo de mujeres. Historia de las precursoras en la educación superior*. Guatemala: Armar Editores-IUMUSAC, 2007. p. 83.
- [3] La Universidad Nacional Estrada Cabrera, se creó según Decreto gubernativo No. 741 de fecha 30 de abril de 1918 y funcionó hasta 1920 con las Facultades de Derecho, Notariado y Ciencias Políticas y Sociales; Medicina y Cirugía; Matemáticas; Ciencias Naturales y Farmacia; Filosofía, Literatura y Ciencias Especulativas y Agronomía.

anualmente a mujeres profesionales agremiadas a este órgano colegiado.

Los estudios de Farmacia iniciaron en Guatemala a partir de 1840.

- [4] La Universidad de San Carlos de Guatemala, desde su fundación por Real Cédula del 31 de enero de 1676 promulgada -en Madrid, España- por el Monarca Español Carlos II ha pasado por varias reformas, que van desde la supresión hasta cambio de nombre. A partir de 1944 restableció su nombre tradicional de Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [5] Véase Ana Patricia Borrayo, *En el trazo de mujeres. Historia de las precursoras en la educación superior*. Guatemala: Armar Editores-IUMUSAC, 2007.
- [6] Olimpia Altuve. Colección de fotos: «Precursoras en la educación superior: una mirada histórica», Instituto Universitario de la Mujer de la Universidad de San Carlos de Guatemala (IUMUSAC). Creada por: Ana Patricia Borrayo.
- [7] Diario de Centro América, Año XXXVI, Guatemala, 27 de marzo de 1916. No. 10033, Nuevos horizontes para la mujer. Futura farmacéutica, p. 1.
- [8] Olimpia R. Altuve, *Contribución al estudio de la Cecropia Mexicana (Guarumo)*, Guatemala, 1919, p. 7.
- [9] Ana Patricia Borrayo, *En el trazo de mujeres. Historia de las precursoras en la educación superior*. Guatemala: Armar Editores-IUMUSAC, 2007, p. 87.
- [10] Diario de Centro América, Año XL, sábado 29 de noviembre de 1919. No. 11,025, p. 1.
- [11] Cfr. Ana Patricia Borrayo, *En el trazo de mujeres. Historia de las precursoras en la educación superior*. Guatemala: Armar Editores-IUMUSAC, 2007, p. 86.

Dr. Reinaldo Espinosa Aguilar: botánico y científico ecuatoriano

Ing. Juan Carlos Muñoz, Mgs. 

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (Ecuador). Vicerrectorado Académico.

juan.muñoz@uleam.edu.ec

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3474



Resumen: Espinosa investigó y catalogó la flora andina del Ecuador, aportó con estudios sobre la Anatomía y Morfología de las plantas de los Andes ecuatorianos, en relación con el clima, la altura y la presión atmosférica [1]. Su obra se centró en el estudio de la enfermedad llamada “la escoba de la bruja”, que contaminaba el cacao del trópico costero del Ecuador [2].

Creó varios herbarios y jardines botánicos en el Ecuador, que hoy por hoy son verdaderos laboratorios experimentales de científicos ecuatorianos, estudiantes del nivel secundario y superior. Implementó un registro de especies herbarias que eran desconocidas, aportando con nuevos registros botánicos, colecciones cuyas reposan en los jardines botánicos de Nueva York y Europa, lo que despertó el interés de los botánicos del mundo por estudiar la región sur del Ecuador. Probablemente el máximo representante de la botánica en el Ecuador durante el siglo XX, [3]

Palabras clave: botánica, flora, morfología, herbarios.

Title: Reinaldo Espinosa Aguilar: Ecuadorian botanic and scientist.

Abstract: Espinosa investigated and cataloged the Andean flora of Ecuador, contributed with studies on the Anatomy and Morphology of the plants of the Ecuadorian Andes, in relation to climate, altitude and atmospheric pressure [1]. His work focused on the study of the disease called “the witch’s broom”, which contaminated the cocoa of the coastal tropics of Ecuador. [2]

He created several herbariums and botanical gardens in Ecuador, which today are true experimental laboratories for Ecuadorian scientists, high school and higher level students. He implemented a registry of herbal species that were unknown, providing new botanical records, his collections rest in the botanical gardens of New York and Europe, which aroused the interest of botanists around the world to study the southern region of Ecuador. He probably the highest representative of botany in Ecuador during the 20th century,

Key word: botany, flora, morphology, herbal.

