

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.

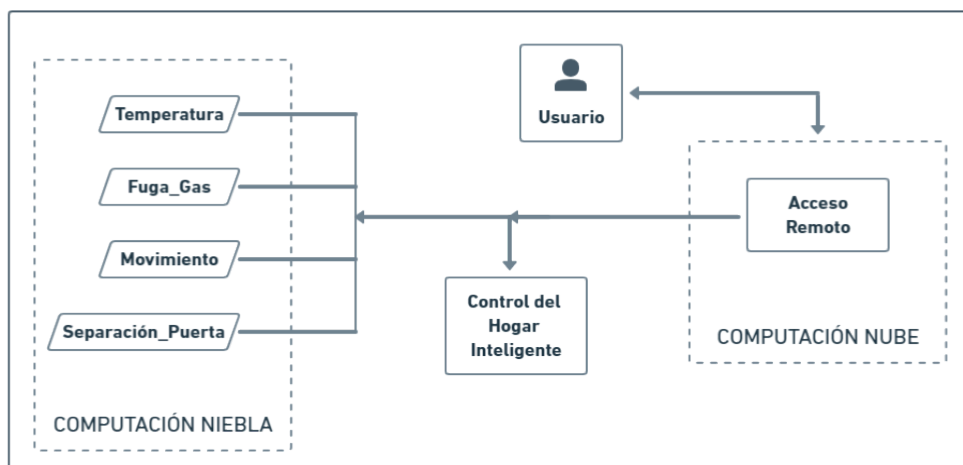


Figura 2. Arquitectura del Hogar Inteligente basado en ISO.

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.

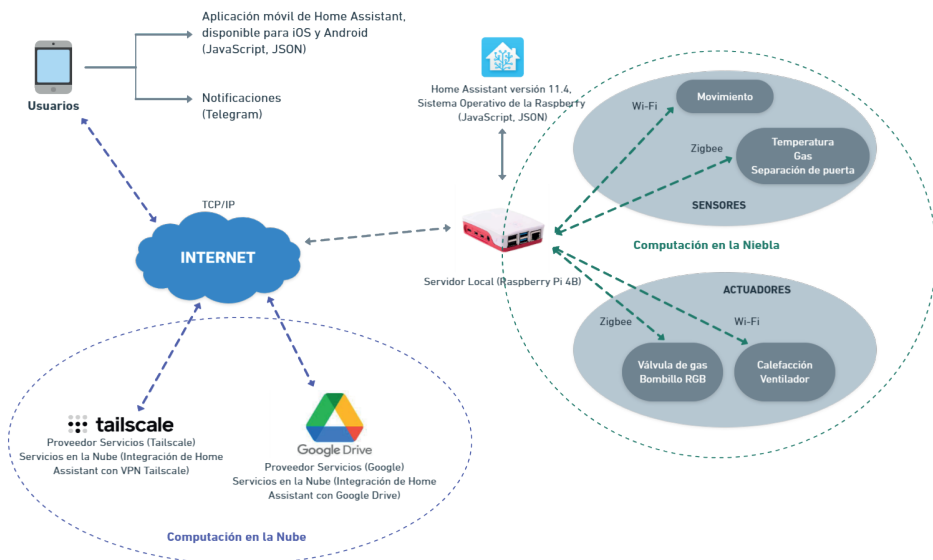


Figura 3. Arquitectura del Hogar Inteligente (Casa) basado en Lógica Difusa (Diseño propio).

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.

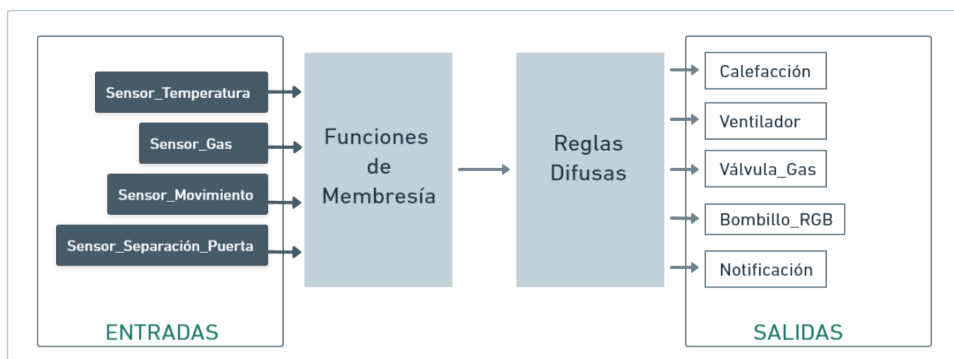


Figura 4. Sistema de control de Casa con Lógica Difusa incorporada.

