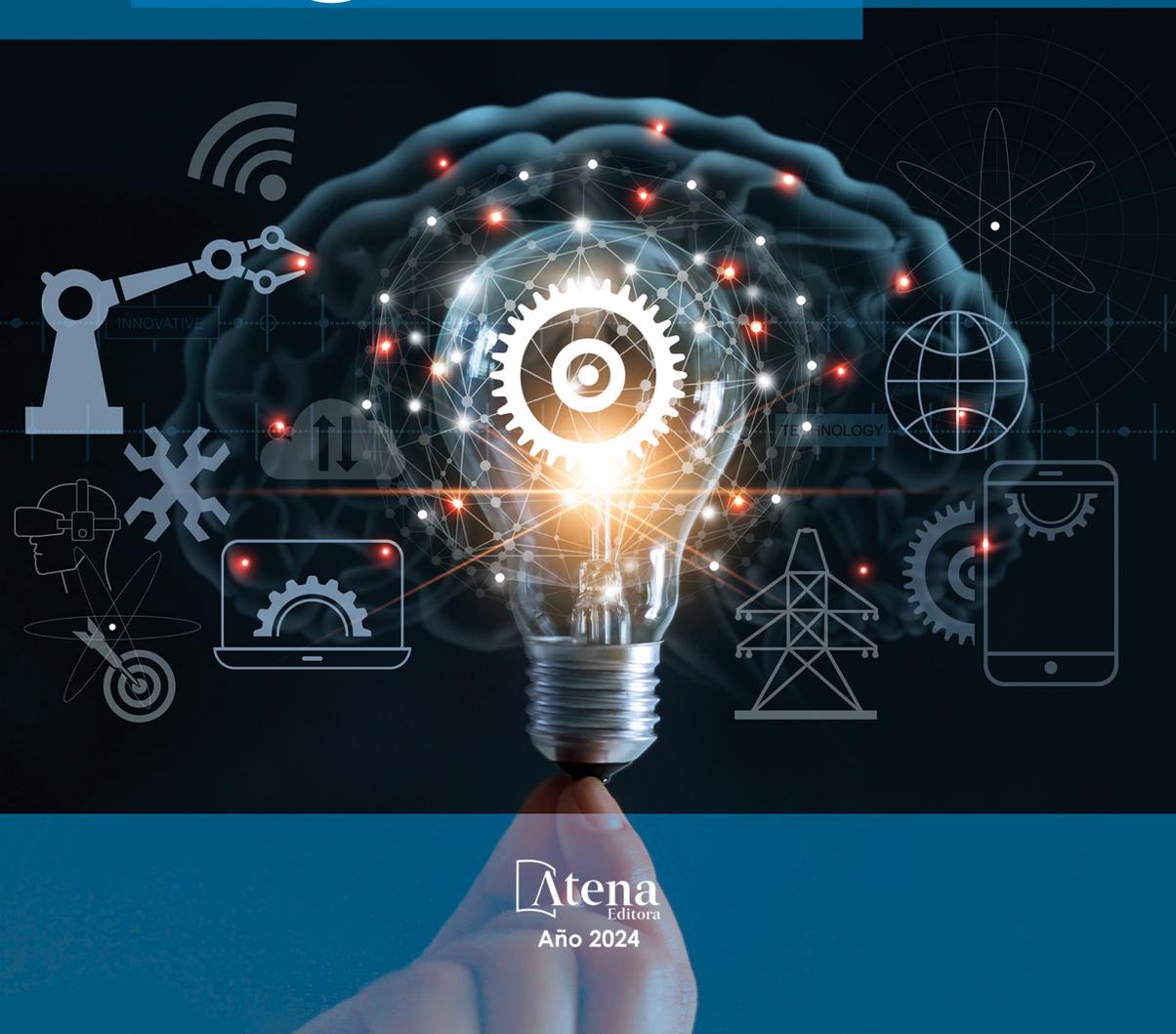


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Ciencia, tecnología e innovación
desde la perspectiva de las

Ingenierías



Atena
Editora
Año 2024

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Ciencia, tecnología e innovación
desde la perspectiva de las

Ingenierías



Atena
Editora

Año 2024

Editora jefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora ejecutiva

Natalia Oliveira

Asistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecario

Janaina Ramos

Proyecto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imágenes de portada

iStock

Edición de arte

Luiza Alves Batista

2024 por *Atena Editora*

Copyright © *Atena Editora*

Copyright do texto © 2024 El autor

Copyright de la edición © 2024 *Atena Editora*

Derechos de esta edición concedidos a *Atena Editora* por el autor.

Open access publication by *Atena Editora*



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido del texto y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad del autor, y no representan necesariamente la posición oficial de *Atena Editora*. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos al autor, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

Consejo Editorial**Ciencias Exactas y de la Terra y Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaina/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Ciencia, tecnología e innovación desde la perspectiva de las ingenierías

Diagramación: Camila Alves de Cremo
Corrección: Jeniffer dos Santos
Indexación: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisión: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

C569 Ciencia, tecnología e innovación desde la perspectiva de las ingenierías / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

Incluye bibliografía

ISBN 978-65-258-3058-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.582241311>

1. Ingeniería. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 620

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Para efectos de esta declaración, el término 'autor' se utilizará de forma neutral, sin distinción de género o número, salvo que se indique lo contrario. De esta misma forma, el término 'obra' se refiere a cualquier versión o formato de creación literaria, incluidos, pero no limitando a artículos, e-books, contenidos en línea, de acceso abierto, impresos y/o comercializados, independientemente del número de títulos o volúmenes. El autor de esta obra: 1. Atestigua que no tiene ningún interés comercial que constituya un conflicto de intereses en relación con la obra publicada; 2. Declara que participó activamente en la elaboración de la obra, preferentemente en: : a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Preparación del artículo o revisión con el fin de que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final de la obra para su presentación; 3. Certifica que la obra publicada está completamente libre de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirma la citación y referencia correcta de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconoce haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para realizar la investigación; 6. Autoriza la edición de la obra, que incluye registros de la ficha catalográfica, ISBN, DOI y otros indexadores, diseño visual y creación de portada, maquetación del núcleo, así como su lanzamiento y difusión según los criterios de Atena Editora.

DECLARACIÓN DE LA EDITORIAL

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. La presente publicación sólo constituye una cesión temporal de los derechos de autor, del derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de la obra publicada, en los términos de la Ley de Derechos de Autor (Ley 9610/98), del art. 184 del Código Penal y del art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza e incentiva a los autores a firmar contratos con repositorios institucionales, con el fin exclusivo de divulgar la obra, siempre que se reconozca debidamente la autoría y edición y sin ningún fin comercial; 3. La editorial puede poner la obra a disposición en su sitio web o aplicación, y el autor también puede hacerlo a través de sus propios medios. Este derecho solo se aplica en caso de que la obra no se comercialice a través de librerías, distribuidores o plataformas asociadas. Cuando la obra se comercialice, los derechos de autor se cederán al autor al 30% del precio de cubierta de cada ejemplar vendido; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y están vinculados a instituciones públicas de educación superior, conforme a lo recomendado por CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. De conformidad con la Ley General de Protección de Datos (LGPD), la editorial no cede, comercializa o autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, ni ningún otro dato sobre los mismos, para cualquier finalidad que no sea la divulgación de esta obra.

El libro electrónico: “Ciencia, tecnología e innovación desde la perspectiva de la Ingeniería” consta de cuatro capítulos de libro que investigaron: *i)* la modelación matemática en la formación de ingenieros a nivel de pregrado y maestría; *ii)* desarrollo de una interfaz de gestión de dispositivos domésticos y; *iii)* utilización de aeronaves no tripuladas para inspeccionar el patrimonio arquitectónico.

El primer capítulo evaluó el aporte de las disciplinas matemáticas a la formación interdisciplinaria de ingenieros. Según los autores, la modelación matemática tiene el potencial de contribuir significativamente a la formación profesional e interdisciplinaria de los ingenieros, pero enfrenta obstáculos para ser implementada en el currículo de las carreras universitarias en Chile. El segundo capítulo investigó las características que debe presentar un programa de maestría, con el fin de ofrecer una formación interdisciplinaria para un ingeniero. Los investigadores concluyeron que la modelación matemática contribuye a la formación de ingenieros a nivel de pregrado y posgrado.

El Capítulo 3 investigó una solución avanzada para implementar en un proceso de automatización para ser utilizado en hogares. Los investigadores utilizaron la tecnología ZigBee para integrar la eficiencia energética mediante la regulación de la temperatura y un dispositivo de monitoreo de fugas de gas. El sistema demuestra funcionalidad, adaptación y bajo costo, haciéndolo más accesible para todos.

Finalmente, el cuarto capítulo utilizó aviones no tripulados (RPAS) para la inspección rutinaria de estructuras arquitectónicas, especialmente el puente Brandomil en la Provincia de A Coruña/España. Según los autores, el uso de RPAS reduce el riesgo de accidentes y aumenta la seguridad y salud de los trabajadores que realizan el mismo trabajo de RPAS.

Desde esta perspectiva, Atena Editora viene trabajando para estimular e incentivar cada vez más investigadores de Brasil y de otros países a publicar sus trabajos con garantía de calidad y excelencia en forma de libros, capítulos de libros y artículos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
CONTRIBUCIÓN DE LAS ASIGNATURAS DE MATEMÁTICA A LA FORMACIÓN INTERDISCIPLINARIA DEL INGENIERO: UNA PROPUESTA BASADA EN EL CICLO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA	
Emilio Cariaga López	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5822413111	
CAPÍTULO 2	8
MAGÍSTER EN MATEMÁTICAS APLICADAS (PROFESIONAL) DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO: UN CASO DE FORMACIÓN CONTINUA INTERDISCIPLINARIA DE POSGRADO	
Emilio Cariaga López	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5822413112	
CAPÍTULO 3	16
PROPUESTA DE UN HOGAR INTELIGENTE BASADA EN LÓGICA DIFUSA	
Adriana Pupo Ulloa	
Marco Antonio Hernández Vargas	
Laura Cecilia Rodríguez Martínez	
Francisco Javier Luna Rosas	
Julio César Martínez Romo	
Mario Alberto Rodríguez Díaz	
César Dunay Acevedo Arreola	
Miguel Ortíz Martínez	
Héctor Jesús Macías Figueroa	
Roberto Aguilera	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5822413113	
CAPÍTULO 4	36
EMPLEO DE AERONAVES NO TRIPULADAS (DRONES) PARA LA AUSCULTACIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS HISTÓRICOS Y ESTRUCTURAS ANTIGUAS	
Rubén Rodríguez Elizalde	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5822413114	
SOBRE EL ORGANIZADOR	51
ÍNDICE REMISSIVO	52

CONTRIBUCIÓN DE LAS ASIGNATURAS DE MATEMÁTICA A LA FORMACIÓN INTERDISCIPLINARIA DEL INGENIERO: UNA PROPUESTA BASADA EN EL CICLO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA

Data de submissão: 29/08/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Emilio Cariaga López

Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco

RESUMEN: En este trabajo se considera el problema de evaluar la contribución de las asignaturas de matemática a la formación interdisciplinaria del ingeniero. Para tal efecto se revisa el rol y la ubicación de las asignaturas de matemática en las mallas de ingeniería chilenas, y se evalúa su aporte a lo interdisciplinario. La metodología utilizada consiste en un análisis documental de la literatura del área con énfasis en los conceptos fundantes, y de las mallas curriculares de pregrado de ingeniería, las cuales son de dominio público desde los sitios web de las instituciones de educación superior. A partir de esta revisión se observa un aislamiento significativo de la matemática respecto de otras disciplinas, a partir de lo cual se evalúa la incorporación del ciclo de modelación matemática, como metodología de enseñanza y aprendizaje en los cursos de matemática. Se concluye que el ciclo de modelación matemática posee el potencial de contribuir significativamente a la

formación profesional interdisciplinaria del ingeniero, siendo el principal obstáculo su débil implementación en la mayoría de las mallas curriculares chilenas, lo cual podría explicarse por la falta de capacitación de los docentes de matemática de esta metodología.

PALABRAS CLAVE: Interdisciplinario, modelación matemática, matemática, mallas curriculares.

INTRODUCCIÓN

Ingeniería es la aplicación del conocimiento científico a la resolución de problemas del mundo real. El ingeniero se distingue de otros profesionales por su habilidad para resolver problemas complejos e implementar soluciones prácticas y económicamente viables.

En general, una actividad se dice interdisciplinaria si su ejecución requiere la cooperación de dos o más disciplinas, siendo cooperación el término distintivo (Frodeman et al., 2017). Por lo tanto, y en particular, un proceso formativo profesional en ingeniería será interdisciplinario si participan dos o más disciplinas, y si

además debe existir cooperación entre las mismas para lograr un cierto producto u objetivo. Resulta evidente que la ingeniería es una profesión esencialmente interdisciplinaria en su práctica, y que por tanto sus procesos formativos también deberían serlo.

Desde el punto de vista formativo el ingeniero es un profesional que posee una sólida base matemática, sobre la cual se construyen otros saberes científicos tales como la física, química o biología, para luego, en una etapa intermedia, utilizarlos en las denominadas ciencias de la ingeniería, finalizando con un tercer estadio formativo de especialización en algún área de la ingeniería. Lo anterior describe *grosso modo* una malla curricular clásica de ingeniería en Chile.

Usualmente, en el ámbito de las matemáticas, se consideran de manera secuencial y parcelada temas tales como álgebra, cálculo, ecuaciones diferenciales, y métodos numéricos. La principal observación negativa al modelo ya descrito es la casi total ausencia de comunicación entre los distintos cursos que conforman la malla curricular, lo cual explica en parte la percepción habitual del ingeniero recién egresado sobre su formación científica y/o matemática en el sentido de no tener convicción sobre la real utilidad de ésta en el ejercicio de su profesión.

En este trabajo examinamos la ubicación y el rol de la matemática en las definiciones curriculares actualmente existentes en Chile para la formación de ingenieros, y argumentamos en favor del ciclo de modelación matemática como una herramienta idónea para armonizar la matemática con lo interdisciplinario.

DESARROLLO

La Interdiscipliniedad en el Curriculum de Ingeniería

Como ya se dijo lo interdisciplinario obliga el concurso colaborativo de, al menos, dos disciplinas. Por otro lado, en una malla curricular tradicional las disciplinas están representadas por una o varias asignaturas. Surge, por tanto, naturalmente la pregunta: ¿de qué manera el diseño curricular contribuye a la formación interdisciplinaria del estudiante de ingeniería?, o dicho de otra manera,

¿Qué oportunidades de formación interdisciplinaria otorgan al estudiante de ingeniería chileno las actuales mallas curriculares?

En el ámbito de esta pregunta de investigación revisamos la línea matemática en particular. Un primer paso metodológico consiste en examinar las mallas curriculares actuales, y su estructura, e identificar la existencia de potenciales factores que podrían contribuir en otorgar oportunidades de formación interdisciplinaria al estudiante de ingeniería (Schmal et al., 2008). Esta revisión nos permite proponer que:

- i) Un primer factor de colaboración entre disciplinas podría ser la estructura de (pre) requisitos, esto es, cuando una asignatura debe estar aprobada para inscribir otra

ubicada en un semestre posterior.

ii) Un segundo factor podría ser cuando una asignatura incluye en su programa de curso, al menos, dos disciplinas (en cuanto a contenidos) con la intención declarada de colaboración entre ambas. Usualmente, este tipo de cursos se ubica en los últimos semestres de la malla.

iii) Un tercer factor podrían ser las prácticas profesionales incluidas en la malla, las cuales son casi la única instancia formativa que ubica al futuro profesional en contextos totalmente realistas, y en donde, en particular, deberá interactuar con profesionales y personas con perfiles curriculares y humanos muy diversos.

iv) Un cuarto factor, con algún grado de independencia de los tres anteriores, consiste en las metodologías de enseñanza y aprendizaje utilizadas al interior de cada asignatura. En efecto, resulta evidente que una metodología tal como el Aprendizaje Basado en Proyectos posee un mayor potencial interdisciplinario que una mera clase expositiva (la cual abunda en las aulas chilenas como lo han constatado diversos estudios).