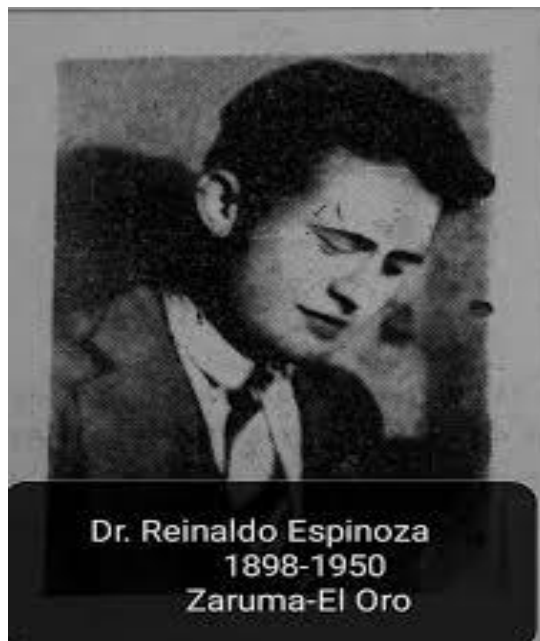


Figura 1. Reinaldo Espinosa Aguilar[9]

Tipo de artículo: histórico

Fecha de recepción: 15 de enero de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

Familia

El Dr. Reinaldo Espinosa Aguilar (1898–1950) fue un botánico, biólogo y científico ecuatoriano. Nacido el 22 de junio de 1898 en Zaruma, un cantón perteneciente a lo que es hoy la provincia de El Oro, de la costa ecuatoriana, sus padres fueron el señor Modesto Espinosa, y la señora Zobeida Aguilar de Espinosa, ambos de origen ecuatoriano[1][2][3].

Sus inicios

Reinaldo Espinosa, realizó sus estudios primarios en la Escuela Superior de Varones de la Cabecera cantonal de Zaruma, posteriormente se ganó una beca para continuar sus estudios secundarios en el Instituto Normal “Juan Montalvo” de Quito, graduándose como el mejor profesor normalista de la época en dicha institución. En 1928, el gobierno alemán reconoce sus méritos y le otorga una beca para estudiar en la Universidad de Berlín, de donde pasó a la de Jena, donde obtuvo el título de Doctor en Matemáticas y Ciencias Naturales, con la calificación *mágnum cun laude* [4]. Se casó con la ciudadana alemana Margot Eichler.

Espinosa colaboró con estudios sobre la Anatomía y Morfología de las Plantas de los Andes ecuatorianos, en relación con el clima, la altura y la presión atmosférica, que mereció el elogio de notables científicos europeos, dejó implementados herbarios en el Ecuador que hoy sirven de laboratorios de prácticas de científicos y estudiantes ecuatorianos de niveles primarios, secundarios y superiores. [5].

En 1935 fue Ministro de Educación y Cultura. Destacó como representante del Ecuador al Congreso Internacional de Agricultura, director del Instituto de Investigaciones Científicas y Miembro de la Sociedad de Botánica Alemana.

En 1939 el científico-botánico Espinosa viajó a Alemania en representación del Ecuador a un Congreso Internacional de Agricultura, en la ciudad alemana de Dresden, participando con sus estudios en el tratamiento de la enfermedad conocida como "la escoba de la bruja", enfermedad que afectaba al cacao, uno de los principales productos de exportación del Ecuador [6].

Fue invitado a dictar la cátedra de Ciencias Biológicas en la Universidad de Loja, aportando con la elaboración de varios textos que para la época no habían [6]. En 1947 apareció su "Programa de Botánica y Genética", una "Guía para la aplicación de los programas de Biología en los Colegios de Segunda Educación" y un "Prospecto e Introducción al Curso para profesores de Botánica de Segunda Educación" en 1948 y "Estudios botánicos en el sur del Ecuador" el 1949 [7]. En ese mismo año creó el Jardín Botánico "Herbarium Universitates Loxensis" que funcionaba en la hacienda Argelia de propiedad de la Universidad de Loja y fue modelo de cuidado y tesón. El Dr. Harold Norman Mardenke, taxonomista especializado en sistemática vegetal del Herbarium de New York consideró esa obra como piloto en su clase [6][7].

Estancia en Alemania y retorno al Ecuador

Desde 1939, Espinosa permaneció por el lapso de 6 años en Alemania, estudiando y siendo testigo de la guerra en territorio alemán. Una vez concluido el conflicto se le imponen barreras a él y su familia para poder retornar al Ecuador, recibiendo la ayuda del presidente ecuatoriano Velasco Ibarra, en esa época, para poder retornar a su patria. En 1948, la Universidad de Loja le edita su primer tomo de "Estudios Botánicos del Sur del Ecuador", incluyendo las localidades de Catamayo, Malacatos y Vilcabamba, pertenecientes a los valles de Loja.[7]. El segundo tomo saldría un año después; mientras continuaba laborando en la citada Alma Mater, un desacuerdo con el Rector lo obligó a renunciar, por lo que tubo que trasladarse hasta Quito con su familia. En muy poco tiempo la Universidad de Nariño (Colombia) lo invita a dictar las cátedras de Biología, Botánica, Genética y un curso de alemán, idioma que aprendió durante su estancia en Alemania, el cual manejaba a la perfección.