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.

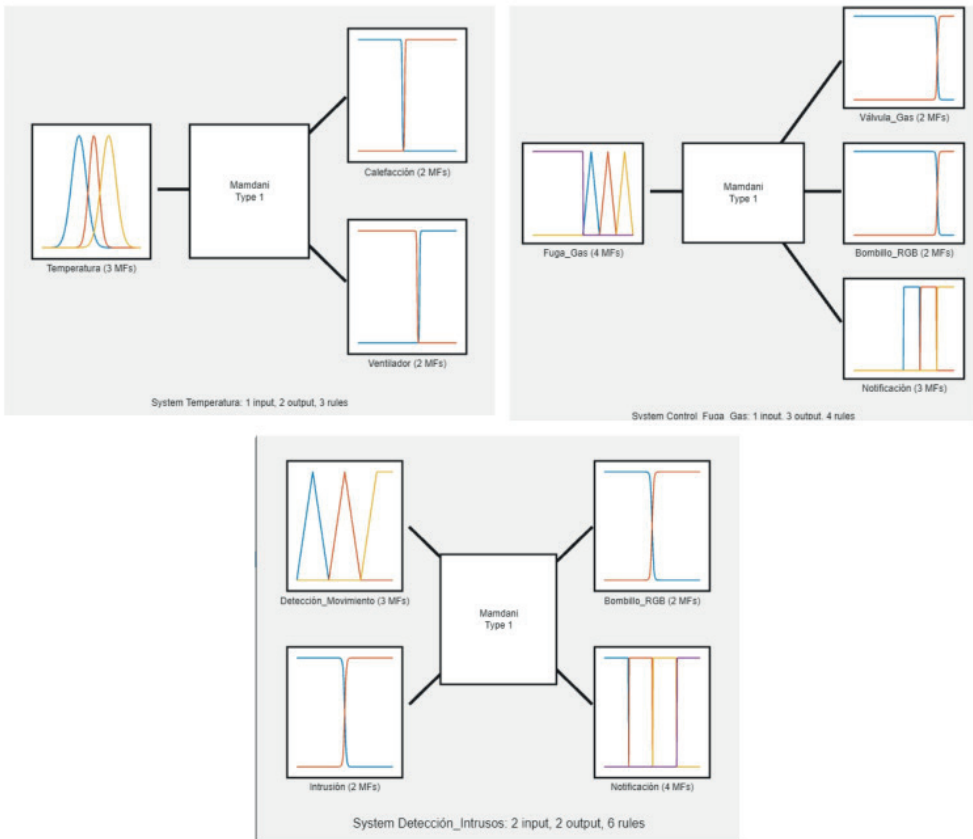


Figura 5. Vista (desde el Fuzzy Logic Designer de Matlab) de los tres subsistemas de control con Lógica Difusa incorporada.

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:

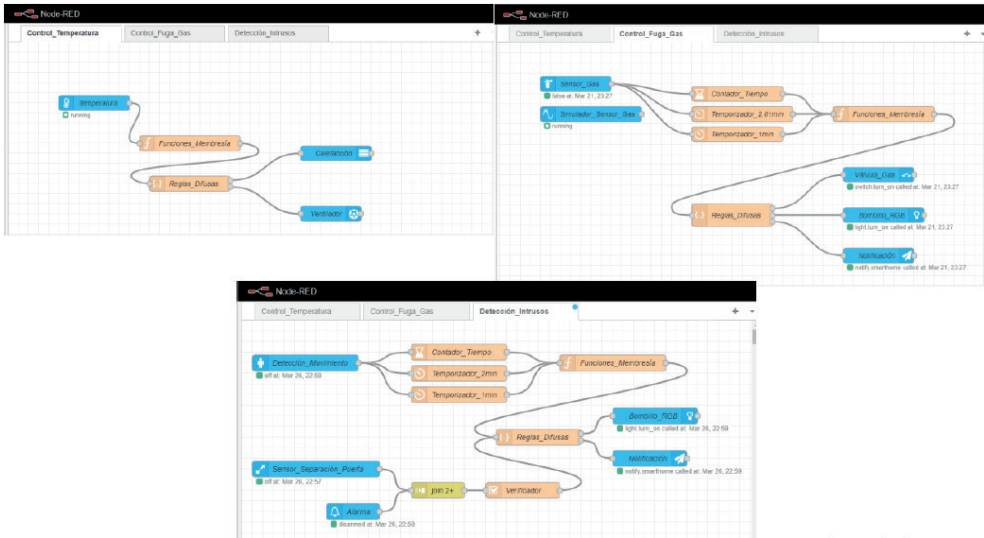


Figura 9. Vista (desde Node-RED en Home Assistant) de los tres subsistemas de control con Lógica Difusa incorporada.

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.

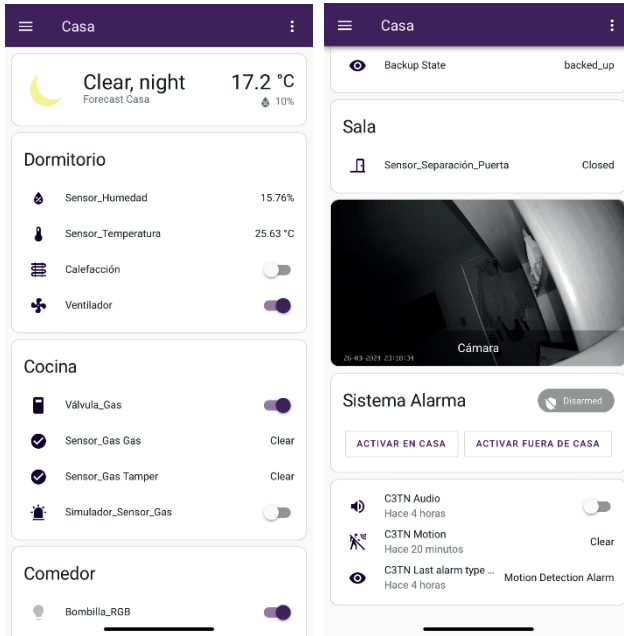


Figura 11. Vista del tablero Resumen en la aplicación móvil.

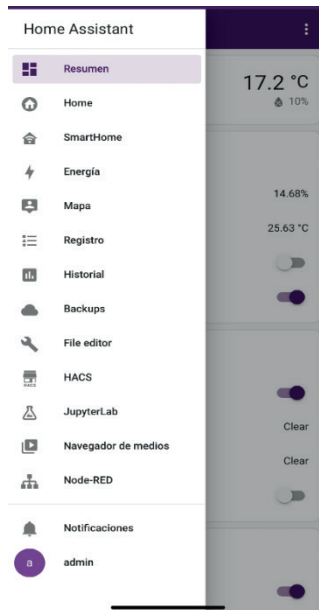


Figura 12. Vista de configuraciones y add-ons dentro de la cuenta admin en la aplicación móvil.