El examen de diversas mallas nos permite conjeturar que la formación interdisciplinaria no fue considerada en su diseño original de manera explícita y consistente (Wineburg et al., 2000). Por otro lado, cuando se evalúa el perfil de egreso (declarado oficialmente y el observado) surgen diversas dudas sobre la capacidad del joven ingeniero de integrar exitosamente equipos interdisciplinarios. Estos aspectos también se constatan en las ciencias básicas, y en particular en los créditos asignados a la matemática. Por esta razón, en lo que sigue examinamos con mayor detalle la real, o potencial contribución de la matemática a la formación interdisciplinaria del futuro ingeniero.

La Matemática en el Curriculum de Ingeniería

En Chile, la formación base en matemática de todo ingeniero incluye al menos los siguientes cursos:

- i) Álgebra,
- ii) Álgebra Lineal,
- iii) Cálculo Diferencial e Integral (univariado y multivariado),
- iv) Ecuaciones Diferenciales (ordinarias, con mayor frecuencia),
- v) Métodos Numéricos y
- vi) Probabilidades y Estadística.

Algunas mallas incluyen adicionalmente uno o dos cursos en Investigación de Operaciones. Se constata un fuerte énfasis en la matemática propia de sistemas continuos, y una casi total ausencia de otros paradigmas, tales como, matemática discreta, lógica difusa, redes neuronales, etc...(Román et al., 2007). Lo mismo se observa en el caso de

los cursos de estadística los cuales se focalizan casi exclusivamente en las distribuciones de probabilidad.

Respecto de su ubicación relativa en la malla curricular se observa usualmente una fórmula secuencial a lo largo de los cuatro o cinco primeros semestres. Diversos autores han constatado la falta de comunicación entre estos cursos, la falta de contexto ingenieril al interior de ellos, y por sobre todo la falta de una metodología integradora que le añada valor profesional a la formación matemática. Estas consideraciones nos motivan a formular la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera está contribuyendo la matemática presente en las mallas curriculares a la formación interdisciplinaria del ingeniero?.

Un primer esbozo de respuesta fundamentado en la experiencia y en diversos estudios internacionales nos permite conjeturar que:

Lo interdisciplinario no es un factor relevante considerado por la comunidad matemática docente cuando responde a las solicitudes curriculares de las escuelas de ingeniería.

En este sentido la implementación del ciclo de modelación matemática al interior de las aulas escolares y universitarias de matemática ha generado suficiente evidencia sobre su capacidad para resolver varios de los problemas mencionados anteriormente (Brito-Vallina et al., 2011). Por tal motivo, examinamos el ciclo de modelación matemática a la luz de las preguntas y falencias ya mencionadas.

El Ciclo de Modelación Matemática

El ciclo de modelación matemática (CMM en adelante) es la metodología usual a la que recurre el método científico cuando el objetivo de la investigación es obtener una representación o caracterización matemática de una realidad medible, siendo ampliamente utilizado en prácticamente todas las áreas del saber (Banerjee, 2014; Giordano et al., 2013). El CMM es esencialmente iterativo en el sentido de que su objetivo no es obtener el modelo matemático definitivo o final sino construir una primera aproximación, para luego evaluar caminos de mejora los cuales pueden referirse a aspectos no necesariamente matemáticos. El CMM está constituido por cuatro procesos base: formular, resolver, interpretar y validar, los cuales pueden no ser disjuntos (ver figura 1). En efecto,

- i) El primer proceso consiste en *formular* un modelo matemático a partir de la observación de una realidad medible, esto es, de una realidad desde la cual se puedan obtener datos experimentales. La formulación en sí misma requiere la participación de expertos de otras áreas distintas a la matemática, de tal modo que es aquí justamente en donde la matemática conversa de manera colaborativa con otras áreas del saber. Un término asociado a este proceso es la *matematización*,

esto es, transformar el fenómeno a modelar en un objeto formulado con el lenguaje y protocolos técnicos propios de la matemática. Mecanismos usuales considerados en la obtención del modelo matemático: la detección de regularidades en los datos experimentales, la aplicación de las leyes clásicas de conservación, ajustar una expresión funcional determinística o aleatoria, etc...

ii) Por *modelo matemático* nos referimos a cualquier objeto propio de la matemática en cuanto sea una representación de una realidad observable. Números, objetos geométricos, funciones, ecuaciones diferenciales, distribuciones de probabilidad, series de tiempo, redes neuronales, etc... son algunos ejemplos de modelos matemáticos.

iii) Una vez formulado el modelo matemático el CMM se ubica en el ámbito de una idealidad matemática y por lo tanto comienzan a operar metodologías propias de la matemática, cuyo principal objetivo es *resolver* el modelo matemático, lo cual, por ejemplo, puede significar calcular, o aproximar una o varias incógnitas, estimar uno o varios parámetros presentes en una expresión funcional, etc...En la resolución de un modelo matemático se distinguen métodos analíticos, numéricos o cualitativos.

iv) Una vez que el modelo matemático se ha resuelto en algún sentido, el siguiente proceso consiste en *validarlo* para lo cual se cuantifica su grado de representatividad comparando la solución matemática con los datos experimentales disponibles. Sólo una vez que el modelo matemático ha sido validado se puede utilizar para mejorar la comprensión del fenómeno que le dió origen, y eventualmente para fines predictivos.

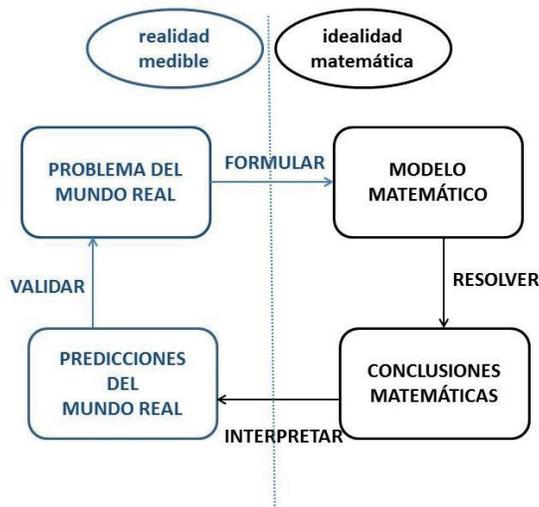


Figura 1. Ciclo de Modelación Matemática (Fuente: elaboración propia).

Por su propia construcción el CMM requiere para su ejecución exitosa de la cooperación de dos o más disciplinas, es decir, el CMM es una metodología esencialmente interdisciplinaria. En efecto,

i) La comprensión del problema del mundo real requiere de al menos una disciplina no matemática. Una comprensión profunda del fenómeno a modelar es esencial para lograr un buen modelo matemático. En esta etapa la matemática debe recibir información relevante desde otras disciplinas. La formulación del modelo matemático es, quizás, la etapa más interdisciplinaria del CMM.

ii) La matemática es otra disciplina involucrada. Desde la perspectiva del ingeniero la matemática es una disciplina de apoyo, lo cual podría requerir de él la capacidad de interactuar con licenciados, profesores o ingenieros matemáticos. En general, la formación en ciencias básicas presentes en la malla curricular, deberían también desarrollar en el ingeniero la capacidad de colaborar profesionalmente con físicos, químicos, biólogos, y matemáticos.

iii) La resolución del modelo matemático requiere usualmente de herramientas computacionales e informáticas. Este es otro ámbito de cooperación con otras disciplinas, especialmente, informáticas y computacionales.

iv) La validación del modelo matemático no sólo pasa por aspectos científicos, sino que también resulta relevante el impacto de la implementación del modelo sobre el contexto que le dió origen, tal como podría ser el impacto social de una eventual solución.

v) Finalmente, la implementación del modelo matemático ya validado requiere por sí sola la colaboración interdisciplinaria.

El ingeniero no sólo debería ser capaz de construir un modelo matemático idóneo, como uno de sus recursos cuantitativos, para resolver un problema, sino que también debería ser capaz de evaluar el impacto, por ejemplo social, de las decisiones que se basarán en esta herramienta. Vemos, por tanto, que aquí también se abre una puerta de colaboración con las humanidades, y otras áreas del saber social.

En síntesis, la experiencia de aprendizaje creada por la ejecución de al menos una iteración del CMM en ambientes realistas de ingeniería posee el enorme potencial de contribuir a que el futuro ingeniero adquiriera la competencia de identificar y apoyarse colaborativamente en los saberes propios de otras disciplinas.

RESULTADOS

i) La práctica docente actualmente imperante en la mayoría de las aulas chilenas de ingeniería no permite aseverar que las asignaturas de matemática contribuyen significativamente a su formación interdisciplinaria.

ii) El ciclo de modelación matemática es una metodología de enseñanza y aprendizaje que por su propia estructura y diseño posee el potencial de contribuir significativamente a la formación interdisciplinaria del ingeniero.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha considerado el problema de evaluar la ubicación y rol de la matemática en las mallas curriculares de ingeniería en Chile en relación a su contribución a la formación interdisciplinaria del ingeniero. Se constata que los cursos tradicionales de matemática no consideran lo interdisciplinario como un factor relevante. En este sentido se propone la incorporación del ciclo de modelado matemático a las asignaturas de matemática como una estrategia de enseñanza y aprendizaje eficaz que obliga a una colaboración real con otras disciplinas distintas de la matemática.

Como continuación de este trabajo se proyecta la construcción de rúbricas que permitan evaluar *en aula* de manera objetiva la contribución del ciclo de modelación matemática a la formación interdisciplinaria del ingeniero.

AGRADECIMIENTOS

EC agradece al Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad Católica de Temuco por el apoyo parcial dado a este estudio.

REFERENCIAS

S.Banerjee, *Mathematical modeling: Models, Analysis and Applications*, Chapman and Hall, 1st Edition, 2014.

M.Brito-Vallina, I.Alemán-Romero, E.Fraga-Guerra, J.Para-García, R.Arias-de Tapia, *Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros*, Ingeniería Mecánica, 14(2), 2011.

R.Frodeman, J.Klein, R.Pacheco, *The Oxford Handbook of Interdisciplinary (Oxford Handbooks)*, Oxford University Press, 2nd Edition, 2017.

F.Giordano, W.Fox, S.Horton, *A First Course in Mathematical Modeling*, Cengage Learning, 5th Edition, 2013.

H.Román, H.Torres-Silva, *Matemática e ingeniería: nuevas conexiones*, *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 15(2), pp.216-217, 2007.

R.Schmal, A.Ruiz-Tagle, *Una metodología para el diseño de un currículo orientado a las competencias*, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 16(1), pp.147-158, 2008.

S.Wineburg, P.Grossman, *Interdisciplinary curriculum: Challenges to Implementation*, Teachers College Press, 1st Edition, 2000.

MAGÍSTER EN MATEMÁTICAS APLICADAS (PROFESIONAL) DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO: UN CASO DE FORMACIÓN CONTINUA INTERDISCIPLINARIA DE POSGRADO

Data de submissão: 29/08/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Emilio Cariaga López

Departamento de Ciencias Matemáticas
y Físicas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Católica de Temuco

RESUMEN: En este trabajo se considera el problema que consiste en determinar las características que debería reunir un programa de formación terciaria del tipo magister para dar continuidad a la formación interdisciplinaria de un ingeniero. La metodología utilizada es de tipo cualitativa, basada en un estudio de casos. Específicamente, se considera como único caso el programa de Magíster en Matemáticas Aplicadas (Profesional) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Temuco, el cual inició sus actividades docentes en marzo del año 2014, contando a la fecha con tres versiones, y graduado seis estudiantes, de los cuales tres son ingenieros, y tres profesores de matemática. Se constata que el marco conceptual en el cual está fundado este posgrado es el ciclo de modelación matemática, el cual por sí solo posee la idoneidad técnica para promover competencias profesionales avanzadas en

relación al pregrado, además de requerir, por su propia definición el concurso cooperativo de dos o más disciplinas distintas de la ingeniería. Se concluye el ciclo de modelación matemática posee la virtud de contribuir a la formación disciplinaria del ingeniero tanto a nivel de pregrado como de posgrado, en donde el posgrado examinado es un caso relevante a nivel país.

PALABRAS CLAVE: Magíster, interdisciplinario, matemática, ciclo de modelación matemática, formación continua.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Acreditación en CNA-Chile (2013) define que los programas de Magíster, en general, corresponden a “estudios de nivel avanzado que procuran el desarrollo de competencias analíticas, sintéticas, de abstracción y de aplicación práctica”, reconociendo, además, el carácter académico, de investigación, o profesional al que este puede optar. Específicamente, un magíster profesional, según CNA-Chile (2013), se caracteriza por “poseer una

orientación hacia la profundización, especialización, aplicación o práctica en el área de estudios...”.

El Magíster en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco (en adelante MMA-UCT) es un posgrado de carácter profesional, según lo define CNA-Chile (2013). Por otro lado, como se sabe, no existe una definición universalmente aceptada sobre lo que se entiende por “Matemática(s) Aplicada(s)”. Sin embargo, podemos aseverar que el sentido de su uso por parte del MMA-UCT se corresponde con diversas fuentes internacionales, tales como Lin (1976), SIAM (2008), y Wilson (2009), por citar sólo algunos ejemplos. En particular, en una referencia ya clásica como Lin (1976) se asevera que la Matemática Aplicada es

“Una disciplina que se ubica entre las ciencias empíricas y la matemática pura, y que se caracteriza por una actitud y una forma de pensar propias”.

El objetivo del MMA-UCT es formar graduados de un alto nivel profesional que posean las competencias para aplicar la matemática al análisis cuantitativo de sistemas y procesos complejos en el ámbito de la mecánica de fluidos computacional.

En Chile, a la fecha según CNA-Chile (2016), existen 9 programas de magíster acreditados en matemática, y 2 en didáctica de la matemática. De estos 9 posgrados sólo 1 tiene objetivos declarados en el ámbito de la matemática aplicada (Región del Bio-Bio). Por lo tanto, el MMA- UCT nace con la vocación de satisfacer esta demanda formativa desde la Región de la Araucanía al sur de Chile.

En este trabajo se consideran las capacidades potenciales de formación interdisciplinaria del MMA-UCT.

DESARROLLO

En lo que sigue se describe el ciclo de modelación matemática y se argumenta en favor de su capacidad intrínseca de requerir el concurso colaborativo de otras disciplinas distintas de la matemática, esto es, se discute su carácter interdisciplinario. Luego se presenta la estructura curricular del Magister en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco la cual está fundamentada en el ciclo de modelación matemática. Finalmente, se relaciona esta oferta de posgrado con el curriculum de pregrado, esto en un contexto del continuo educativo.

El Ciclo de Modelación Matemática

El ciclo de modelación matemática (CMM en adelante) es la metodología usual a la que recurre el método científico cuando el objetivo de la investigación es obtener una representación o caracterización matemática de una realidad medible, siendo ampliamente utilizado en prácticamente todas las áreas del saber (Banerjee, 2014; Giordano et al., 2013).