Los méritos conseguidos en la Universidad colombiana le merecieron su ascenso y fue nombrado Decano de la Facultad de Agronomía y sus aportes investigativos en el ámbito nacional e internacional han servido para complementar estudios de otros autores de prestigiosas universidades norteamericanas, alemanas y Latinoamericanas. de personas que trabajaban en su construcción[8]. Sin lugar a duda, el Dr. Espinosa es considerado como una eminente figura de la ciencia americana, botánica insigne, director del Herbario Universitarias, obras de gran valor científico [7].



Figura 2. La escoba de la bruja del cacao [10]

Su vida final

Reinaldo Espinosa murió el 20 de agosto de 1950, a la edad de 52 años, producto de una expedición que realizaba con un grupo de estudiantes, en las selvas occidentales colombianas, cercanas a Tumaco, donde desafortunadamente le cayó un árbol sobre su humanidad. Espinosa era un amante de las expediciones y lo adoptó como modelo de enseñanza para sus estudiantes, puesto que le gustaba experimentar en los laboratorios naturales (la selva) de donde extraía abundante información [8].

Referencias

- [1] R. Pimentel, "Reinaldo Espinosa Aguilar," Biografías, 2021. [Online]. Available: <https://rodolfopezpimentel.com/reinaldo-espinosa-aguilar/>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [2] Malvas, "Malvas Cultura y Tradición", Comunidad, 2013. . [Online]. Available:https://www.facebook.com/Malvasculturahistoriatradicion/about/?ref=page_internal
- [3] Wikipedia, "Reinaldo Espinosa Aguilar" 2020. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Reinaldo_Espinosa_Aguilar[Accessed: 22-Feb-2021].
- [4] E. Comercio, "Dr. Reinaldo Espinosa Aguilar". Cartas 2020. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/cartas/cartas-lectores-reinaldo-espinosa-aguilar.html>.
- [5] Wikiwand, "Jardín Botánico Reinaldo Espinosa" 2021. [Online]. Available:https://www.wikiwand.com/es/Jard%C3%ADn_bot%C3%A1nico_Reinaldo_Espinosa
- [6] Sensagent, "Jardín Botánico Reinaldo Espinosa", 2013. [Online]. Available:<http://diccionario.sensagent.com/Jard%C3%ADn%20bot%C3%A1nico%20Reinaldo%20Espinosa/es-es/> [Accessed: 22-Feb-2021].
- [7] R. Espinosa, "Estudios Botánicos en el Sur del Ecuador," 1997. [Online]. Available:https://books.google.com.ec/books/about/Estudios_bot%C3%A1nicos_en_el_sur_del_Ecuador.html?id=dbFfAAAAAAJ&redir_esc=y. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [8] Freejournal, "Reinaldo Espinosa Aguilar," Biografías y Obras, 2020. [Online]. Available:<https://amp.www.es.freejournal.org/1273915/1/reinaldo-espinosa-aguilar.html>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [9] Malvas, Cultura Historia y Tradición, Biografías "Reinaldo Espinosa Aguilar" fanpage, 2020.
- [10] Comisión Estatal del Cacao "La escoba de bruja del cacao". Estación Experimental Mata Larga, San Francisco de Macorís, República Dominicana, 2020 [Online]. Available: <https://www.facebook.com/pg/Malvasculturahistoriatradicion/posts/-2020>.

Dr. Abel Martiniano del Carmen Bravo Martínez: Ingeniero Civil.

Magister Emilia A. Millán Jiménez 

Caja del Seguro Social, Panamá, República de Panamá.

emiliam@css.gob.pa, emillanje24@gmail.com

DOI: 10.33412/pri.v13.1.3497



Resumen: *Bravo era un visionario que recomendó al Gobierno nacional varios proyectos que tardarían décadas en hacerse realidad: carreteras y ferrocarriles para unir la república, un relleno para la bahía de Panamá con la tierra extraída del Canal, y en las erosionadas tierras que rodeaban las playas de Bella Vista, "un muro de sostenimiento y defensa de unos 350 metros de longitud y a un costo de 80 mil dólares, que vendría a formar parte del proyecto de malecón comenzando en el barrio de la Exposición de esta ciudad".*

Sus dos obras escritas fueron: Programa de Aritmética Analítica y Comercial y Programa de Geometría Plana. Tradujo al castellano y aumentó el Tratado de Álgebra Elemental de Benjamin Greenleaf.

Palabras clave: educador, ingeniero, político, escritor, conocimiento, matemáticas.

Title: Abel Bravo: Panamanian engineer and professor.

Abstract: Bravo was a visionary who recommended to the national government several projects that would take decades to become a reality: roads and railroads to unite the republic, a fill for the Bay of Panama with the earth extracted from the Canal, and in the eroded lands that surrounded the beaches of Bella Vista, "a support and defense wall of about 350 meters in length and at a cost of 80 thousand dollars, which would become part of the boardwalk project starting in the Exposition neighborhood of this city."

His two written works were: Analytical and Commercial Arithmetic Program and Plane Geometry Program. He translated into Spanish and increased Benjamin Greenleaf's Treatise on Elementary Algebra.