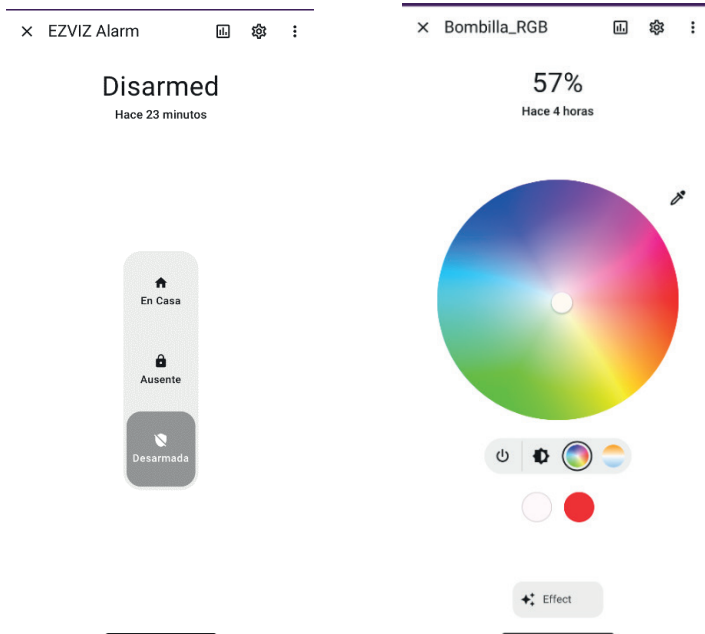


Figura 13. Vista del armado y desarmado de la alarma y configuración del bombillo RGB en la aplicación móvil.

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.

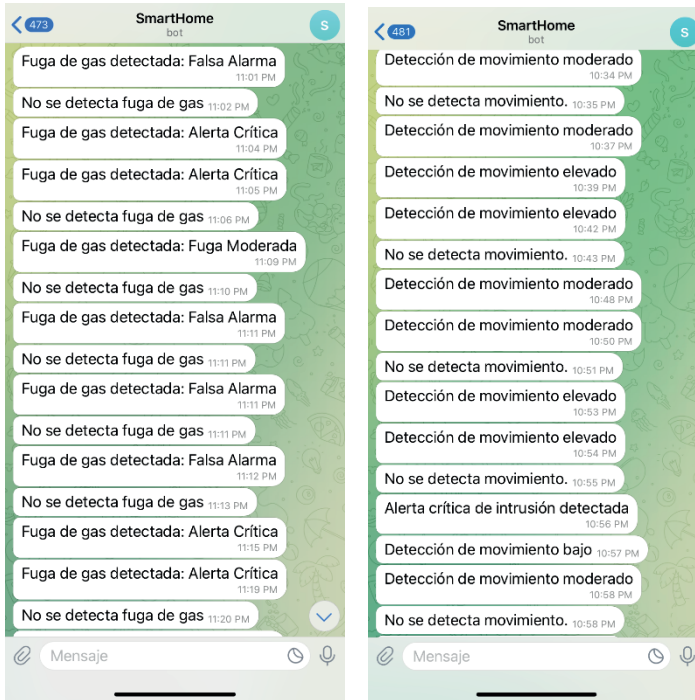


Figura 14. Interacción con el bot *SmartHome* en Telegram para los subsistemas *Control_Fuga_Gas* y *Detección_Intrusos*.

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.