El CMM es esencialmente iterativo en el sentido de que su objetivo no es obtener el modelo matemático definitivo o final sino construir una primera aproximación, para luego evaluar caminos de mejora los cuales pueden referirse a aspectos no necesariamente matemáticos. El CMM está constituido por cuatro procesos base: formular, resolver, interpretar y validar, los cuales pueden no ser disjuntos (ver figura 1). En efecto,

i) El primer proceso consiste en *formular* un modelo matemático a partir de la observación de una realidad medible, esto es, de una realidad desde la cual se puedan obtener datos experimentales. La formulación en sí misma requiere la participación de expertos de otras áreas distintas a la matemática, de tal modo que es aquí justamente en donde la matemática conversa de manera colaborativa con otras áreas del saber. Un término asociado a este proceso es la *matematización*, esto es, transformar el fenómeno a modelar en un objeto formulado con el lenguaje y protocolos técnicos propios de la matemática. Mecanismos usuales considerados en la obtención del modelo matemático: la detección de regularidades en los datos experimentales, la aplicación de las leyes clásicas de conservación, ajustar una expresión funcional determinística o aleatoria, etc...

ii) Por *modelo matemático* nos referimos a cualquier objeto propio de la matemática en cuanto sea una representación de una realidad observable. Números, objetos geométricos, funciones, ecuaciones diferenciales, distribuciones de probabilidad, series de tiempo, redes neuronales, etc... son algunos ejemplos de modelos matemáticos.

iii) Una vez formulado el modelo matemático el CMM se ubica en el ámbito de una idealidad matemática y por lo tanto comienzan a operar metodologías propias de la matemática, cuyo principal objetivo es *resolver* el modelo matemático, lo cual, por ejemplo, puede significar calcular, o aproximar una o varias incógnitas, estimar uno o varios parámetros presentes en una expresión funcional, etc... En la resolución de un modelo matemático se distinguen métodos analíticos, numéricos o cualitativos.

iv) Una vez que el modelo matemático se ha resuelto en algún sentido, el siguiente proceso consiste en *validarlo* para lo cual se cuantifica su grado de representatividad comparando la solución matemática con los datos experimentales disponibles. Sólo una vez que el modelo matemático ha sido validado se puede utilizar para mejorar la comprensión del fenómeno que le dió origen, y eventualmente para fines predictivos.

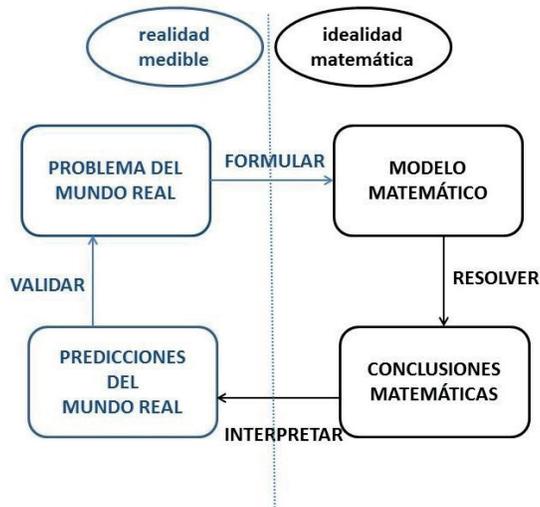


Figura 1. Ciclo de Modelación Matemática (Fuente: elaboración propia).

Por su propia construcción el CMM requiere para su ejecución exitosa de la cooperación de dos o más disciplinas, es decir, el CMM es una metodología esencialmente interdisciplinaria. En efecto,

- i) La comprensión del problema del mundo real requiere de al menos una disciplina no matemática. Una comprensión profunda del fenómeno a modelar es esencial para lograr un buen modelo matemático. En esta etapa la matemática debe recibir información relevante desde otras disciplinas. La formulación del modelo matemático es, quizás, la etapa más interdisciplinaria del CMM.
- ii) La matemática es otra disciplina involucrada. Desde la perspectiva del ingeniero la matemática es una disciplina de apoyo, lo cual podría requerir de él la capacidad de interactuar con licenciados, profesores o ingenieros matemáticos. En general, la formación en ciencias básicas presentes en la malla curricular, deberían también desarrollar en el ingeniero la capacidad de colaborar profesionalmente con físicos, químicos, biólogos, y matemáticos.
- iii) La resolución del modelo matemático requiere usualmente de herramientas computacionales e informáticas. Este es otro ámbito de cooperación con otras disciplinas, especialmente, informáticas y computacionales.
- iv) La validación del modelo matemático no sólo pasa por aspectos científicos, sino que también resulta relevante el impacto de la implementación del modelo sobre el contexto que le dió origen, tal como podría ser el impacto social de una eventual solución.
- v) Finalmente, la implementación del modelo matemático ya validado requiere por sí sola la colaboración interdisciplinaria.

El ingeniero no sólo debería ser capaz de construir un modelo matemático idóneo,

como uno de sus recursos cuantitativos, para resolver un problema, sino que también debería ser capaz de evaluar el impacto, por ejemplo social, de las decisiones que se basarán en esta herramienta. Vemos, por tanto, que aquí también se abre una puerta de colaboración con las humanidades, y otras áreas del saber social.

En síntesis, la experiencia de aprendizaje creada por la ejecución de al menos una iteración del CMM en ambientes realistas de ingeniería posee el enorme potencial de contribuir a que el futuro ingeniero adquiriera la competencia de identificar y apoyarse colaborativamente en los saberes propios de otras disciplinas.

En la siguiente sección se presenta un caso de implementación del CMM en la estructura curricular de un magíster profesional idóneo para ingenieros de distintas especialidades.

Estructura Curricular

El MMA-UCT traduce su objetivo declarado al ámbito curricular utilizando el CMM como parte del método científico, cuando éste es aplicado al estudio cuantitativo de fenómenos continuos. Aceptando el axioma de que cualquier área de la matemática posee aplicaciones conocidas, o aún no conocidas, el MMA-UCT ha optado por las ecuaciones diferenciales (ordinarias y parciales) como principal modelo matemático en el contexto del CMM. Esta decisión explica las cuatro líneas de especialización del MMA-UCT: Ecuaciones Diferenciales (Línea 1), Análisis Numérico (Línea 2), Fenómenos de Transporte (Línea 3), y Simulación Computacional (Línea 4), las cuales se traducen en la malla curricular descrita en la Tabla 1, en donde se especifica el número de créditos SCT (Sistema de Créditos Transferibles). La Línea 4 (Simulación Computacional) no posee una expresión explícita en los cursos, pues está incorporada al interior de cada curso de manera transversal. Por otro lado, la Actividad Formativa Equivalente corresponde a la nomenclatura actualmente en uso al interior de la Universidad Católica de Temuco para denotar la actividad final de graduación, que para la CNA-Chile (2013) puede ser un “proyecto, tesina, informe o artículo de estudio o experiencia aplicada”. El MMA-UCT considera *grosso modo* un Informe Técnico como actividad de graduación, culminando con un Examen de Grado público. El MMA-UCT posee 60 SCT según lo prescribe CNA-Chile (2013). Finalmente, mencionar que para el Optativo y el Seminario mencionados en Tabla 1 se ofrecen 4 opciones según las 4 líneas definidas previamente.

SEMESTRE 1	SEMESTRE 2	SEMESTRE 3
Ecuaciones Diferenciales 1 [6SCT]	Ecuaciones Diferenciales 2 [6SCT]	Actividad Formativa Equivalente[20 SCT]
Análisis Numérico 1 [4SCT]	Análisis Numérico 2 [4SCT]	Seminario [4SCT]
Fenómenos de Transporte 1 [4SCT]	Fenómenos de Transporte 2 [4SCT]	
Cálculo Avanzado [4SCT]	Optativo [4SCT]	TOTAL SCT: 60.

Tabla 1: Malla Curricular MMA-UCT con número de créditos SCT (Sistema de Créditos Transferibles).

Continuo Educativo

Una visita a los sitios web de las carreras de ingeniería de las principales universidades de Chile permite examinar las respectivas mallas curriculares, y constatar que en todas ellas existe un conjunto de asignaturas en el área del Cálculo con diferentes nombres y distribución de contenidos. Por otro lado, y con menor frecuencia, se observa un curso en las áreas de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias y/o Métodos Numéricos. Por lo tanto, resulta evidente que una propuesta de posgrado del tipo MMA-UCT aporta al continuo educativo del ingeniero en los siguientes aspectos:

- (i) complementa la formación disciplinaria en el ámbito del Cálculo y sus aplicaciones, incluyendo un tratamiento avanzado de las soluciones analíticas de las ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales,
- (ii) complementa la formación disciplinaria en el ámbito de los métodos numéricos, con énfasis en la solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales,
- (iii) complementa la formación en física aplicada, en el ámbito de los fenómenos de transporte,
- (iv) complementa la formación en cuanto a habilidades del uso de recursos computacionales avanzados,
- (v) integra los saberes mencionados en los puntos anteriores en una actividad de graduación final centrada en el CMM,
- (vi) amplía capacidades de trabajo interdisciplinario del pregrado.

El ingeniero graduado del MMA-UCT amplía significativamente su campo laboral toda vez que ha adquirido, entre otras, las competencias necesarias para ejercer docencia de pregrado en carreras científico-tecnológicas, tales como ingenierías civiles de distintas especialidades, pudiendo dictar cursos de ecuaciones diferenciales y/o métodos numéricos para los cuales existen pocos especialistas desde la Región de la Araucanía al sur.

RESULTADOS

El MMA-UCT cuenta con tres versiones a la fecha. La primera versión (2014-2015) matriculó a 8 estudiantes (6 profesores de matemática y 2 ingenieros), la segunda versión

(2015-2016) matriculó a 9 estudiantes (4 profesores de matemática y 5 ingenieros), la tercera versión (2017- 2018) matriculó a 10 estudiantes (5 profesores de matemática, 4 ingenieros, y 1 licenciado en matemática). Durante el año 2017 el MMA-UCT se encuentra en proceso de autoevaluación con el propósito de obtener la acreditación por parte de CNA-Chile.

El cuerpo académico está compuesto por 11 académicos investigadores activos a tiempo completo, de los cuales 6 pertenecen al Departamento de Ciencias Matemáticas y Físicas, 3 a la Escuela de Ingeniería Informática, y 2 a la Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales. Todos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería. Evidentemente el cuerpo docente es interdisciplinario.

A la fecha el MMA-UCT ha graduado 6 profesionales de los cuales 3 son ingenieros (1 mecánico y 2 industriales). Evidentemente, los 3 ingenieros graduados han ampliado sus capacidades de trabajo interdisciplinario, lo cual se puede fundamentar con el perfil de egreso definido en base a los procesos que definen el CMM.

El CMM posee la capacidad de contribuir a la formación interdisciplinaria del ingeniero, tanto a nivel de pregrado, como de posgrado.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han revisado los fundamentos conceptuales del Magíster en Matemáticas Aplicadas de la Universidad Católica de Temuco, en relación a la formación continua del ingeniero egresado de las universidades chilenas. Esta revisión teórica, se basa en la experiencia acumulada en tres versiones, y en el proceso de autoevaluación ejecutado durante el periodo 2016-2017.

Proyectamos este informe con la construcción de instrumentos validados que nos permitan observar cómo evolucionan en el tiempo distintas habilidades de pre y posgrado en un conjunto de estudiantes a los cuales se pueda seguir desde el ingreso a la universidad hasta su graduación del posgrado.

Finalmente, consideramos que este reporte contribuye a evaluar en qué medida la actual oferta de posgrado en Chile, a nivel de magíster, está contribuyendo efectivamente al continuo educativo del ingeniero. En particular, en el ámbito interdisciplinario. En este sentido el MMA- UCT amplía la tradicional oferta de posgrado en matemática pura hacia la matemática aplicada, y con carácter profesional.

REFERENCIAS

S.Banerjee, Mathematical modeling: Models, Analysis and Applications, Chapman and Hall, 1st Edition, 2014.

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile (2013). Aprueba criterios para la acreditación de programas de posgrados, Resolución exenta DJ N° 006-4.

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile (2016), Recuperado de <https://www.cnachile.cl/>

F.Giordano, W.Fox, S.Horton, A First Course in Mathematical Modeling, Cengage Learning, 5th Edition, 2013.

Lin, C.C. (1976). On the role of applied mathematics. *Advances in Mathematics*, 19, 267-288.

Society for Industrial and Applied Mathematics SIAM (2008). Careers in applied mathematics...alternatives to academia for STEM majors. Recuperado de <http://www.siam.org/>

Kaiser, G., & Sriraman, B. (2006). A global survey of international perspectives on modelling in mathematical education, *ZDM Mathematics Education*, 38(3), 302-310.

Wilson, D.P. (2009). Mathematics is applied by everyone except by applied mathematicians.

PROPUESTA DE UN HOGAR INTELIGENTE BASADA EN LÓGICA DIFUSA

Data de submissão: 04/10/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Adriana Pupo Ulloa

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0009-0007-5082-4103>

Marco Antonio Hernández Vargas

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Instituto Internacional de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0000-0002-8146-9307>

Laura Cecilia Rodríguez Martínez

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0000-0002-5355-642X>

Francisco Javier Luna Rosas

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0000-0001-6821-4046>

Julio César Martínez Romo

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0000-0001-6242-5248>

Mario Alberto Rodríguez Díaz

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0000-0001-9871-0729>

César Dunay Acevedo Arreola

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Instituto Internacional de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0009-0001-9370-2997>

Miguel Ortíz Martínez

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes – México
<https://orcid.org/0009-0004-5440-5182>

Héctor Jesús Macías Figueroa

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Instituto Internacional de Aguascalientes
<https://orcid.org/0009-0001-3309-1899>

Roberto Aguilera

Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Aguascalientes
Instituto Internacional de Aguascalientes
<https://orcid.org/0009-0008-0259-0119>

RESUMEN: Este trabajo investigativo explora una solución avanzada en la automatización de hogares inteligentes, empleando una Raspberry Pi 4B como servidor central y operando mediante Home Assistant, una plataforma de automatización de código abierto. La investigación tiene como objetivo desarrollar una interfaz de gestión eficiente para dispositivos domésticos, utilizando tecnología ZigBee para su integración energéticamente eficiente. Con especial atención en la regulación de la temperatura, el monitoreo de fugas de gas y la seguridad, la metodología emplea Lógica Difusa para el tratamiento avanzado de los datos sensoriales y una actuación precisa sobre los actuadores. La implementación de este sistema busca demostrar una operatividad adaptativa y una mayor personalización en la automatización de hogares, proporcionando una solución accesible y de bajo costo que mejora la autonomía y el confort. Las conclusiones resaltan la efectividad del enfoque propuesto, evidenciando su aplicabilidad y subrayando el potencial de las tecnologías abiertas en la superación de barreras en la automatización tradicional.

PALABRAS-CLAVE: Internet de las Cosas, Hogar Inteligente, Inteligencia Artificial, Home Assistant, ZigBee.

SMART HOME PROPOSAL BASED ON FUZZY LOGIC

ABSTRACT: This investigative work explores an advanced solution in smart home automation, employing a Raspberry Pi 4B as the central server and operating through Home Assistant, an open-source home automation platform. The research aims to develop an efficient management interface for household devices, using ZigBee technology for energy-efficient integration. With a special focus on temperature regulation, gas leak monitoring, and security, the methodology employs Fuzzy Logic for advanced processing of sensory data and precise action on actuators. The implementation of this system seeks to demonstrate adaptive operability and greater customization in home automation, providing an accessible and low-cost solution that improves autonomy and comfort. The conclusions highlight the effectiveness of the proposed approach, evidencing its applicability and underscoring the potential of open technologies in overcoming barriers in traditional automation.

KEYWORDS: Internet of Things, Smart Home, Artificial Intelligence, Home Assistant, ZigBee.

1 | INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo tecnológico ha revolucionado varias esferas de la vida humana, transformando nuestra manera de interactuar con el entorno. Una de estas transformaciones ha sido la conceptualización e implementación de lo que conocemos como hogares inteligentes. Estos utilizan sistemas de automatización y dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) para simplificar las tareas diarias y mejorar la calidad de vida de sus ocupantes (Noura, Atiqzaman, & Gaedke, 2019). El uso de tecnologías inteligentes como sensores, actuadores e inteligencia artificial (IA) en hogares, edificios o entornos puede afectar positivamente la calidad de vida, el bienestar, la productividad, el ahorro de energía y la seguridad. El término “inteligente” se está convirtiendo en una tendencia para mejorar el entorno construido, incluyendo el hogar, el edificio, el transporte, la construcción y la ciudad

(Sepasgozar et al., 2020). Por este motivo el Internet of Things (IoT) representa un mundo en el que miles de millones de objetos pueden percibir, comunicar y compartir información a través de interconexiones en redes públicas o privadas utilizando el Protocolo de Internet (IP) (Cook, 2004, pp. 623-626).