Keyword: educator, engineer, politician, writer, knowledge, mathematics.

Tipo de artículo: histórico.

Fecha de recepción: 19 de agosto de 2021.

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2022.

Familia

El Dr. Abel Bravo (1861 –1934) fue un ingeniero y docente panameño. Nacido el 2 de enero de 1861 Ciudad de Panamá, sus padres fueron Doña Mercedes Martínez y Don Valentín Bravo [1].



Figura 1. Abel Bravo [5]

Sus inicios

Abel Bravo, hizo sus estudios secundarios en Estudió en el Colegio Provincial del Istmo, Panamá y se graduó con honores de Ingeniero Civil con calificaciones sobresalientes de la Escuela de Ingeniería Civil y Militar de Bogotá, y posteriormente siguió estudios en varias instituciones europeas en las que adquirió conocimientos de química, matemáticas, física, geografía, historia y literatura, en Inglaterra, Francia y Alemania[2].

Continuó estudios avanzados en Inglaterra, Francia y Alemania. Se destacó en distintos campos, como la Ingeniería, Química, Matemáticas, Física, Geografía, Historia, Literatura entre otros [3].

En 1888 fue jefe de la Comisión de Ingeniería Francesa. Levantó los planes de las vías Changuinola, Western River, Johns, Creek, Punker River y otro en la región de Bocas del Toro, compuesto el trazado de la Ciudad de Bocas del Toro y Muelle fiscal de la Bahía de Almirante en 1893. Colabora en la Construcción del Canal Interoceánica, forma parte de la comisión que trazo los límites de las Provincia de Panamá y Colón con la Zona de Canal. Fue director de la Escuela Agrimensura, desempeñó el cargo de profesor de agrimensura y topografía en dicho Instituto [1].

En 1895, se trasladó a Estados Unidos por razones de salud. Estando allí, en 1897, fue nombrado miembro de la delegación de Colombia ante los gobiernos de España y Francia, posición en la que aplicó sus conocimientos de la región limítrofe costarricense, ya que se dirimía el conflicto limítrofe de Colombia con Costa Rica. El presidente Émile Loubet de Francia fue nombrado árbitro para resolver el conflicto. Para ese propósito, Abel Bravo confeccionó los mapas que formaron parte de la

documentación que Colombia entregó a Francia en respaldo de su posición, y que fueron utilizados por el presidente francés para dictar la sentencia conocida como Fallo Loubet, firmado el 11 de septiembre de 1900, con el propósito de poner término al conflicto colombo-costarricense [6].

En 1903 se encontraba en Bogotá con su familia, donde pensaban radicarse. Sin embargo, luego de la independencia de Panamá, regresó al Istmo y fue nombrado por el Dr. Manuel Amador Guerrero, primer presidente de la República de Panamá, para ocupar el cargo de Ingeniero Consultor del Gobierno Nacional. Una de sus tareas fue la de Ingeniero Jefe de la Comisión Demarcadora de la Zona del Canal. En 1906 fue electo diputado a la Asamblea Nacional [6].

Trayectoria profesional

Fue impulsor de la planificación en las obras públicas de ingeniería, proponiendo que éstas se dividieran en tres categorías: nacional, urbana y rural. Así, promovió la construcción de la carretera de Panamá a David, de la vía Transítmica en Chiriquí, y de otras carreteras que se construyeron posteriormente y que atestiguan lo acertado de su visión [4].

Propuso al Gobierno nacional varios proyectos que tardarían décadas en hacerse realidad quedando claramente manifiesto que el Dr. Bravo era un hombre visionario, entre los proyectos propuestos encontramos: carreteras y ferrocarriles para unir la república, un relleno para la bahía de Panamá con la tierra extraída del Canal, y en las erosionadas tierras que rodeaban las playas de Bella Vista, “un muro de sostenimiento y defensa de unos 350 metros de longitud[3]. Proponía, por otra parte, la planificación urbana como requisito para el desarrollo ordenado de las ciudades.

En 1919 retomó la idea de agrupar a los ingenieros nacionales a partir de la intención del gobierno de iniciar la primera red de carreteras del país, asegurando que fueran panameños los ingenieros que se contrataran con tal fin. De este modo, surgió la Sociedad Panameña de Ingenieros, que distinguió al Dr. Abel Bravo como su primer presidente[5].



Figura 2. Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos[6].

Entre 1931 y 1932, Abel Bravo ocupó el cargo de Ingeniero Jefe de la Secretaría de Agricultura y Obras Públicas.

Fue miembro de la Sociedad Geográfica Colombiana, la Sociedad Geográfica Nacional de los Estados Unidos, la Sociedad Colombiana de Ingeniería, la Sociedad Panameña de Ingeniería y la Sociedad Panamericana de Ingeniería, de la Sociedad de Ingenieros de Bélgica y la Sociedad Bolivariana de Panamá, así como Miembro Honorario de la Sociedad de La Salle [5].