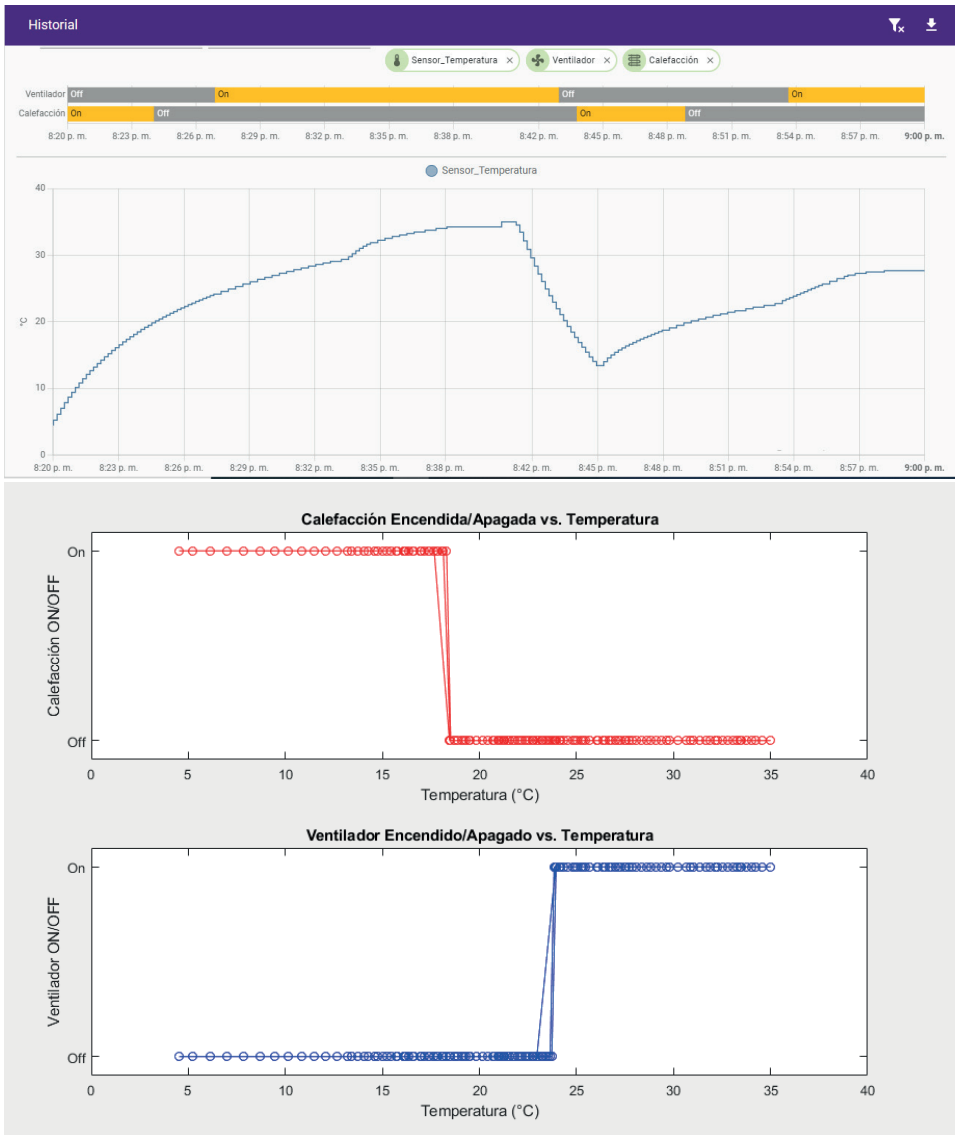


Figura 15. Comparación de resultados en el subsistema *Temperatura* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.



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

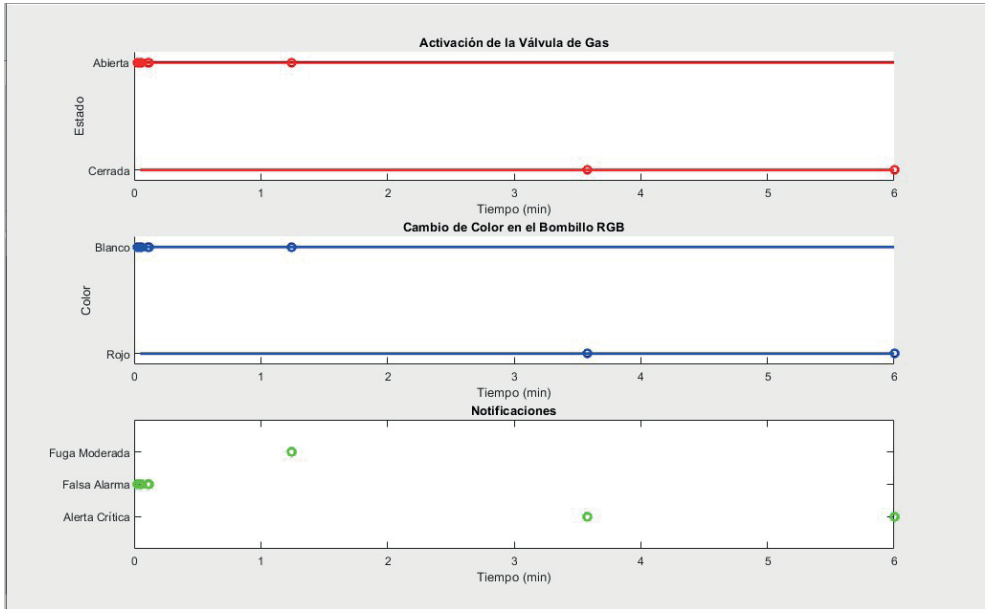
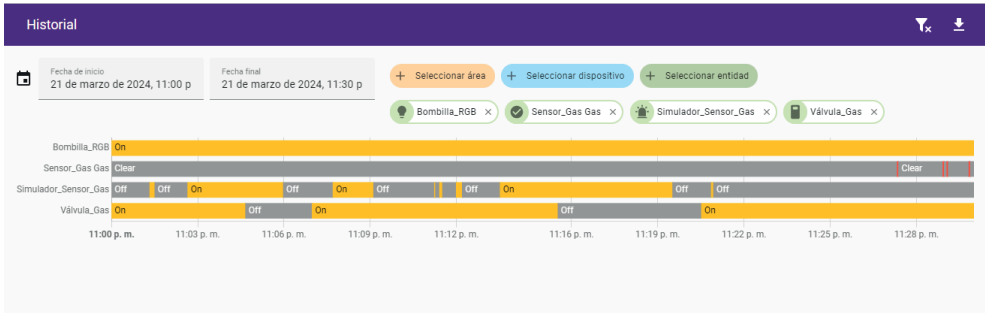