Figura 1. Entorno de Hogar Inteligente (Diseño Propio).

Para lograr precisamente esta interconexión entre dispositivos y la autonomía del ambiente creado por ellos, la inteligencia artificial juega un papel fundamental. Esto implica no solo entender cómo funciona la inteligencia, sino también diseñar y programar sistemas que puedan aprender y mejorar su desempeño a lo largo del tiempo. La IA es una disciplina que tiene como objetivo emular la inteligencia humana en máquinas y sistemas informáticos, y es relevante para cualquier tarea que requiera habilidades cognitivas o intelectuales (Russell & Norvig, 2021). Entre las técnicas más comunes de inteligencia artificial se pueden encontrar la Lógica Difusa. Esta se utiliza ampliamente en aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) debido a su capacidad para modelar sistemas complejos con incertidumbre y variabilidad en los datos de entrada. Se enfoca en el razonamiento impreciso, la incertidumbre y en el uso de conjuntos difusos, que permiten representar conceptos vagos o ambiguos. Se emplea en una variedad de aplicaciones como sistemas de control automático, reconocimiento de patrones, toma de decisiones y análisis de datos. Algunos ejemplos de aplicaciones prácticas de la Lógica Difusa incluyen el control de temperatura de un horno, la detección de colisiones en un automóvil autónomo y la evaluación del riesgo

crediticio en la industria financiera (Zimmermann, 2011). En el contexto de IoT, la Lógica Difusa se emplea principalmente para tomar decisiones y controlar procesos en tiempo real, tales como: control de iluminación y temperatura, monitoreo de la calidad del aire, control de tráfico, reconocimiento facial, entre muchos otros (Zadeh, 1965).

En México, se estima que en el año 2021 había 24.3 millones de hogares con acceso a internet, lo que equivale al 66.4% de todas las casas del país (INEGI, 2022). Además, durante el período comprendido entre el 2022 y 2023, se observó un notable crecimiento en las ventas de hardware doméstico inteligente, especialmente en dispositivos como cámaras de seguridad, interruptores, luminarias y cerraduras.

Este fenómeno de los hogares inteligentes está revolucionando la manera de vivir de los mexicanos, especialmente en las grandes urbes. Sin embargo, aunque se han logrado avances significativos en la implementación de soluciones inteligentes en diversos sectores, como la industria y servicios públicos, aún existe un vacío en el ámbito de la automatización residencial.

Con el objetivo de abordar esta problemática, la investigación se centra en el desarrollo de una propuesta de hogar inteligente basado en Lógica Difusa.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la propuesta de hogar inteligente se realizó siguiendo las normas ISO (ISO 9001 Procesos, s. f.). La figura que se presenta a continuación ilustra el resultado.

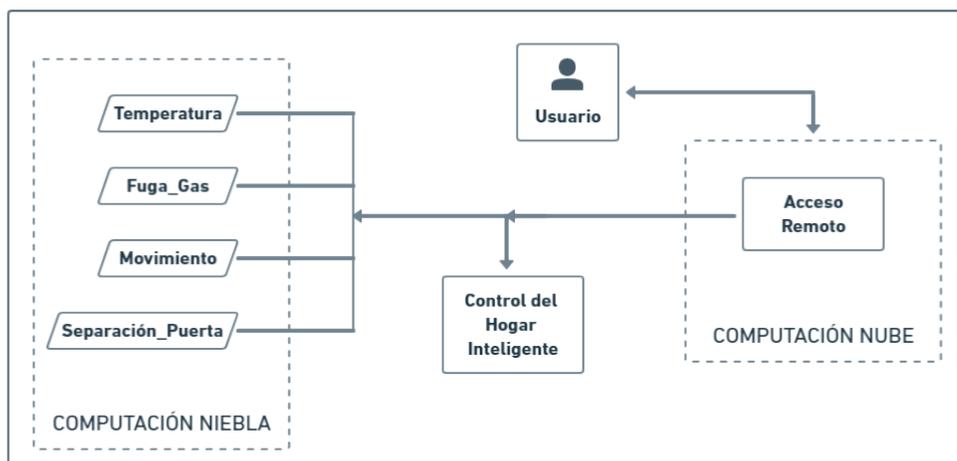


Figura 2. Arquitectura del Hogar Inteligente basado en ISO.

La arquitectura presentada estructura un Hogar Inteligente mediante procesos y subprocesos. Las “entradas” son las señales de los sensores, mientras que la “salida” corresponde a las acciones ejecutadas por el sistema del Hogar Inteligente, como la activación de una válvula de gas o el ajuste de la iluminación RGB. Estas operaciones

se enmarcan en el ámbito de la computación en la niebla y en la nube, interpretándose como los “recursos” a los que hace referencia la norma ISO. El componente de “Acceso Remoto” mediante la computación en la nube se alinea con la necesidad de procesos que satisfagan las demandas del cliente, representado aquí por el usuario que controla el sistema remotamente, lo cual es fundamental para la retroalimentación y mejora del mismo.

Conforme a la norma ISO, es crucial mapear los procesos y sus interrelaciones para garantizar que cada actividad aporte al propósito general del sistema de gestión de calidad. La arquitectura del Hogar Inteligente muestra un esquema procesal claro, donde la interacción entre los distintos elementos y su funcionamiento colectivo buscan el control eficiente y seguro del hogar.

En la siguiente imagen se presenta la arquitectura del hogar inteligente (al que llamaremos Casa), destacando la infraestructura y la comunicación entre los dispositivos.

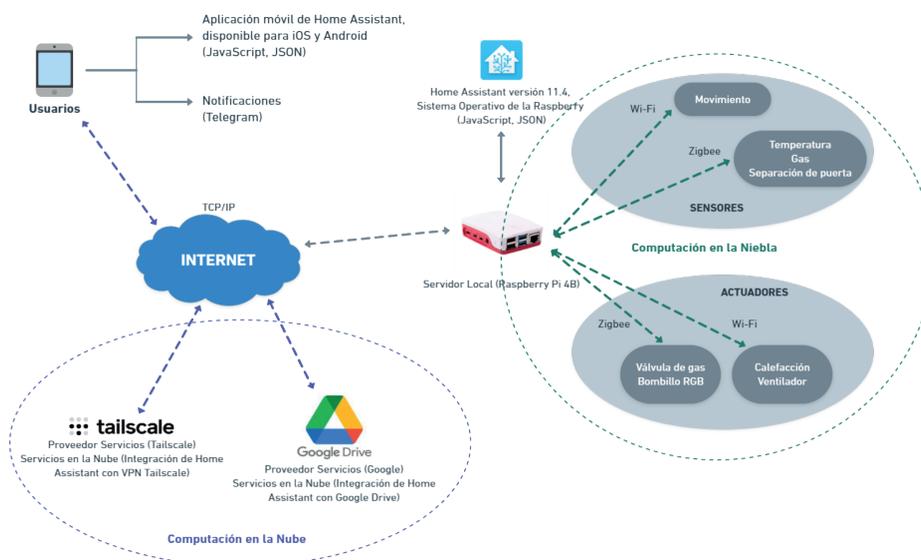


Figura 3. Arquitectura del Hogar Inteligente (Casa) basado en Lógica Difusa (Diseño propio).

En la parte central izquierda, se muestra una nube, simbolizando la conectividad a Internet y la capacidad de acceso remoto a la red doméstica. Se referencian los servicios en la Nube que propician las salvas diarias del sistema mediante la integración de Home Assistant con Google Drive, y el empleo de la VPN que posibilita la conexión remota por medio web y de aplicación móvil.

El servidor central, representado por una *Raspberry Pi 4B*, ejecuta el software de automatización *Home Assistant* como Sistema Operativo; además de hallarse conectado a una *Red Wi-Fi*, conformada por una cámara IP y dos enchufes inteligentes que controlan la Calefacción y el Ventilador, y a una *Red ZigBee*, compuesta por un sensor de temperatura, un sensor de separación de puerta, un sensor de gas, una válvula de gas y una bombilla

RGB, todos conectados a través de flechas bidireccionales punteadas, lo que sugiere la comunicación inalámbrica. El coordinador de la red ZigBee, que es el gateway necesario para conectar los dispositivos ZigBee a la Raspberry Pi (en este caso el coordinador *Sonoff ZigBee 3.0 USB Dongle Plus*), se encuentra conectado a ella, aunque no se ilustra en la imagen.

Finalmente, en la parte superior izquierda de la imagen, se muestra un teléfono inteligente que representa la aplicación con una interfaz de usuario. Esta aplicación permite monitorear y controlar la red doméstica y muestra indicadores como la temperatura y el estado actual de los dispositivos. Además, se utiliza Telegram como sistema de mensajería para enviar notificaciones sobre la operación del hogar, lo que facilita la comunicación inmediata y efectiva de cualquier evento relevante dentro del sistema de hogar inteligente.

Lógica Difusa en el sistema Casa:

El siguiente diagrama ilustra el esquema operativo del sistema de control de *Casa* basado en Lógica Difusa.

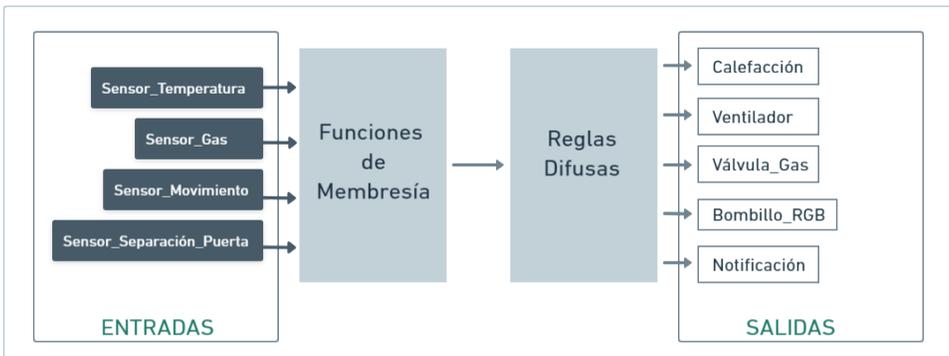


Figura 4. Sistema de control de Casa con Lógica Difusa incorporada.

Las entradas del sistema, representadas por diferentes sensores, se procesan mediante funciones de membresía para convertir datos reales en valores difusos. Estos valores alimentan un conjunto de reglas difusas que, a su vez, dictan las respuestas de los actuadores, así como la emisión de notificaciones. Este enfoque de control, detallado en el diagrama, a pesar de verse como un todo, en realidad, por la naturaleza de cada flujo de control en sí, se decidió dividir en tres subsistemas de control para una mejor configuración: *Temperatura*, *Control_Fuga_Gas* y *Detección_Intrusos*.

Simulación en Matlab:

MATLAB ofrece una Fuzzy Logic Toolbox específica que está diseñada para facilitar el trabajo con sistemas de Lógica Difusa. Esto permite diseñar, ajustar y simular sistemas

difusos de manera eficiente (MathWorks, n.d.). Por esta razón se eligió este software para reforzar la base conceptual de la propuesta.

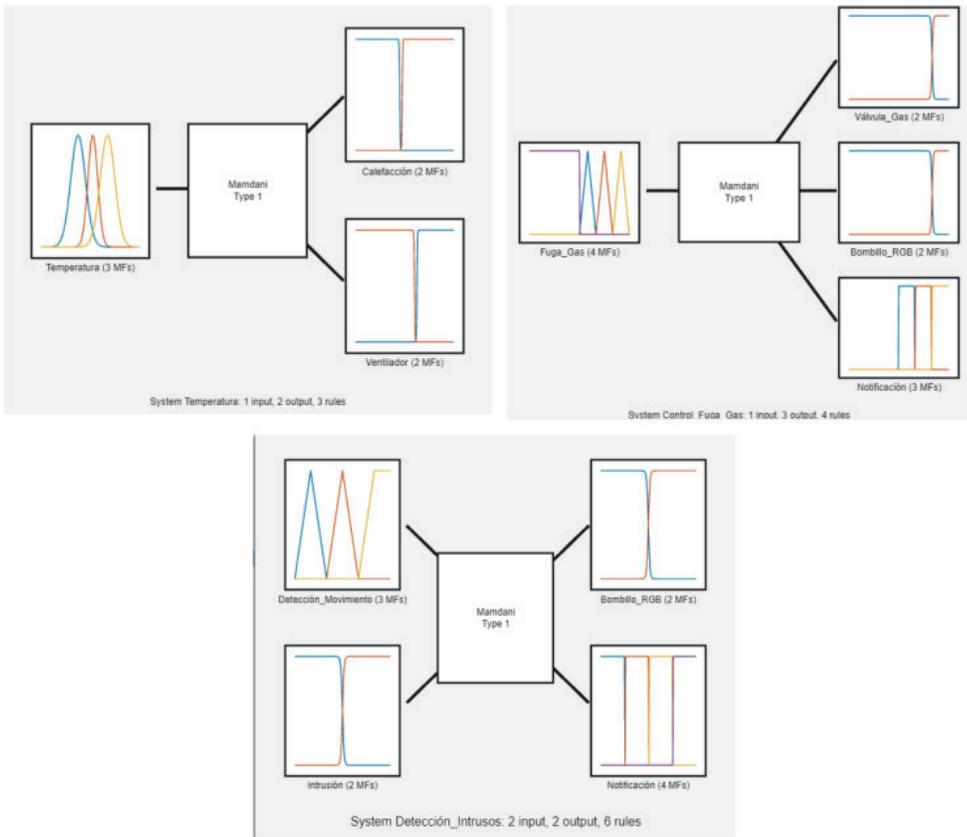


Figura 5. Vista (desde el Fuzzy Logic Designer de Matlab) de los tres subsistemas de control con Lógica Difusa incorporada.

Como se evidencia en la anterior ilustración, la implementación del sistema de control *Casa* en MATLAB se sustentó en la precisión de la Lógica Difusa, cuyo basamento matemático fue extraído del trabajo de Ross (2017). A continuación, se explica la elección de funciones de membresía específicas para cada subsistema:

Funciones Gaussianas: utilizadas para el control de temperatura, estas funciones se definen como:

$$G(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\theta^2}} \quad (1)$$

Donde:

x es la variable de entrada, el centro de la curva, y θ la desviación estándar.

Su perfil suave y simétrico es ideal para modelar la respuesta térmica, permitiendo una regulación fina que imita la dinámica natural del ambiente.

Funciones Trapezoidales: empleadas en las entradas del subsistema *Control_Fuga_Gas* y para modelar las salidas en términos de rangos temporales, estas funciones se caracterizan por la ecuación:

$$T(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (2)$$

Donde:

(a, b, c, d) definen los puntos clave de la forma trapezoidal.

Su utilidad se destaca en la definición de umbrales de acción, proporcionando claridad en los límites de operación.

Funciones Triangulares: en los subsistemas *Detección_Inrusos* y *Control_Fuga_Gas*, las funciones triangulares se utilizan para las entradas y se expresan como:

$$Tr(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (3)$$

Donde:

(a, b, c) son los vértices del triángulo.

Estas funciones son valiosas por su simplicidad y eficacia al representar estados claramente definidos con puntos de transición nítidos.

Funciones Sigmoidales: fueron elegidas para las salidas que requieren una decisión binaria, tales como encender o apagar un dispositivo, y se definen de la siguiente forma:

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-k(x-x_0)}} \quad (4)$$

Donde:

k es la pendiente de la curva y **x₀** el valor medio donde la función es 0.5.

Su forma en 'S' proporciona una transición clara entre los estados de 'on' y 'off', 'true' y 'false', esencial para decisiones inmediatas.