Sus aportes a la educación

Tradujo el libro de Tradujo al castellano y aumento el tratado de álgebra. Elemento de Benjamín Greented[4]. Como diputado del periodo 1906-1910 escribió y sustentó la Ley 22 de 1907 para la creación del Instituto Nacional. A esta escuela, la mejor del país en su tiempo, dedicaría sus últimos años de vida profesional, impulsando programas de carreras técnicas que permitieron al país titular sus primeros agrimensores, topógrafos y “maestros de obra” [3].

Profesor en las Cátedra de Geometría Analítica y de Trigonometría Rectilínea y Esférica [6].

Publicó dos obras: Programa de Aritmética. Analítica y Comercial y de Programa de Geometría Plana [6].

Escribió una danza panameña que intituló: “Las tres hermanas” [6].

Pronunció el discurso de grado con motivo de haberse graduado con el primer puesto de honor en la Escuela de Ingeniería Civil y Militar, el 25 de noviembre de 1884. [6].

Su vida final

Abel Bravo, murió en la Ciudad de Panamá el 15 de septiembre de 1934 de un derrame cerebral, en el momento que escribía un texto de matemática que pensaba dejar como humilde tributo a su patria [2].

Referencias

- [1] (2021) Wikipedia. Biografía del Abel Bravo. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Abel_Bravo#Biograf%C3%ADa
- [2] Colegio Abel Bravo. Historia de Abel Bravo. 2015. [Online] Disponible en: <https://benedicidosxeldesor.wixsite.com/vibc/properties>
- [3] Sociedad Geografía de Colombia. Rasgos bibliográficos de Don Abel Bravo. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, Volumen XXI, Números 77 y 78, pp. 1-8. Primer semestre de 1963 [Online] Disponible en: https://www.sogeocol.edu.co/documentos/078_rasg_bio_abel_bravo.pdf
- [4] (2021). EcuRed. Abel Martiniano del Carmen Bravo. Mart%C3%ADnez [Online]Disponible en: https://www.ecured.cu/Abel_Martiniano_del_Carmen_Bravo_Mart%C3%ADnez
- [5] M. Guardia. Un mundo a la medida del ingeniero: de Abel Bravo a Héctor Montemayor. Periódico La Estrella de Panamá. 2021. [Online] Disponible en: <https://www.laestrella.com.pa/nacional/publicando-historia/210502/mundo-medida-ingeniero-abel-bravo>
- [6] Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos, 2021 [Online] Disponible en: <https://spia.org.pa/>

Guía para autores

Formato de artículos

PRISMA Tecnológico

Editorial Tecnológica
prisma@utp.ac.pa



PRISMA Tecnológico (ISSN 2312-637X) es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través de la Editorial Universitaria. Es una revista abierta que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, y tratar temas de ingeniería en sus múltiples disciplinas, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

PRISMA Tecnológico se ha diseñado con varias secciones que permiten incluir artículos de diversos tipos. Las secciones de la revista y los tipos de artículo permitidos se describen en la «Guía para autores - Políticas de publicación y ética».

A continuación, se listan los tipos de artículo y las secciones de la revista.

- Tipos de artículo: investigación, ensayo, revisión, tutorial, e histórico.
- Secciones de la revista y tipos de artículos que se aceptan en las mismas: Impacto (ensayo), Tecnología y Sociedad (investigación y ensayo), Actualidad Tecnológica (ensayo, revisión y tutorial), Tecnología a Fondo (revisión y tutorial), Tecno I+D (investigación), Tecno-Historia (histórico).

1. Formato

Escriba el documento en página tipo carta (21.9 cm x 27.94 cm). Todo material impreso, incluyendo texto, ilustraciones, gráficas y ecuaciones, debe mantenerse dentro de un área de impresión de 17.52 cm de ancho, por 22.86 cm de alto, con márgenes de 2.54 cm superior e inferior y de 2.03 cm a izquierda y derecha. No escriba o imprima nada fuera de esta área de impresión. Todo texto debe estar en un formato de dos columnas completamente justificado. Las columnas deben ser de 8.36 cm de ancho, con una separación entre ellas de 0.8 cm.

Tipos de letra y estilos

Utilice Word con el tipo de letra Arial Narrow. Por favor evite el uso de "bit-mapped fonts". Caracteres True-Type 1 son preferidos.

Título principal

El título principal debe iniciar en la primera columna, justificado a la izquierda, en Arial Narrow, 20 puntos, tipo negrita. Ponga en mayúscula solamente la letra inicial y aquellas de nombres propios o siglas. Si tiene subtítulo, éste debe ir a continuación, justificado a la izquierda, en Arial Narrow 16 puntos,

tipo negrita. Incluya a continuación una línea en blanco de 12 puntos.

El título debe expresar claramente el tema en el que se centra el artículo, de modo que el lector pueda extraer, con solo leerlo, una idea de lo que va a encontrar después. Los autores procurarán no incluir en él abreviaturas salvo que éstas sean de uso generalizado (WCDMA, OFDM, etc.). En caso de duda, no las incluya.