Figura 17. Comparación de resultados en el subsistema *Control_Fuga_Gas* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.

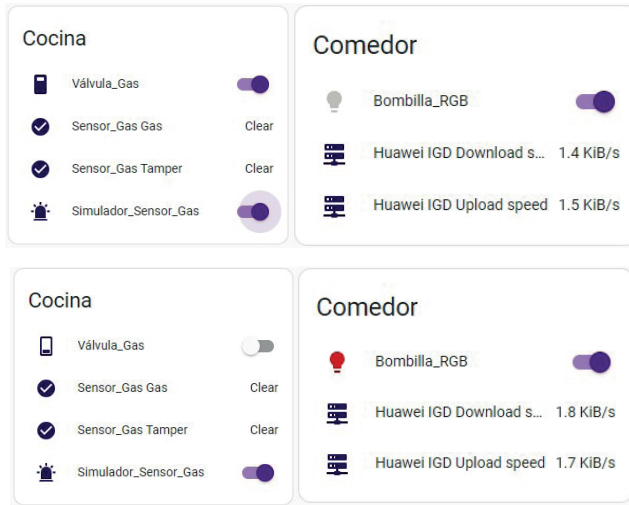


Figura 18. Comportamiento del subsistema *Control_Fuga_Gas* en la APP.