Tras la selección meticulosa de las funciones de membresía para cada subsistema en MATLAB, se optó por emplear el sistema de inferencia Mamdani en lugar del Sugeno. La elección del sistema Mamdani se debió a su capacidad para modelar decisiones humanas de forma intuitiva y su facilidad de interpretación, aspectos cruciales para un sistema destinado a automatizar un entorno de vida (MathWorks, n.d.). Muestra de esto son las siguientes imágenes:

	Rule
1	If (Temperatura is Baja) then (Calefacción is ON)(Ventilador is OFF) (1)
2	If (Temperatura is Confortable) then (Calefacción is OFF)(Ventilador is OFF) (1)
3	If (Temperatura is Alta) then (Calefacción is OFF)(Ventilador is ON) (1)

Figura 6. Conjunto de Reglas Difusas definidas en Matlab para *Temperatura*.

	Rule
1	If (Fuga_Gas is Nula) then (Válvula_Gas is Abierta)(Bombillo_RGB is Blanco) (1)
2	If (Fuga_Gas is Baja) then (Válvula_Gas is Abierta)(Bombillo_RGB is Blanco)(Notificación is Falsa_Alarma) (1)
3	If (Fuga_Gas is Moderada) then (Válvula_Gas is Abierta)(Bombillo_RGB is Blanco)(Notificación is Fuga_Moderada) (1)
4	If (Fuga_Gas is Alta) then (Válvula_Gas is Cerrada)(Bombillo_RGB is Rojo)(Notificación is Alerta_Crítica) (1)

Figura 7. Conjunto de Reglas Difusas definidas en Matlab para *Control_Fuga_Gas*.

	Rule
1	If (Detección_Movimiento is Bajo) and (Intrusión is True) then (Bombillo_RGB is Azul)(Notificación is Intrusión) (1)
2	If (Detección_Movimiento is Bajo) and (Intrusión is False) then (Bombillo_RGB is Blanco)(Notificación is Movimiento_Bajo) (1)
3	If (Detección_Movimiento is Moderado) and (Intrusión is True) then (Bombillo_RGB is Azul)(Notificación is Intrusión) (1)
4	If (Detección_Movimiento is Moderado) and (Intrusión is False) then (Bombillo_RGB is Blanco)(Notificación is Movimiento_Moderado) (1)
5	If (Detección_Movimiento is Alto) and (Intrusión is True) then (Bombillo_RGB is Azul)(Notificación is Intrusión) (1)
6	If (Detección_Movimiento is Alto) and (Intrusión is False) then (Bombillo_RGB is Azul)(Notificación is Movimiento_Elevado) (1)

Figura 8. Conjunto de Reglas Difusas definidas en Matlab para *Detección_Intrusos*.

Aunque Sugeno podría ofrecer ventajas en términos de eficiencia computacional y facilidad de implementación, Mamdani se alinea mejor con el objetivo de crear reglas que reflejen el razonamiento y las preferencias humanas, especialmente en aplicaciones domóticas donde las decisiones afectan directamente la comodidad y seguridad de los ocupantes (MathWorks, n.d.).

Esta simulación en MATLAB no solo validó la efectividad de las reglas de Lógica Difusa y las funciones de membresía seleccionadas, sino que también sirvió como una piedra angular para reforzar la base teórica del proyecto. Este proceso aseguró que la transición de la teoría a la práctica fuera sólida y coherente, estableciendo un puente hacia la implementación real del sistema *Casa* en el entorno de Home Assistant mediante Node-RED.

Implementación en Node-RED:

Node-RED, configurado como un complemento en Home Assistant, ofrece un entorno de programación visual que facilita la automatización del hogar mediante flujos compuestos por distintos nodos según las necesidades específicas. Esto permite una gestión flexible y dinámica de los dispositivos conectados, favoreciendo una interacción eficiente entre sensores y actuadores (Node-RED, n.d.). Para este proyecto, se diseñó un flujo dedicado a cada subsistema de control, asegurando así una gestión especializada, como se muestra en la siguiente imagen:

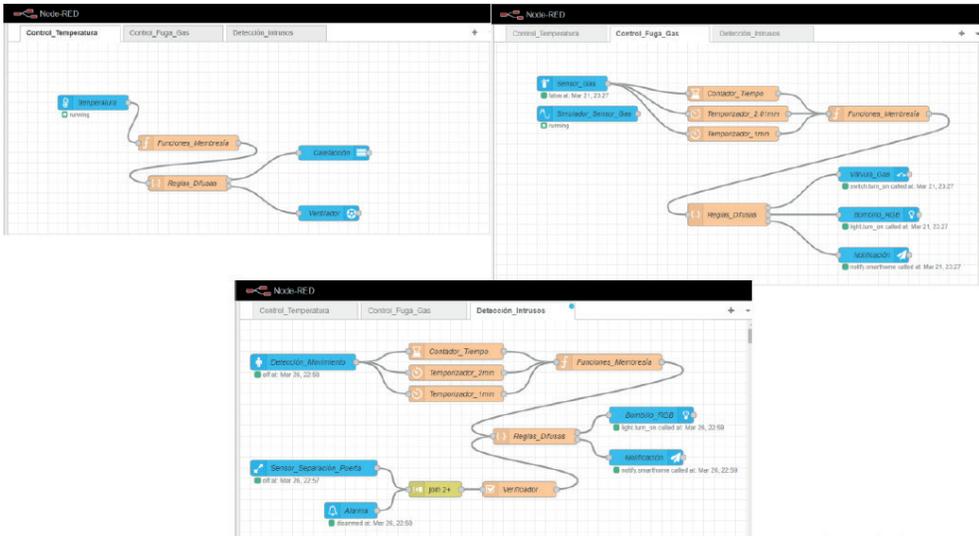


Figura 9. Vista (desde Node-RED en Home Assistant) de los tres subsistemas de control con Lógica Difusa incorporada.

Los nodos seleccionados para llevar a cabo dicha implementación fueron los siguientes:

Event: State: este nodo escucha los eventos y cambios de estado de todos los dispositivos conectados al sistema Home Assistant, siendo fundamental para capturar los datos de los sensores en tiempo real. Su capacidad para reaccionar ante variaciones específicas en los datos lo convierte en el pilar de la monitorización y el control automático.

Function: los nodos de función son utilizados para aplicar lógica personalizada, como la evaluación de las condiciones para *Reglas_Difusas*, *Funciones_Membresía*, *Contador* y *Temporizador*. Estos nodos permiten la programación de scripts, facilitando la manipulación directa de los datos de entrada y salida.

Join: este nodo es esencial para combinar datos provenientes de múltiples fuentes o sensores, como la integración de señales de activación de *Alarma* y *Sensor_Separación_Puerta*, permitiendo una gestión más compleja de las condiciones y eventos dentro del hogar.

Call Service: a través de estos nodos, se efectúan acciones directas sobre los dispositivos, como activar la *Calefacción*, apagar el *Ventilador*, cambiar el color del *Bombillo_RGB* o enviar *Notificaciones* vía Telegram. Representan la interfaz de comando que traduce las decisiones de la Lógica Difusa en interacciones físicas con el ambiente.

La configuración de estos nodos dentro de Node-RED se facilita mediante interfaces intuitivas que permiten definir comportamientos y lógicas complejas sin necesidad de escribir código desde cero. Sin embargo, para aquellos casos donde se requiere una lógica

más sofisticada, Node-RED permite la inserción de código JavaScript directamente en los nodos de función, proporcionando una flexibilidad sin precedentes en la personalización de las tareas de automatización (Node-RED, n.d.).

Interfaz de Usuario:

Home Assistant se posiciona como una plataforma líder en la automatización del hogar inteligente, destacándose por su naturaleza de código abierto y su capacidad para integrarse sin fisuras con una amplia gama de tecnologías y protocolos de comunicación. Esta versatilidad permite a los usuarios conectar dispositivos de diferentes fabricantes, creando un ecosistema de hogar inteligente altamente personalizable y eficiente. La interfaz de usuario de Home Assistant, conocida por su atractivo visual y su intuitiva navegabilidad, ofrece una experiencia de usuario excepcional, tanto en navegadores web como en sus aplicaciones dedicadas para Android y iOS (Home Assistant, n.d.).

Dentro de esta plataforma, los tableros de control se pueden personalizar completamente desde la cuenta de administrador, permitiendo a los usuarios definir y adaptar la interfaz a sus necesidades específicas. Ya sea para armar o desarmar un sistema de alarma, cambiar el color de una bombilla inteligente o monitorear diversos aspectos del hogar, Home Assistant facilita estas tareas a través de una interfaz web local interactiva (Home Assistant, n.d.).



Figura 10. Vista del inicio de sesión en la aplicación móvil.

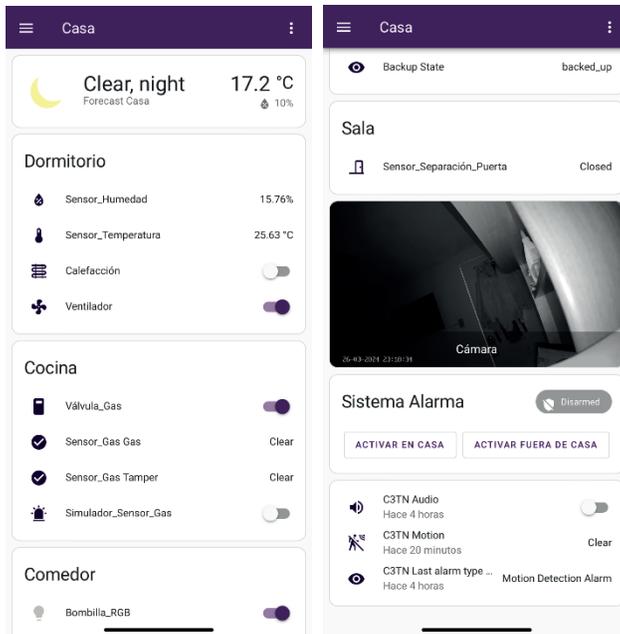


Figura 11. Vista del tablero Resumen en la aplicación móvil.

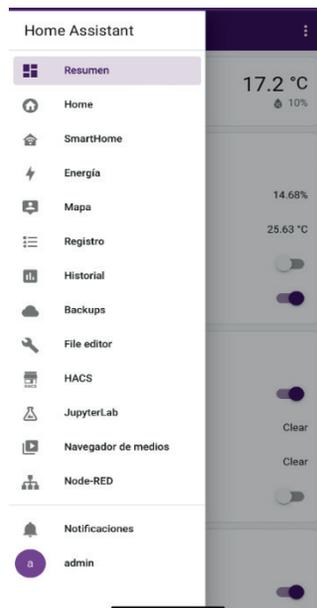


Figura 12. Vista de configuraciones y add-ons dentro de la cuenta admin en la aplicación móvil.

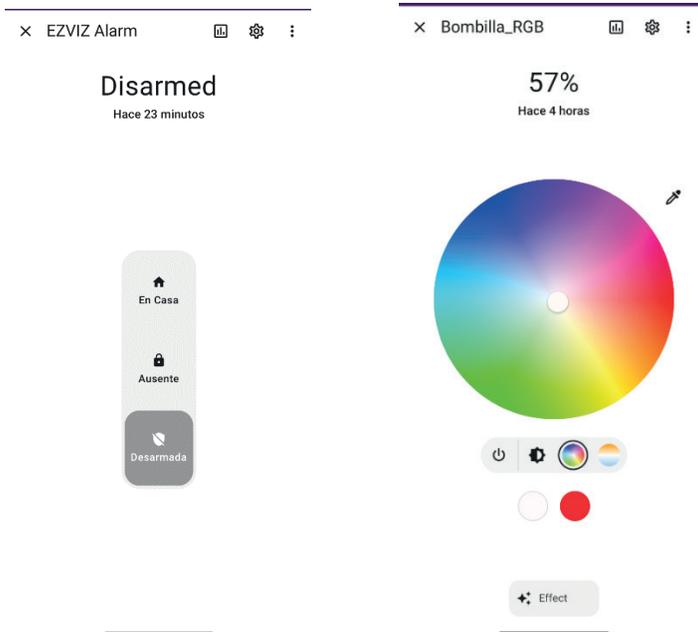


Figura 13. Vista del armado y desarmado de la alarma y configuración del bombillo RGB en la aplicación móvil.

Otro componente vital de este ecosistema inteligente es la integración con servicios de mensajería para la gestión de notificaciones. Un ejemplo palpable de esta funcionalidad es el uso del bot de Telegram, denominado *SmartHome*, diseñado específicamente para enviar alertas y actualizaciones críticas directamente a los usuarios. Este bot se convierte en un canal de comunicación esencial, especialmente para la gestión de eventos significativos como la detección de fugas de gas y la identificación de intrusos, asegurando que los ocupantes estén informados en tiempo real sobre las condiciones de seguridad de su hogar.

Las dos imágenes que se presentan a continuación ilustran la interacción con el bot *SmartHome* en Telegram, mostrando cómo los usuarios reciben notificaciones instantáneas ante situaciones de alerta.

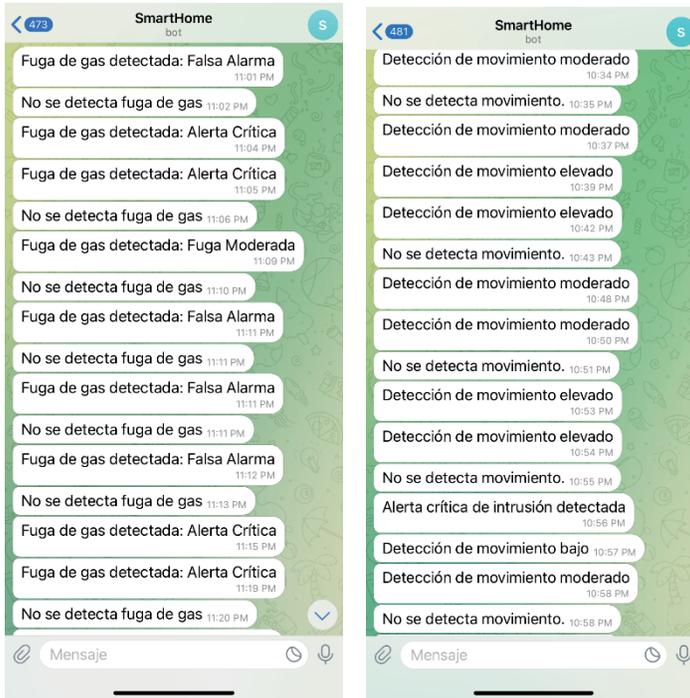


Figura 14. Interacción con el bot *SmartHome* en Telegram para los subsistemas *Control_Fuga_Gas* y *Detección_Intrusos*.

Este método de notificación complementa la experiencia de usuario al proporcionar un mecanismo de respuesta rápida frente a eventos críticos, permitiendo una gestión eficaz del entorno doméstico incluso a distancia.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la implementación práctica del sistema de automatización *Casa* basado en Lógica Difusa, surgió la necesidad de validar su eficacia. Con este objetivo en mente, se extrajeron tres conjuntos de datos específicos, correspondientes a los subsistemas de *Temperatura*, *Control_Fuga_Gas* y *Detección_Intrusos*. Estos datos no son meras suposiciones teóricas; se obtuvieron de lecturas reales de los sensores ubicados en el hogar, bajo escenarios simulados para recopilar información precisa. Con los datasets en mano, se observó el comportamiento del sistema implementado y se procedió a introducir la misma información en las versiones simuladas de MATLAB. Los resultados arrojaron correlaciones significativas entre las prácticas y simulaciones, evidenciadas en las distintas gráficas presentadas a continuación.