Nombre(s) de autor(es) y afiliación(es)

Los nombres de los autores deben estar justificados a la izquierda justo debajo del título (o subtítulo) en Arial Narrow, 12 puntos, negrita. Cuando son múltiples autores deben mostrarse uno, seguido de otro. Use un subíndice seguido del nombre del autor para indicar el primer autor (a) y el autor de correspondencia (b). Para indicar la afiliación de cada autor use un superíndice numerado después del nombre de cada autor. Debajo, coloque el superíndice y la afiliación correspondiente en Arial Narrow 8 puntos. De forma similar, coloque debajo de las afiliaciones en el orden de los autores el correo electrónico de los mismos, también en Arial Narrow 8 puntos. Incluya a continuación una línea en blanco de 12 puntos.




Se entiende por primer autor (a) la persona que lidera la organización y escritura del artículo, y por autor de correspondencia (b) a la persona responsable de la comunicación oficial del artículo, de la organización y dirección del grupo de trabajo.

Además, todos los autores deben incluir su perfil ORCID, si no lo tienen deben registrarse en la siguiente dirección:

<https://orcid.org/>

El siguiente ejemplo ilustra el formato de nombres de autores, ORCID y afiliaciones.

Ejemplo:

Carlos Babel^a , Benito Chan¹ , Juan Bernal² 

¹Universidad Tecnológica de Panamá

²Centro Experimental Internacional

¹{carlos.babel, benito.chan}@utp.ac.pa

²juan.bernal@cei.org

Incluir en cada artículo la licencia Creative Commons, utilizada por la revista como icono debajo de la información de autores:



Resumen

El resumen debe ser escrito en texto completamente justificado y en itálica, en la parte superior de la columna izquierda, debajo de la información del autor. Utilice la palabra "Resumen" como título, en Arial Narrow 12 puntos, tipo negrita, no itálica, justificada a la izquierda relativa a la columna, con mayúscula inicial y seguida de dos puntos. A continuación, inicie el resumen, el cual debe estar escrito en Arial Narrow 10 puntos, espacio sencillo, itálica y puede ser hasta 7.62 cm de largo. Deje una línea (tamaño 10) en blanco después del resumen, luego incluya una lista de palabras claves.

Todos los tipos de artículo deben acompañarse de un resumen, con excepción de los trabajos en la sección Tecno-Historia. El resumen debe recoger los aspectos más destacados del trabajo, de modo que éste sea comprensible sin tener que leer el resto del artículo.

Para los artículos de Tecno I+D el resumen debe ser estructurado conteniendo objetivos, métodos, resultados y conclusiones. Para todas las otras secciones, el resumen no se estructurará. Nunca se incluirán citas bibliográficas en el resumen.

Palabras clave

Utilice la expresión “Palabras clave” como título, en Arial Narrow 12 puntos, tipo negrita, no itálica, justificada a la izquierda relativa a la columna, con mayúscula inicial y seguida de dos puntos. A continuación, incluya de 3 a 7 palabras claves en Arial Narrow 10 puntos itálicas a espacio sencillo. Seguido de los dos puntos la primera letra debe ir en minúscula, salvo excepciones (nombres propios, siglas, otras).

Sección en inglés

Después de las palabras claves deben aparecer el título, el resumen y las palabras claves en inglés en el formato anterior, indicando cada uno como se muestra a continuación.

Title: ...

Abstract: ...

Key words: ...

Texto principal

Escriba su texto principal en Arial Narrow 10 puntos, a espacio sencillo. No use doble espacio. Todos los párrafos deben tener una sangría de 0.5 cm. Asegúrese que el texto está completamente justificado, es decir, raso a la izquierda y a la derecha. Por favor no agregue ninguna línea en blanco entre párrafos.

Cabeceras de primer nivel

Los títulos de primer nivel, por ejemplo, “1. Introducción”, deben estar en Arial Narrow 12 puntos negrita, con mayúscula inicial, a la izquierda de la columna con una línea en blanco antes. Utilice un punto (“.”) después de la numeración, no una coma. Como en el título, use mayúscula solo para la primera letra, nombres propios o siglas.

Cabeceras de segundo nivel

Los títulos de segundo nivel, por ejemplo, “1.1 Antecedentes”, deben estar en Arial Narrow 11 puntos, negrita, solo la primera letra en mayúscula, y una línea en blanco antes.

Cabeceras de tercer nivel

Los títulos de tercer nivel, por ejemplo, “1.1.1 Secciones”, no se recomiendan. Sin embargo, de ser necesarios, use Arial

Narrow de 10 puntos, negrita, solo la primera letra en mayúscula, y una línea en blanco antes.

Viñetas

Las viñetas deben ir justificadas a la izquierda y a espacio sencillo. La posición de la viñeta con respecto a la columna del texto debe ser cero (0) cm, y las posiciones de la tabulación y la sangría del texto de la viñeta deben ser 0.3 cm.