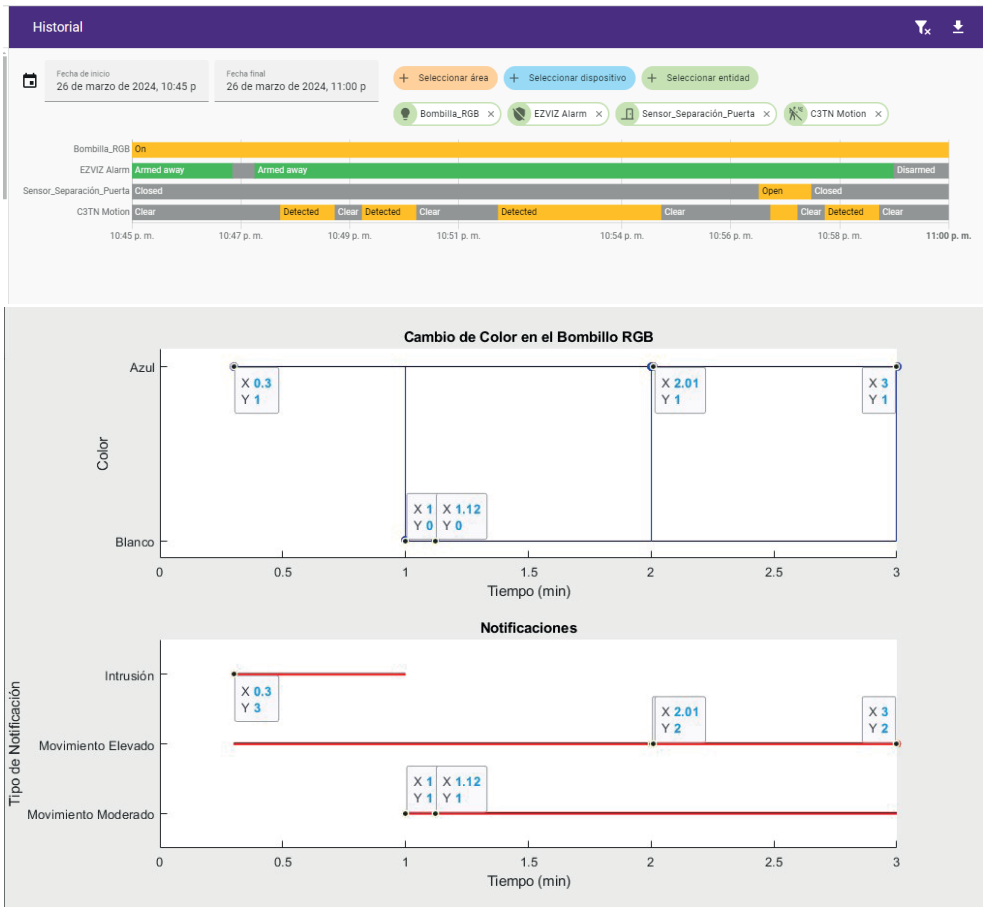


Figura 19. Comparación de resultados en el subsistema *Detección_Intrusos* mediante la implementación en Node-RED y simulación en MATLAB.

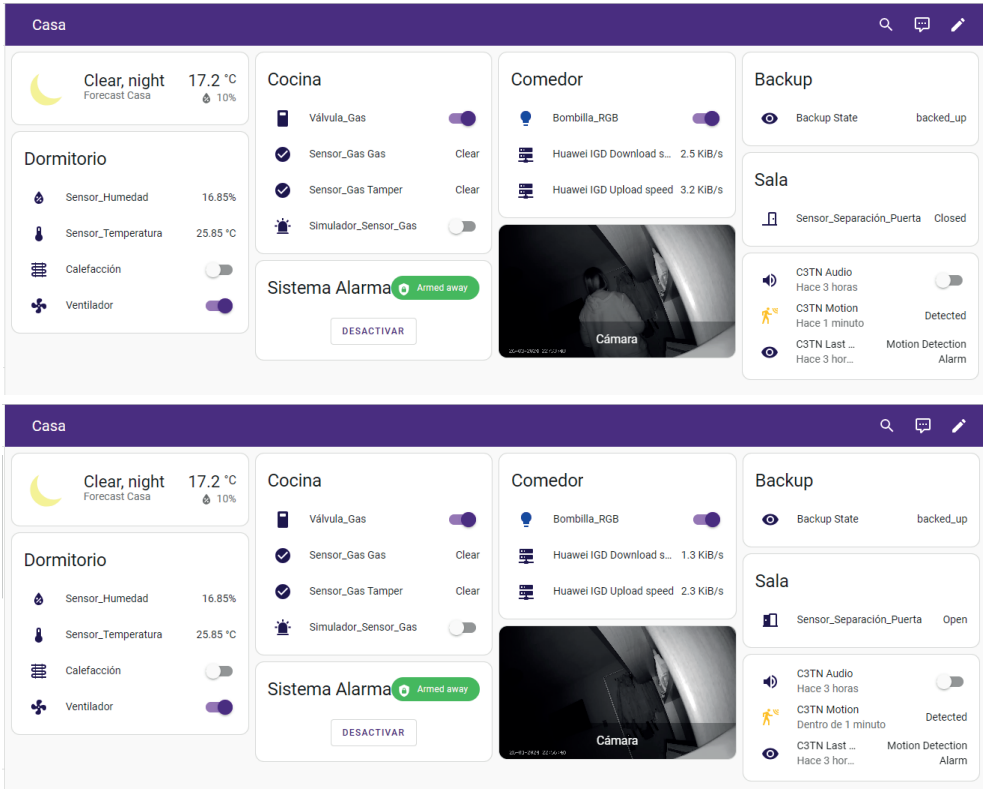


Figura 20. Comportamiento del subsistema *Detección_Intrusos* en la APP.

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.