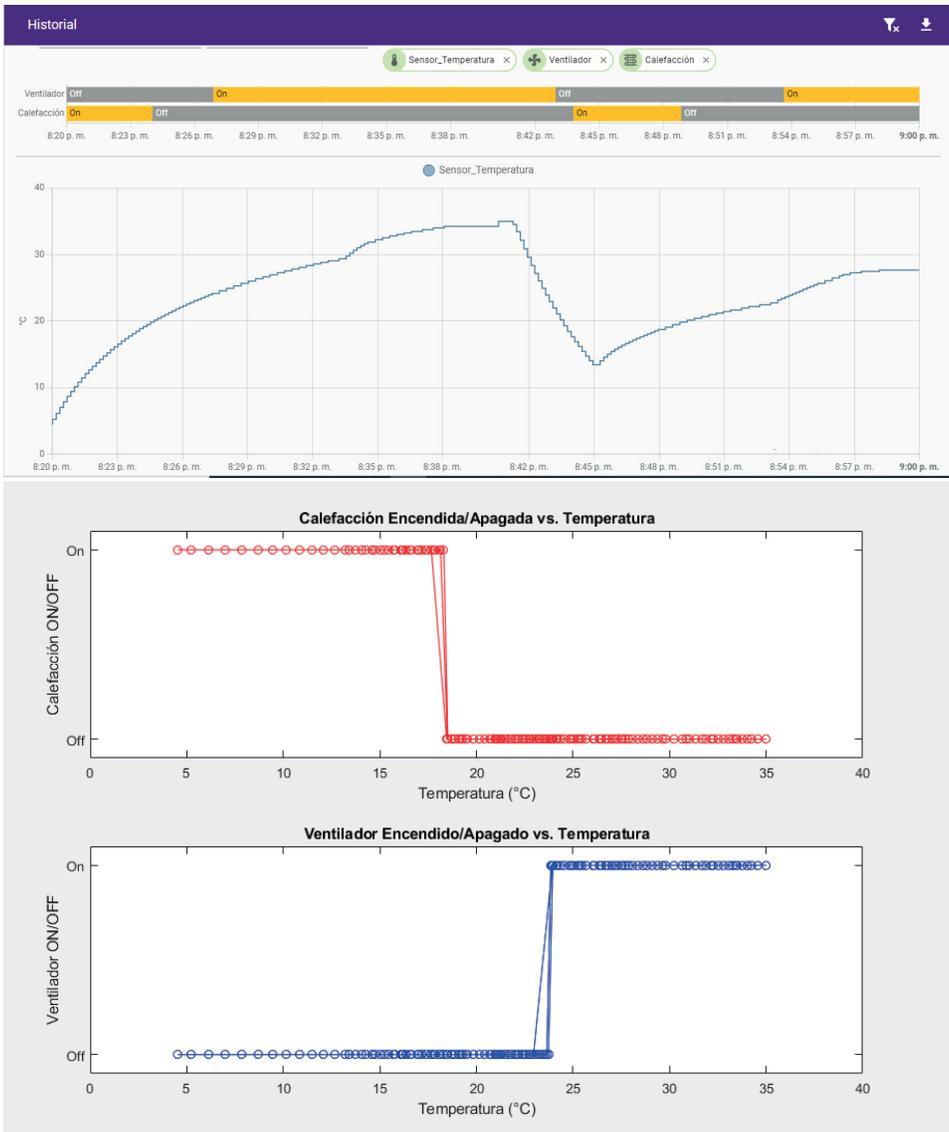


Figura 15. Comparación de resultados en el subsistema *Temperatura* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.



Figura 16. Comportamiento del subsistema *Temperatura* en la APP.

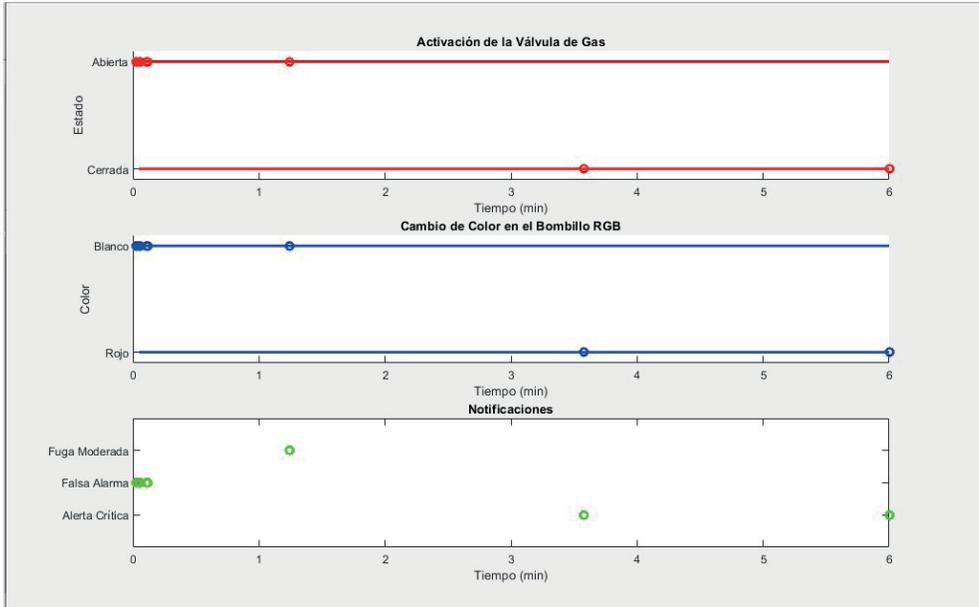
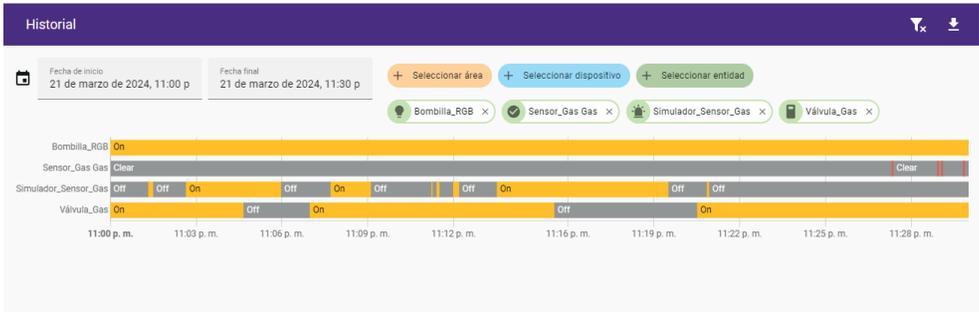


Figura 17. Comparación de resultados en el subsistema *Control_Fuga_Gas* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.

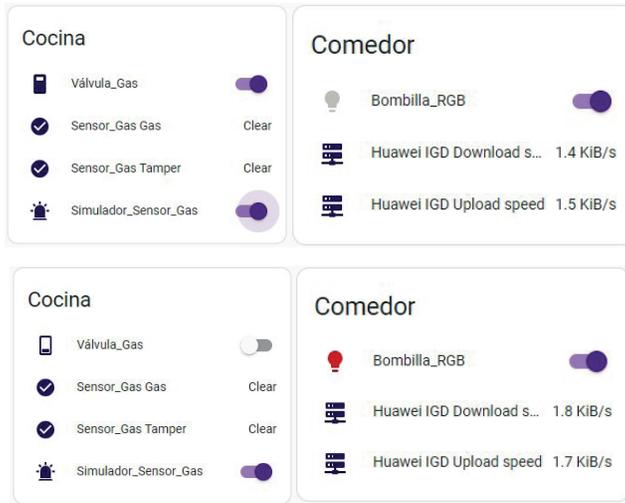


Figura 18. Comportamiento del subsistema *Control_Fuga_Gas* en la APP.

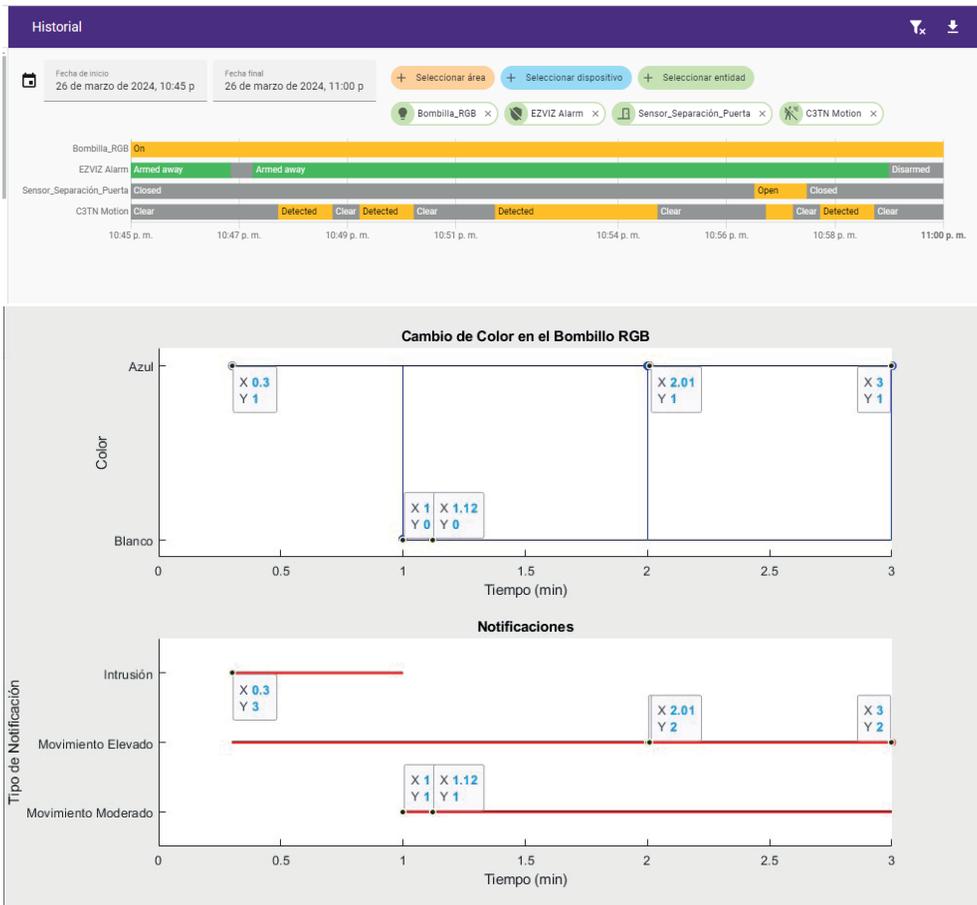


Figura 19. Comparación de resultados en el subsistema *Detección_Intrusos* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.

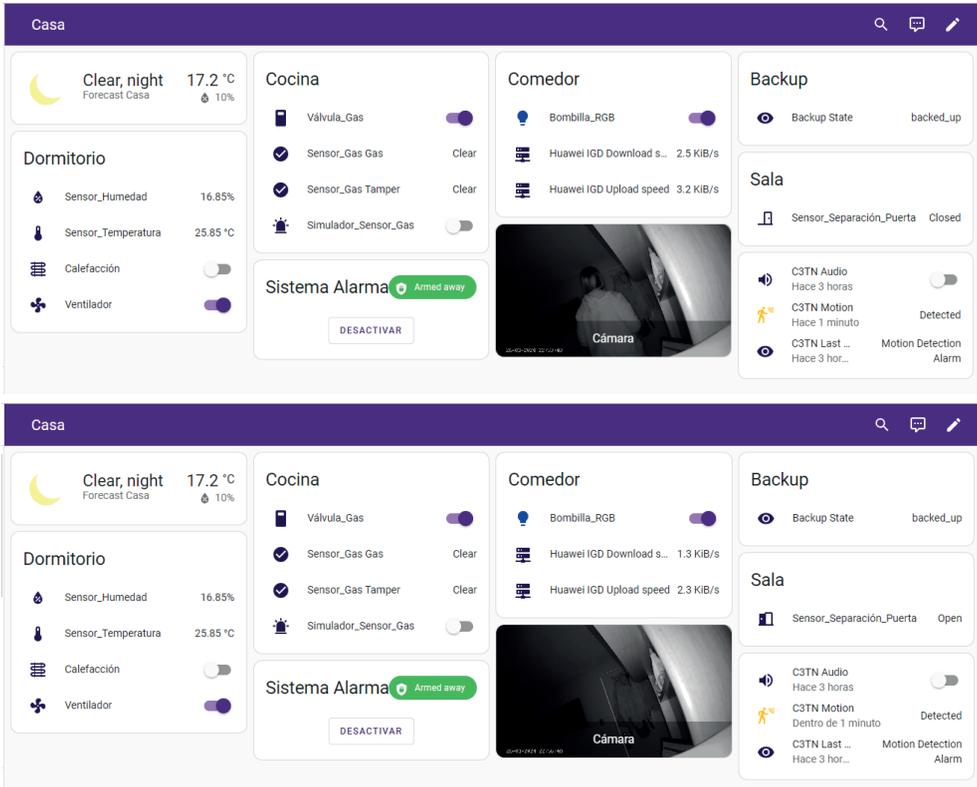


Figura 20. Comportamiento del subsistema *Detección_Intrusos* en la APP.

En cuanto al manejo de la temperatura, el sistema activó y desactivó adecuadamente el ventilador y la calefacción según los requerimientos de los rangos de temperatura. Para el control de fuga de gas, la válvula respondió de forma oportuna, cerrándose y abriendo en momentos cruciales, y las notificaciones se entregaron sin demora. Similarmente, en la detección de intrusos, el sistema no solo proporcionó alertas oportunas, sino que también gestionó eficazmente la señalización visual mediante el bombillo RGB, dando prioridad a eventos críticos como la detección de una apertura de puerta.

Esta consistencia entre la práctica y la simulación confirma la solidez del fundamento matemático detrás de la Lógica Difusa aplicada. Así mismo, valida la correcta instalación de los dispositivos inteligentes y la programación en Node-RED de los flujos de trabajo.

4 | CONCLUSIONES

Esta investigación destaca la contribución significativa de la Lógica Difusa en la domótica, demostrando con datos concretos cómo esta tecnología mejora la eficiencia y la personalización de la automatización residencial. A través de la implementación de Home Assistant y la integración de tecnologías IoT, se ha logrado un incremento medible

en el confort y la funcionalidad del hogar. Aunque no se partió de una hipótesis formal, los resultados corroboran la premisa de que la interoperabilidad y la accesibilidad son cruciales en la domótica.

Los hallazgos sugieren nuevas vías de exploración en el uso de software de código abierto para la personalización del hogar inteligente, señalando hacia la creación de espacios que se adaptan dinámicamente a las necesidades de los usuarios.

La investigación plantea un camino prometedor hacia la integración de flujos de trabajo más complejos y sistemas de Lógica Difusa avanzados, abriendo perspectivas para futuras innovaciones que podrían aportar aún más en el campo de la domótica. La aplicabilidad de estos resultados es inmediata y ofrece un marco para la mejora continua de la automatización del hogar en México.

REFERENCIAS

Comunicado de Prensa del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022, 4 de julio). Comunicado de prensa Núm. 350/22: **Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2021**.

Cook, D. J. (2004). **Health monitoring and assistance to support aging in place**. Journal of Universal Computer Science, 10(1), 623-626.

Home Assistant. (n.d.). **Documentation**. Recuperado de <https://www.home-assistant.io/docs/>

Home Assistant. (n.d.). **Getting started**. Recuperado de <https://www.home-assistant.io/getting-started/>

ISO 9001 Procesos. (s. f.). Recuperado 7 de agosto de 2023, de <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2015/01/iso-9001-procesos/>

MathWorks. (n.d.). **Fuzzy Logic Toolbox Documentation**. Recuperado de <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>

MathWorks. (n.d.). **Get started with Fuzzy Logic Toolbox**. Recuperado de <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/getting-started-with-fuzzy-logic-toolbox.html>

Node-RED. (n.d.). **About Node-RED**. Recuperado de <https://nodered.org/about/>

Node-RED Documentation. (n.d.). **Documentation**. Recuperado de <https://nodered.org/docs/>

Noura, M., Atiqzaman, M., & Gaedke, M. (2019). **Interoperability in Internet of Things: Taxonomies and Open Challenges**. Mobile Networks and Applications, 24(3), 796-809.