Diseño de la última página

Si la última página de su documento está solo parcialmente llena, arregle las columnas para que estén igualmente balanceadas si es posible, en lugar de tener una sola columna larga.

Enumeración de páginas y encabezados

No enumere automáticamente las páginas en el procesador, y no utilice ningún tipo de encabezado (header or footer).

Figuras y tablas

Todas las figuras y tablas deben ocupar el ancho completo (en lo posible) de una columna. Figuras y tablas muy grandes pueden ocupar ambas columnas, pero procure usar estas figuras y tablas de dos columnas de ancho solo cuando sea absolutamente necesario. Las leyendas de figura se colocan debajo de las figuras, y los títulos de las tablas se colocan centrados sobre las tablas. Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y en forma consecutiva usando números arábigos. Por ejemplo: “Figura 1. Esquema de modulación”, “Tabla 1. Datos de entrada”. Las leyendas de figuras y tablas deben ser Arial Narrow de 10 puntos. Use mayúscula inicial solo para la primera palabra de cada leyenda de figura o título de tabla. Para el contenido de las tablas use Arial Narrow de 8 puntos. Localice las tablas y figuras lo más cerca posible a la primera referencia de las mismas, al inicio o final de cada columna; evite colocarlas en el medio de las columnas. A continuación, se presenta un ejemplo de formato correcto para las tablas y figuras en la Figura 1 y la Tabla 1.



Figura 1. Ejemplo de imagen con resolución aceptable.

Tabla 1. Ejemplo de una tabla.

Sectores	N	%
Arriba	10	14.5
Abajo	13	60.2

Fuente: Adaptado de [2]

Todas las figuras (gráficas, ilustraciones, fotos) deben estar centradas, inclusive el título. Los artes (figuras, etc.) deben estar en su sitio dentro del artículo (preferiblemente como parte del texto en lugar de pegados). Procure utilizar ilustraciones, gráficas y fotos de alta calidad, mínimo 300 dpi, para evitar que se distorsionen si se amplían o reducen. Una vez se apruebe su artículo, se le solicitará que envíe las imágenes en formato JPG o PNG y las tablas o fórmulas en formato PDF de ser necesario.

Ecuaciones y símbolos

Para las ecuaciones, utilice el editor de ecuaciones de Microsoft y asegúrese de utilizar tipo Arial Narrow 10 puntos para las variables, números y texto en general. Para el formato de la ecuación (Format Object) seleccione "in line with text" y asegúrese que la numeración correspondiente queda alineada a la derecha y la ecuación queda centrada, como se ilustra a continuación

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) \, dr \, d\varphi \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva en paréntesis. Para hacer las ecuaciones más compactas puede utilizar el solidus (/), la función exp, o exponentes apropiados, y use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores, como en

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) \, dr \, d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\cdot \int_0^{\infty} \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r_i) \, d\lambda$$

Asegúrese que los símbolos en su ecuación se han definido antes que aparezca la ecuación o inmediatamente después de la ecuación. Utilice tipo itálica para los símbolos (así, por ejemplo, T para referirse a una temperatura, mientras que T para la unidad Tesla). Refiérase a "(1)" no a "ec. (1)" ni "ecuación (1)".

Confine las ecuaciones a una columna y de ser necesario, divídalas en los símbolos algebraicos apropiados (como en (2)).

Con respecto a los símbolos matemáticos, letras griegas u otros elementos gráficos asegúrese que se muestran e imprimen correctamente, y que están incluidos en los tipos de letras (font packages) disponibles regularmente en MS Word.

Pies de página

Procure no utilizar pies de página. Si se utiliza colóquelo en la parte inferior de la columna de la página en la cual se hace referencia. Use Arial Narrow 8 puntos, espacio sencillo. Para facilitar la lectura, evite el uso de pies de página e incluya las observaciones necesarias en el texto (entre paréntesis, si se prefiere, como se ilustra aquí).

Secciones más comunes

Las siguientes secciones son las más usuales (pero no están limitadas a éstas) en un artículo de investigación.

Resumen: en el caso del resumen estructurado, el mismo debe incluir cuatro elementos identificables,

- El objetivo, es decir, el propósito fundamental del estudio y la hipótesis principal si la hubiera.
- Los materiales y métodos, se mencionan los procedimientos para la realización del estudio, se describen modelos, esquemas, herramientas, equipos, así como los métodos de modelado, simulación, observación y analíticos.
- Los resultados más relevantes del estudio, incluyendo la magnitud de los efectos y su importancia.
- Las conclusiones más relevantes que se sustentan directamente en los datos, junto con su aplicación.

Introducción: debe ubicar al lector en el contexto del trabajo. La introducción debe contener:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado de la técnica en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado de la técnica.
- La descripción de la forma como el documento está estructurado, evitando que parezca una tabla de contenido.