Ross, T. J. (2017). **Fuzzy Logic with Engineering Applications (4th ed.)**. Wiley.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). **Artificial intelligence: A modern approach (Fourth edition)**. Pearson.

Sepasgozar, S., Karimi, R., Farahzadi, L., Moezzi, F., Shirowzhan, S., M. Ebrahimzadeh, S., Hui, F., & Aye, L. (2020). **A Systematic Content Review of Artificial Intelligence and the Internet of Things Applications in Smart Home**. *Applied Sciences*, 10(9), Art. 9.

Zadeh, L. A. (1965). **Fuzzy sets**. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

Zimmermann, H.-J. (2011). **Fuzzy Set Theory—And Its Applications**. Springer Science & Business Media.

EMPLEO DE AERONAVES NO TRIPULADAS (DRONES) PARA LA AUSCULTACIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS HISTÓRICOS Y ESTRUCTURAS ANTIGUAS

Data de submissão: 04/09/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Rubén Rodríguez Elizalde

Universitat Oberta de Catalunya

Barcelona, España

<https://orcid.org/0000-0003-3314-5129>

RESUMEN. El uso de aeronaves no tripuladas (RPAS), más conocidas como drones, se ha venido extendiendo a lo largo de los últimos años con aplicaciones múltiples y muy diversas, entre las cuales están las inspecciones de elementos de patrimonio arquitectónico, construcciones singulares y estructuras antiguas o delicadas. El presente artículo nace precisamente de varias inspecciones rutinarias, llevadas a cabo de forma experimental sobre elementos patrimoniales diversos, y de una inspección principal detallada, acometida sobre un puente medieval: el Puente de Bandomil. Con la realización de todas ellas y la información obtenida, se podrá valorar si la aeronave puede servir como herramienta de calidad para la realización de los trabajos que actualmente se llevan a cabo con personal cualificado, el transporte y la instalación de aparatosos medios auxiliares y una alta inversión económica y de tiempo, especialmente en la cuidadosa

planificación de los trabajos. Del mismo modo, se incide de forma muy especial en la seguridad y en reducción de riesgos: seguridad y reducción de riesgos hacia el monumento a inspeccionar, y reducción de riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores que actualmente desempeñan tales labores.

PALABRAS CLAVE: Drones, Patrimonio, Puente Romano, Inspección, Conservación del Patrimonio.

APPLICATION OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (DRONES) FOR THE MONITORING OF HISTORICAL ARCHITECTURAL ELEMENTS AND ANCIENT STRUCTURES

ABSTRACT. The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS), better known as drones, has spread with multiple and very diverse applications in recent years. It includes inspections of elements of the historical heritage, singular constructions and ancient or delicate structures. From various inspection heritage this article was born precisely: various several routine inspections and a significant monument detailed inspection (Bandomil Bridge), all of them with purely experimental purposes.

With the completion of all of them and the information obtained, it will be possible to assess whether the aircraft can serve as a quality tool for carrying out the work that is currently being carried out with qualified personnel, the transportation and installation of bulky auxiliary means and a high economic and time investment, especially in the careful planning of the works. There is a very special impact on safety and risk reduction also: safety and risk reduction towards the monument to be inspected, and reduction of risks for the safety and health of the workers who currently perform such tasks.

KEYWORDS: Drones, Heritage, Roman Bridge, Inspection, Heritage preservation.

1 | INTRODUCCIÓN

La inspección estructural es, desde el inicio, una operación esencial en el campo de la conservación de cualquier construcción, habiéndose aplicado particularmente, y desde un primer momento, al ámbito estructural. En esencia, se basa en el chequeo, en la caracterización y en la monitorización de la construcción en su conjunto, así como de cada uno de los distintos elementos que conforman la misma, pudiendo ir acompañada, según el tipo y alcance de inspección que se acometa, de ensayos que permitan complementar el diagnóstico realizado mediante la inspección visual.

Los distintos tipos de inspección fueron recogidos en las distintas guías desarrolladas por el Ministerio de Fomento de España para la realización de inspecciones de las obras de paso de la red de carreteras (VVAA, 2009; VVAA, 2012). Así, se distingue entre:

- Inspección rutinaria. Se trata de una inspección básica efectuada por personal no especializado, generalmente personal encargado del mantenimiento. La Guía (VVAA, 2009) señala que se realizan en todas las obras de paso iguales o superiores a 1,00 m de luz. Su objetivo es hacer un buen seguimiento del estado de las estructuras, para detectar lo antes posible fallos aparentes, que podrían originar importantes gastos de conservación o, si no son corregidos a tiempo, de reparación.
- Inspección principal. Se trata de una inspección más profunda que la rutinaria, pero que sigue siendo esencialmente visual. Debe de incluir un examen de todos los elementos de la obra de paso que sean visibles. Por ello, en muchos casos exigirá la utilización de medios auxiliares que hagan posible tal observación. La necesidad de emplear esos medios extraordinarios de acceso (Figura 1) subdivide las inspecciones principales en dos categorías (VVAA, 2012):
 - Inspección principal general, que consiste en una observación visual detallada de todos los elementos visibles que constituyen el puente sin necesidad de medios de acceso extraordinarios: basta con utilizar elementos auxiliares sencillos.
 - Inspección principal detallada, en la que es imprescindible el uso de medios de acceso extraordinarios que garanticen la posibilidad de inspección de todas las partes visibles.

- Inspección especial. Este tipo de inspección, a diferencia del resto, no se ha de realizar sistemáticamente; surge, por regla general, como consecuencia de los daños detectados en una inspección principal o, excepcionalmente, a consecuencia de una situación singular. En estas inspecciones, además de la realización de un examen visual, se necesitan ensayos y mediciones complementarios, con técnicas y equipos especiales. Este nivel de reconocimiento requiere siempre de un plan previo a la inspección, detallando y valorando los aspectos a estudiar, así como las técnicas y medios a emplear.



Figura 1: Inspección del tablero de un viaducto que salva la Autovía de las Rías Bajas (A – 52), a la altura del municipio de A Gudiña, en la provincia de Ourense (fotografía del autor).

El anterior criterio de clasificación se ha hecho extensivo a más ámbitos que los de las estructuras de carreteras (Boletín Oficial del Estado, 2005; ADIF 2020 a; ADIF 2020 b), de ahí que se haya decidido exponer aquí como punto de partida.

Por otro lado, hace unos años surgió el concepto de aeronave carente de piloto a bordo o de vehículo aéreo no tripulado; se trata de aeronaves que pueden ser controladas por el piloto de forma remota o bien programarse y ser completamente autónomas. La incorporación de ciertos accesorios a estos equipos, como pueden ser las cámaras de grabación o de captación de imágenes de alta resolución, y el desarrollo de una microtecnología cada vez más precisa y asequible (Cuerno Rejado, 2015), abrieron la puerta hace ya tiempo a la posibilidad de incorporar los drones para la realización de este

tipo de inspecciones.

Durante los últimos años, en el campo de la ingeniería civil se han realizado multitud de avances y llevado a cabo una notable cantidad de inspecciones enmarcadas en la clasificación anterior, empleando drones (Rodríguez Elizalde, 2022 a; Rodríguez Elizalde, 2022 b); los resultados han sido muy satisfactorios, pues en muchos casos se ha logrado un trabajo más económico, rápido y seguro (Rodríguez Elizalde, 2022 a; Rodríguez Elizalde, 2022 c), de ahí que se plantee la posible aplicación de esta herramienta al ámbito la inspección del patrimonio (Figura 2).



Figura 2: Drone cuadricóptero aproximándose para una inspección sobre el Ponte da Chanca, viaducto ferroviario ubicado en la ciudad de Lugo que el 20 de diciembre de 2021 cumplió 150 años (fotografía del autor).

2 | OBJETIVOS

Partiendo de la base de que la inspección de cualquier construcción resulta esencial, al permitir obtener los datos necesarios para conocer, en cada momento, su estado funcional, resistente y estético, el presente artículo tiene como objetivo principal comprobar la aplicabilidad de los drones para la realización de estas inspecciones en el ámbito patrimonial.

La experiencia del autor y el análisis de una inspección principal detallada, llevada a cabo por el mismo sobre un monumento de ingeniería de gran relevancia y significación,

el Puente de Brandomil, servirá de base para verificar el cumplimiento del objetivo aquí establecido.

3 | MATERIAL Y MÉTODOS

Ha habido ya incursiones y estudios en diversos ámbitos de aplicación del uso de drones al campo de la conservación de patrimonio, destacando especialmente el uso de estos equipos para la realización de vuelos fotogramétricos que permitan realizar posteriores modelados y reconstrucciones (Domínguez Torrado, 2015; Rodríguez Elizalde, 2022 c).

Muchos y muy diversos son los tipos de drones de que se dispone en la actualidad (Hernández Correas et al., 2019), por lo que es importante conocer en cada caso el tipo de aeronave más adecuada para cada situación, y particularmente a la actuación que aquí se analiza. De entre todos los criterios de clasificación, el más interesante al efecto es el que atiende a la forma de sustentación del equipo en el aire. De esta manera, se distingue entre drones de ala fija y drones de ala rotatoria (Oñate de Mora, 2015). Es indudable que el dron de ala fija tiene grandes ventajas que le hacen idóneo para multitud de aplicaciones, pero su incapacidad para realizar un despegue vertical y mantener una posición estable en el aire no le hace apto para la inspección de una construcción antigua, a menos que se pretenda realizar una toma de imágenes de superficies extensas, lo que es muy poco frecuente.

Por ello, el tipo de dron utilizado para los trabajos aquí contemplados suele ser un dron de ala rotatoria, y más concretamente un multirrotor (Figura 2): son drones de múltiples hélices (siempre pares) que realizan el despegue en vertical y que tienen, además, la capacidad de girar sobre sí mismos, lo que les hace idóneos para realizar trabajos verticales y mantener una posición determinada fija en suspensión en el aire, para así permitir la realización de un análisis preciso.

Para comprobar la validez del dron para la realización de este tipo de inspecciones, se eligió como muestra el Puente de Brandomil, situado en las coordenadas siguientes:

- 43° 00' 29.0" N.
- 8° 55' 17.9" W.

El Puente se encuentra en Galicia, en el municipio de Zas, en la provincia de A Coruña. Salva el cauce del Río Xallas. Este puente es especialmente representativo pues, aunque no soporta actualmente tráfico rodado, formaba parte del tramo final del antiguo camino de Santiago, el que comunica Santiago y Fisterra (Casado, 1969). Sí cumplió la misión de soportar íntegramente el paso de carruajes por la vía suprayacente hasta hace ochenta años: en los años cuarenta del pasado siglo XX, se construyó un puente de hormigón para relevarlo a escasos metros aguas arriba (Roseman, 1996). A través de Brandomil, y concretamente sobre este Puente, transitaban los peregrinos que habían

desembarcado en los puertos de Muxía y de Fisterra, rumbo a Santiago de Compostela (Suárez, 2022). El ancho de la calzada suprayacente del Puente es de 2,75 metros.

El Puente posee cuatro arcos de sillería (Figura 3): tres de ellos de la misma luz (8,20 metros), y el último, en el extremo sur del puente, con una luz considerablemente menor (4,30 metros). Las pilas, con tamajares que suben hasta la coronación (Figura 5), tienen gran espesor, alrededor de los 3,00 metros. Las dos bóvedas de la margen derecha (Figura 3 y Figura 4) tienen doble rosca. Tanto las bóvedas como los tímpanos y los pretiles son de sillería (Alcaide & López, 2013). Por sus características, tanto constructivas como estéticas, se data la fecha de su construcción en el siglo XVII, aunque se tiene constancia de la existencia de un puente anterior en este mismo lugar (Casado, 1969).



Figura 3: Vista general del alzado aguas abajo del Puente de Brandomil, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección de este artículo (fotografía del autor).

La existencia de una corriente fluvial bajo el Puente, como es el Río Zas, las dimensiones geométricas del mismo y la inaccesibilidad a determinadas zonas (las dos pilas centrales penetran en el agua del Río), hacían del Puente de Brandomil una estructura perfecta para poder constatar la validez del uso de un dron para la inspección de esta construcción patrimonial. Aparte quedaría la toma en consideración de la belleza, la relevancia y el valor histórico y patrimonial del Puente, que indudablemente confieren un valor añadido a la inspección realizada: su gran interés a nivel histórico y arqueológico, y también a nivel ingenieril y patológico reafirmaban esta idea.



Figura 4: Vista general de uno de los arcos mayores del Puente de Brandomil, en imagen captada con el dron multi rotor empleado en la inspección desde el lado aguas abajo del Puente (fotografía del autor).



Figura 5: Vista general de la parte superior de uno de los tajamares del Puente de Brandomil, en imagen captada con el dron multi rotor empleado en la inspección (fotografía del autor).



Figura 6: Drone multi rotor empleado en la inspección del Puente de Brandomil, adentrándose en el interior de la bóveda del arco menor para su inspección desde el lado aguas arriba del Puente (fotografía del autor).



Figura 7: Drone multi rotor empleado en la inspección del Puente de Brandomil, aproximándose al alzado aguas arriba del Puente, para la inspección de diversos elementos constitutivos (fotografía del autor).

Según lo comentado en apartados anteriores, para la inspección llevada a cabo en el Puente de Brandomil se empleó un drone cuadricóptero (Figura 6 y Figura 7), que pudo aproximarse a todas las zonas visibles del Puente, fueran éstas accesibles o no accesibles,

En las imágenes anteriores se puede observar el drone de cuatro hélices empleado, analizando en suspensión el interior de la bóveda más pequeña del Puente (Figura 6) y aproximándose sobre el curso del río a una de las bóvedas mayores para su reconocimiento (Figura 7). El equipo incorporaba una cámara de alta resolución con zoom y permitió la captación de las imágenes que se recogen más adelante, que podrían constituir un reportaje fotográfico completo con las observaciones más sobresalientes durante el vuelo.

Además, hay que tener en cuenta que una de las señas de identidad de este puente es el empleo del arco menor de medio punto como directriz para sus bóvedas, frente a la utilización romana común del arco. Dada la escasa flecha de la bóveda más pequeña, el acceso a su interior para el análisis del estado del intradós resultaba algo complicado (Figura 6), de ahí el interés de introducir un drone. Es cierto que hay puntos de galerías en los que el acceso puede resultar mucho más complicado que en éste, pues aquí la anchura de la bóveda es de 4,20 m y en caso de necesidad podría acceder un operario para realizar la inspección pertinente; pero esta experiencia sirve para demostrar que el drone puede desempeñar perfectamente esta función, sin tener que poner en riesgo la seguridad de ningún profesional y obteniendo resultados perfectamente válidos e incluso mejores que los que podría obtener un operario.

4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En términos generales, el Puente presentaba un estado adecuado de conservación. La inspección permitió verificar la existencia de eflorescencias, aunque en una proporción muy leve: tales lesiones se observaron en el intradós de alguna de las bóvedas y en el alzado de alguna pila o de algún estribo. Las eflorescencias se suelen concentrar alrededor de zonas en las que se produce una elevada concentración de humedad. Al tratarse de un puente fluvial sito además en la región gallega, es evidente que se está en un emplazamiento donde la humedad es elevada.

El intradós de las bóvedas es, sin lugar a dudas, el punto más crítico desde el punto de vista patológico y también el más difícilmente accesible para su inspección por medios manuales. Como se puede observar (Figura 8), todos elementos que conforman las bóvedas son de granito, con sillares y dovelas puestos en seco, siendo el redondeamiento de los vértices, característico de la alteración del granito (García de Miguel, 2009), uno de los aspectos más destacables.



Figura 8: Vista general del alzado aguas abajo del Puente de Brandomil, en imagen captada con el dron multi rotor empleado en la inspección de este artículo (fotografía del autor).

El granito constitutivo del monumento presenta, en el interior de las bóvedas, ciertos deterioros como consecuencia de la sinergia de acciones de naturaleza diversa, fundamentalmente química y biológica. Así, se puede observar la conformación de diversas costras negras, (Figura 8), presuntamente ligadas a la acción de agentes contaminantes (particularmente compuestos de azufre). Junto a estas costras, se observa una abundante presencia de biocolonias (plantas), que han crecido enraizando en las juntas que se disponen entre los sillares, especialmente en las juntas de puntos angulares (Figura 9 y Figura 10), que entran en retroalimentación con los fenómenos de humedad, eflorescencias y agua de escorrentía, tal y como reflejan ciertas manchas observadas.

También vinculada con la humedad está la proliferación de pequeñas costras de carbonatación, detectada en el interior de las bóvedas: en este caso, se trata de costras debidas, fundamentalmente, a la disolución de carbonato cálcico procedente del mortero dispuesto entre las juntas de los sillares. Las marcas oscuras de agua de escorrentía, observadas en algunos puntos del puente están ligadas con este proceso de desarrollo de costras negras.

En este sentido, no conviene olvidar que las costras y, en mucha mayor medida, las eflorescencias son manifestaciones resultantes de la cristalización de sales, que se suelen aglutinar alrededor de puntos donde se produce una elevada concentración de humedad;

esta anomalía se desencadena al cristalizar las sales solubles presentes en disolución en el sistema poroso de la fábrica (García de Miguel, 2009).

En principio, los daños anteriormente recogidos no son daños de índole estructural, sino daños relacionados con la durabilidad de los materiales en la construcción. Cuando se habla de daños que guardan relación con la durabilidad del material que conforma un elemento, se está haciendo referencia a las lesiones que surgen de la interacción del material deteriorado con las condiciones ambientales impuestas por el entorno en el que se encuentra instalado el elemento. Dicho de otra manera, la durabilidad de un material puede entenderse como la capacidad que éste tiene para resistir a la acción del ambiente, que incluye todos los ataques químicos, físicos, biológicos, o cualquier otro proceso ambiental que tienda a deteriorarlo.

Dicho de otra forma, no son lesiones que afectan a la integridad del monumento a corto plazo, pero que sí pueden derivar en daños más graves, como la alveolización o incluso la arenización del material pétreo, si siguen desarrollándose. La detección particular de eflorescencias, por una parte, pone de manifiesto que se está produciendo un proceso de degradación química, si bien de escasa peligrosidad; y, por otra parte, lanza una advertencia de que se pueden estar generando tensiones mecánicas internas de cierta consideración, a causa de los procesos de cristalización de las sales.



Figura 9: Vista general del arco más pequeño del Puente de Brandomil, visto desde el lado aguas arriba, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección, donde se puede observar la abundante presencia de vegetación enraizada en los múltiples elementos (fotografía del autor).



Figura 10: Vista general de unos de los arcos mayores del Puente de Brandomil, visto desde el lado aguas arriba, en imagen captada con el drone multi rotor empleado en la inspección, donde se puede observar la abundante presencia de vegetación enraizada en los múltiples elementos (fotografía del autor).

Se cierra este apartado, reincidiendo en la presencia de vegetación enraizada en las juntas entre los sillares (Figura 9 y Figura 10). A causa de la humedad, y ante la susceptibilidad del granito al ataque de naturaleza biológica, el drone también pudo registrar películas o moteados, resultantes de la acumulación de microorganismos vegetales, tipo musgo o similar (Figura 9 y Figura 10).

Con todo, y aunque ninguno de los daños compromete la seguridad del monumento, el drone permitió la localización y diagnóstico de tales lesiones, habida cuenta de que muchas de ellas no eran visibles desde la posición de un viandante. Además, la inspección con la aeronave no tripulada permitió disponer de documentos gráficos que, en posteriores inspecciones, permitirán valorar la evolución de los daños y así estimar la pertinencia de una posible intervención restauradora.

5 | CONCLUSIONES

Los resultados de la inspección realizadas ponen de manifiesto que el empleo de un drone adecuado permite realizar perfectamente una observación visual detallada y completa de todos los elementos visibles, accesibles y no accesibles, que conforman

un monumento de cierta entidad. Con esta herramienta, no se precisa recurrir a medios de acceso extraordinarios, como sí hubieran sido precisos en caso de no disponer de la aeronave multirrotoara.

Por tanto, a la luz de la experiencia aquí recogida, se puede concluir lo siguiente:

1. El dron simplifica los trabajos de planificación, ya que reduce la planificación y adquisición de medios auxiliares de acceso.
2. El dron simplifica los trabajos de campo, de cara a la identificación y valoración de deterioros de cada uno de los elementos constitutivos del monumento.
3. Las simplificaciones anteriores permiten realizar los trabajos con más rapidez.
4. El dron reduce una parte considerable de los riesgos de afección al monumento. El Puente de Brandomil conserva su forma primitiva que, como toda construcción, necesita un cuidado para su adecuada conservación. El dron se ha mostrado una herramienta muy eficaz al respecto, no llegando a entrar en contacto con el monumento en ningún momento.
5. El dron reduce toda clase de riesgos para la seguridad de los trabajadores que deberían colaborar en las inspecciones, dado el peligro inherente al empleo de ciertos medios auxiliares para acceder a determinados elementos de la estructura: con un dron, ningún trabajador tiene que, por ejemplo, exponerse al riesgo de caída en altura.
6. Los cinco puntos anteriores justifican un considerable ahorro económico, que no supone una disminución de la calidad del trabajo.

Con los datos recogidos con el dron, como se ha ejemplificado aquí, se puede generar en gabinete un completo informe técnico de la inspección realizada, además de suministrar la información pertinente de cara a su incorporación a un sistema de gestión y a la obtención de los índices de estado, de cada uno de los elementos y de la construcción en su conjunto, para valorar si es precisa algún tipo de actuación urgente o verificar, a través de una comprobación regular de las lesiones detectadas mediante vuelos periódicos, la evolución de dichas lesiones.

Ni qué decir tiene que la experiencia de la inspección experimental realizada para la elaboración de este artículo es extrapolable a otros tantos trabajos de idéntica naturaleza, lo que abre un abanico infinito de oportunidades para estos pequeños ingenios que, sin duda, han venido para quedarse y para cambiar la forma de inspeccionar elementos singulares.

6 | FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Este artículo se ha centrado de forma exclusiva en la utilización de drones en el ámbito de la inspección de elementos patrimoniales. Las imágenes, e incluso los vídeos, que son capturados con las cámaras incorporadas a un dron pueden ser utilizados como documentos visuales para otros múltiples objetivos que van más allá de la inspección aquí

analizada.

La incorporación de otros sensores, de carácter visual o de carácter térmico, pueden servir para localizar lesiones invisibles o comprender mejor el origen de las lesiones visibles a las que inicialmente no se les encuentra explicación. En este caso, ya se entraría en el ámbito de la inspección especial, de acuerdo con lo visto en la Introducción, empleándose ensayos indirectos que no causarían ningún deterioro al monumento objeto de análisis (Figura 36).

El dron también puede ser de gran ayuda en la reconstrucción geométrica de un elemento a partir de las fotografías obtenidas en capturas realizadas en vuelos fotogramétricos. Para ello, se precisa un amplio conocimiento en materia de captación de datos que escapa al alcance y objetivo de este artículo, pues es precisa la obtención de datos medibles (sean éstos bidimensionales o tridimensionales) y el posterior procesado de los datos recopilados de cara al modelado y reconstrucción.

REFERENCIAS

ADIF (2020). *Inspección Básica de Puentes de Ferrocarril (NAP 2-4-0.0_1E)*. Enero de 2020. Disponible online en: <http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/91DB4D69076B81C6C12584FF0032E3BC?OpenDocument&tDoc=F> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

ADIF (2020). *Inspección Principal de Puentes de Ferrocarril (NAP 2-4-1.0)*. Julio de 2020. Disponible online en: <http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/D2ED6B6DB14AA4D1C12585AE0054660F?OpenDocument&tDoc=F> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Alcaide, R. C., & López, M. E. C. (2013). Aportaciones gallegas para la historia del corte de la piedra en España: Los cuadernos de Juan de Portor y Francisco Sarela. In *Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*: Madrid, 9-12 de octubre de 2013 (pp. 161-170). Instituto Juan de Herrera.

Boletín Oficial del Estado (2005). *Orden FOM/1951/2005, de 10 de junio, por la que se aprueba la instrucción sobre las inspecciones técnicas en los puentes de ferrocarril (ITPF-05)*. Disponible online en: <https://www.boe.es/boe/dias/2005/06/24/pdfs/A22192-22199.pdf> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Casado, F. U. (1969). Puentes y caminos en la Provincia de La Coruña. *Revista Instituto José Cornide de Estudios Coruñeses*, (5), 199-246.

Cuerno Rejado, C. (2015). Origen y Desarrollo de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. *Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 15 – 32. Disponible online en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Domínguez Torrado, J.A. (2015). Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural. *Proceeding of Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 159 – 170. Disponible online en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

García de Miguel, J.M. (2009). *Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y construcciones*. Madrid, España: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España; 684 p.

Hernández Correas Á., Virués Ortega D., Bernardo Sanz S., Ramos Campo D., Vergara Merino R., García - Cabañas Bueno J.A. (2019). *Piloto de Dron (RPAS)* (3ª ed.). Madrid, España: Ediciones Paraninfo; 399 p.

Oñate de Mora, M. (2015). Tipología de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. Proceeding of *Los Drones y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Dirección General de Industria y Energía de la Comunidad de Madrid (Eds). Pp 49 – 58. Disponible online en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Rodríguez Elizalde, R. (2022). Structural Inspection by RPAS (Drones): Quality Work with Preventive Guarantee. *Journal of Engineering and Applied Sciences Technology*, 4 (2).

Rodríguez Elizalde, R (2022). Use of Rpas (Drones) for Old Bridges Inspection: Application on Ponte Olveira Bridge. *International Journal of Innovation Scientific Research and Review*, Vol. 04, Issue, 10, pp. 3487-3493, October 2022. Disponible online en: <http://www.journalijsr.com/sites/default/files/issues-pdf/IJISRR-1035.pdf> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Rodríguez Elizalde, R. (2022). Utilisation de Systèmes d'Aéronefs Télépilotes pour l'Inspection d'Anciennes Constructions. *Current Opinion*, 2 (6), pp 213-227. Disponible online en: <http://currentopinion.be/index.php/co/article/view/121> (último acceso el 7 de mayo de 2023).

Roseman, S. R. (1996). "How we built the road": the politics of memory in rural Galicia. *American Ethnologist*, 23(4), 836-860.

Suárez, X. M. L. (2022). *Topónimos con historia do camiño de Santiago a Muxía. In Os camiños de Santiago de Europa a Galicia: lugares, nomes e patrimonio* (pp. 175-212). Real Academia Galega.

VVAA (2009). *Guía de inspecciones de obras de paso*. Madrid, España: Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 124 p. Disponible online en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0870300.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

VVAA (2012). *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado*. Madrid, España: Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 355 p. Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0870250.pdf (último acceso el 7 de mayo de 2023).

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico en Química del Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Licenciatura en Química de la Universidad Federal de Uberlândia (2010), Licenciatura (2011) y Licenciatura en Química Industrial (2023) de la Universidad de Uberaba (UNIUBE), en Ciencias Biológicas (2021) y Física (2022) de la Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista en Metodología de la Enseñanza de la Química y Educación Superior de la Faculdade JK Serrana de Brasília (2012), especialista en Enseñanza de Ciencias y Matemáticas del Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista en Ciencias Naturales y Mercado Laboral (2022) de la Universidad Federal de Piauí (UFPI) y especialista en Química Analítica de la Facultad Metropolitana del Estado de São Paulo (FAMEESP) en 2024. Maestría (2015) y Doctorado (2018) en Química Analítica de la Universidad Federal de Uberlândia (UFU). Realizó la primera pasantía Postdoctoral (de mayo de 2020 a abril de 2022) y realizó la segunda pasantía (2022-2024) en la UFU con énfasis en la aplicación de nuevos agentes oxidantes utilizando radiación solar para eliminar Contaminantes de Preocupación Emergente (CPE) en efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se desempeñó como técnico de laboratorio/Química en el Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico y técnico responsable de los laboratorios de Unicesumar/Polo Patrocínio y profesor del SENAI de Minas Gerais y Goiás. Actualmente es profesor de química en el Instituto Federal de Goiás. Colégio Militar do Tocantins en Araguaína/TO. Trabajando en las siguientes líneas de investigación: (i) Desarrollo de nuevas metodologías para el tratamiento y valorización de residuos químicos generados en laboratorios de instituciones de enseñanza e investigación; (ii) estudios de seguimiento del CPE; (iii) Desarrollo de nuevas tecnologías avanzadas para la eliminación de CPE en diferentes matrices acuáticas; (iv) Aplicación de procesos oxidativos avanzados (H_2O_2/UV , C , $TiO_2/UV-A$ y foto-Fenton y otros) para eliminar CPE en efluentes de plantas de tratamiento de efluentes para su reutilización; (v) Estudio y desarrollo de nuevos bioadsorbentes para la remediación ambiental de CPE en diferentes matrices acuáticas; (vi) Educación Ambiental y; (vii) alfabetización científica y procesos de alfabetización en el área de las Ciencias Naturales, especialmente biología y química. Es miembro del consejo editorial de Atena Editora desde 2021 y ya ha organizado más de 90 libros electrónicos y publicado 42 capítulos de libros en las diferentes áreas de Ciencias Naturales, Ingeniería Química y Sanitaria/Ambiental, Medio Ambiente, entre otras áreas afines. .

A

Actividades docentes 8

Aeronoaves 36

Algebra 3

Aprendizaje Basado en Proyectos 3

Asignaturas 1, 2, 6, 7, 13

Automatización 17, 19, 20, 24, 26, 29, 33, 34

B

Bóvedas 41, 44, 45

C

Capacitación 1

Ciencias básicas 3, 6, 11

Conocimiento científico 1

Curriculum 2, 3, 7, 9

D

Distribuciones de probabilidad 4, 5, 10

Docentes 1, 8

Drones 36, 37, 38, 39, 40, 48, 49, 50

E

Ecuaciones diferenciales 2, 3, 5, 10, 12, 13

Educación superior 1, 51

Eflorescencias 44, 45, 46

Enseñanza y aprendizaje 1, 3, 6, 7

Estudiante 2

Estudio de casos 8

F

Formación interdisciplinaria 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 14

Formación profesional 1

G

Graduados 9, 14

H

Herramienta 2, 6, 12, 36, 39, 48

Hogares inteligentes 17, 19

I

Idealidad matemática 5, 10

Ingeniero 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14

Inspección 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Inteligencia artificial (IA) 17, 18

Interdisciplinaria 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 14

Internet de las Cosas (IoT) 17, 18

Investigación 2, 3, 4, 8, 9, 17, 19, 33, 34, 48, 51

M

Magíster en matemáticas aplicadas 8, 9, 14

Mallas curriculares 1, 2, 4, 7, 13

Matemática 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Matematización 4, 10

Método científico 4, 9, 12

Metodología 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 17, 51

Modelación matemática 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11

Modelo matemático 4, 5, 6, 10, 11, 12

P

Patrimonio arquitectónico 36

Piloto 38, 50

Posgrado 8, 9, 13, 14

Pregrado 1, 8, 9, 13, 14

Procesos formativos 2

Profesional 1, 2, 3, 4, 8, 9, 12, 14, 44

Profesores 6, 8, 11, 13, 14

Protocolo de Internet (IP) 18

Puente de Brandomil 36, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Puente Romano 36

R

Realidad medible 4, 9, 10

Redes neuronales 3, 5, 10

T

Tecnologías abiertas 17

V

Vehículo aéreo no tripulado 38

Ciencia, tecnología e innovación
desde la perspectiva de las

Ingenierías



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ciencia, tecnología e innovación
desde la perspectiva de las

Ingenierías



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br