Materiales y métodos: es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, métodos y materiales. Además, también deben incluirse los criterios de selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

Resultados y discusión: se recomienda presentar los resultados en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida.

- Deben indicarse claramente los hallazgos más significativos.
- Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos
- Se evitará repetir la enumeración de los resultados o los conceptos que se presentan en la introducción. Los autores expondrán el significado y trascendencia de los resultados obtenidos, su concordancia o no con estudios similares ya realizados, las limitaciones de su trabajo y la continuación lógica de éste.
- Se recomienda extremar la síntesis evitando repeticiones innecesarias.
- Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Es incorrecto: "El sesenta por ciento (3/5) de las muestras X y el 20% (1/5) de Y han demostrado resistencia a los medicamentos." Es correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de

X y 1 de cada 5 ejemplares de Y han demostrado resistencia a los medicamentos."

- Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Conclusión: las conclusiones deben ser enunciadas con claridad y deberán 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 trabajos futuros.
- Impacto sobre la comunidad científica

Es importante indicar que no se requiere una sección de conclusión, pero que si se incluye debe cuidar que, aun cuando una sección de conclusión pueda resumir los puntos principales del artículo o ensayo, no debe duplicar el resumen en la conclusión. Una conclusión, como se ha indicado, debe elaborarse sobre la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones y extensiones del mismo.

Los otros tipos de artículos tendrán estructura libre.

Apéndices (Anexos)

Los apéndices o anexos, de ser necesarios, aparecen antes del agradecimiento.

Agradecimiento

Podrán incorporarse, cuando se considere necesario, las personas, centros o entidades que hayan colaborado o apoyado la elaboración del trabajo, sin que ello justifique la calidad de autor. Debe especificarse la naturaleza de la ayuda.

Utilice el término en singular en el encabezado, aun cuando pueda tener muchos agradecimientos. Evite expresiones tales como "Uno de nosotros (S.A.M) agradece...". En lugar de esto, escriba "S. A. M. agradece...". El reconocimiento de apoyo a algún patrocinador o de apoyo financiero va en esta sección, por ejemplo, "Este trabajo fue financiado o apoyado en parte por la Secretaría Nacional bajo el acuerdo BS12345".

Referencias

La sección de Referencias va al final del documento y no debe estar enumerada. En ella debe listar y enumerar todas las referencias bibliográficas en Arial Narrow 8 puntos, espacio sencillo.

Utilice los estilos Regular e Itálica para distinguir entre los diferentes campos como se muestra en los ejemplos de esta sección.

Las referencias bibliográficas aparecerán seguidas de la última sección del texto, o de los agradecimientos, sin cambiar de hoja.

En el texto, enumere los elementos consecutivamente (en orden de aparición) en paréntesis cuadrados (e.g., [1]). Cuando se refiera a un elemento de la referencia, simplemente use el número de referencias, como en [2]; no use "Ref. [2]" o "Referencia [2]", excepto al inicio de una oración, e.g., "En [2] se muestra que...". Múltiples referencias se deben enumerar cada una con paréntesis separados (e.g., [1], [2], [4]-[6]).

A continuación se ilustran diferentes categorías con su formato que incluyen: libro [1], libro en una serie [2], artículo de revista (journal) [3], artículo en revista electrónica con DOI [4], artículo de conferencia [5], patente [6], sitio web [7], página web [8], hoja de datos [9], libro de datos como un manual [10], tesis de maestría o doctorado [11], reporte técnico [12], estándar [13].

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] M. Gonçalves, E. Fox, & L. Watson, "Towards a digital library theory: a formal digital library ontology," *International Journal on Digital Libraries*, vol. 8, no. 2, pp. 91-114, 2008. <http://doi:10.1007/s00799-008-0033-1>
- [5] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.
- [6] R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, "High-speed digital-to-RF converter," U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [7] (2002) The IEEE website. [Online]. Disponible en: <http://www.ieee.org/>
- [8] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Disponible en: <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/>
- [9] "PDCA12-70 data sheet," Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.
- [10] FLEXChip Signal Processor (MC68175/D), Motorola, 1996.
- [11] A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- [12] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [13] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std. 802.11, 1997.



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-Ridda² 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: 1580-8894
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



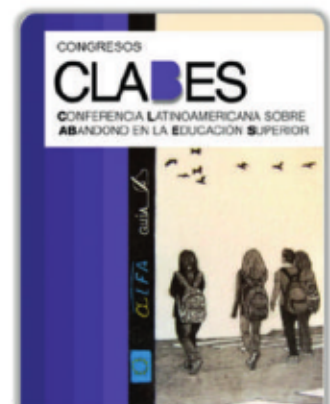
El Tecnológico
ISSN: 1819-9623
E-ISSN: 1819-9623



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



Universidad Tecnológica de Panamá
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio Administrativo, Primer alto.
Teléfono: (507) 560-3703 / Telefax: (507) 560-3442
Correo electrónico: editorial@utp.ac.pa
Web: www.utp.ac.pa
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado
Panamá, República de Panamá